

ДОЗВОЉЕНЕ ЕМИСИЈЕ ВИШИХ ХАРМОНИКА

1. Дозвољене струје виших хармоника за мале електране прикључене на нисконапонску мрежу, називне струје $\leq 16\text{A}$

Дозвољене струје виших хармоника за мале електране прикључене на нисконапонску мрежу, називне струје $\leq 16\text{A}$ дефинисане су следећом табелом:

Табела 1. Дозвољене струје виших хармоника за мале електране прикључене на НН мрежу називне струје $\leq 16\text{A}$

Ред хармоника	Максимално дозвољена струја хармоника
h	A
непарни хармоници	
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
$15 \leq n \leq 39$	$0,15 \cdot 15/n$
парни хармоници	
2	1,08
4	0,43
6	0,30
$8 \leq n \leq 40$	$0,23 \cdot 18/n$

2. Дозвољене струја виших хармоника за мале електране прикључене на нисконапонску мрежу, називне струје $I_n > 16\text{A}$

а) Мале електране називне струје $16\text{A} < I_n \leq 75\text{A}$

Дозвољене струје виших хармоника за мале електране прикључене на нисконапонску мрежу, називне струје $16\text{A} < I_n \leq 75\text{A}$, у зависности од начина прикључења дате су Табелом 2 (монофазно и двофазно прикључене МЕ) и Табелом 3. и 4. (трофазно прикључене МЕ).

Мале електране које задовољавају лимите исказане за вриједност $k=33$ ($k=S_{KS}/S_n$) могу бити прикључене у било коју тачку дистрибутивне мреже.

Мале електране, чија емисија виших хармоника премашује лимите за $k=33$, могу бити прикључене на дистрибутивну мрежу под условом да је $k > 33$ (тачка са већом снагом кратког споја).

Табела 2. Дозвољене вриједности струја виших хармоника за монофазно и двофазно прикључене мале електране

Минимално k	Дозвољене појединачне струје хармоника I_n / I_1 *						Дозвољене фактор хармонијске дисторзије струје	
	%						%	
	I_3	I_5	I_7	I_9	I_{11}	I_{13}	THD	PWHD
33	21,6	10,7	7,2	3,8	3,1	2	23	23
66	24	13	8	5	4	3	26	26
120	27	15	10	6	5	4	30	30
250	35	20	13	9	8	6	40	40
≥350	41	24	15	12	10	8	47	47

Вриједности за парне хармонике до 12 реда неће прелазити вриједност $16/n$ %. Парни хармоници преко 12 реда се узимају у обзир код израчунавања THD и PWHD на исти начин као и непарни хармоници.

НАПОМЕНА: Линеарна интерполација између узастопних вриједности k је допуштена

* I_1 = номинална струја основног хармоника; I_n = компонента струје вишег хармоника

Табела 3. Дозвољене вриједности струја виших хармоника за трофазно прикључене мале електране

Минимално k	Дозвољене појединачне струје хармоника I_n / I_1 *				Дозвољене фактор хармонијске дисторзије струје	
	%				%	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	THD	PWHD
33	10,7	7,2	3,1	2	13	22
66	14	9	5	3	16	25
120	19	12	7	4	22	28
250	31	20	12	7	37	38
≥350	40	25	15	10	48	46

Вриједности за парне хармонике до 12 реда неће прелазити вриједност $16/n$ %. Парни хармоници преко 12 реда се узимају у обзир код израчунавања THD и PWHD на исти начин као и непарни хармоници.

НАПОМЕНА: Линеарна интерполација између узастопних вриједности k је допуштена

* I_1 = номинална струја основног хармоника; I_n = компонента струје вишег хармоника

Лимити наведени табелом 4. могу се примијенити ако је испуњен један од слиједећих услова:

- Фазни угао између струје 5-ог хармоника и напона основног хармоника је унутар опсега 90° - 150° током цјелокупног периода посматрања,
- Дизајн опреме је такав да фазни угао струје 5-ог хармоника може имати било коју вриједносту интервалу $[0^\circ - 360^\circ]$,
- Струје 5-ог и 7-ог хармоника су мање од 5% вриједности струје основног хармоника током цјелокупног периода посматрања.

Табела 4. Дозвољене вриједности струја виших хармоника за трофазно прикључене мале електране под посебним условима

Минимално k	Дозвољене појединачне струје хармоника I_n / I_1 *				Дозвољене фактор хармонијске дисторзије струје	
	%				%	
	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}	THD	PWHD
33	10,7	7,2	3,1	2	13	22
≥ 350	40	25	15	10	48	46

Вриједности за парне хармоници до 12 реда неће прелазити вриједност $16/n$ %. Парни хармоници преко 12 реда се узимају у обзир код израчунавања THD и PWHD на исти начин као и непарни хармоници.
НАПОМЕНА: Линеарна интерполација између узастопних вриједности k је допуштена
* I_1 = номинална струја основног хармоника; I_n = компонента струје вишег хармоника

Гдје је:

- $THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$ - укупна (тотална) хармонијска дисторзија,
- $PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2}$ - парцијална пондерисана хармонијска дисторзија.

б) Мале електране називне струје $I_n > 75$ А

За мале електране прикључене на нисконапонску мрежу, називне струје $I_n > 75$ А, ниво дозвољених емисија виших хармоника утврђује се у зависности од снаге мале електране, према методологији прописаној за мале електране прикључене на средњенапонску мрежу (Тачка 3.2.6 овог Прилога).

Индикативни плански нивои напона виших хармоника за нисконапонску мрежу дати су табелом 5.

Табела 5: Индикативни плански нивои напона виших хармоника на НН

Непарни хармоници који нису дјеливи са 3		Непарни хармоници дјеливи са 3		Парни хармоници	
Ред хармоника h	Хармонијски напон (%)	Ред хармоника h	Хармонијски напон (%)	Ред хармоника h	Хармонијски напон (%)
	НН		НН		НН
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	0,3	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)				

3. Дозвољене струје виших хармоника за мале електране прикључене на СН

За мале електране прикључене на средњем напону, ниво дозвољених струја виших хармоника утврђује се на основу индикативних планских нивоа напона виших хармоника, датих у Табели 6.

Табела 6: Индикативни плански нивои напона виших хармоника (изражено у % напона основне фреквенције) на СН, ВН (напонски ниво 110 и 220 kV) и ВВН (напонски ниво 400 kV)

Непарни хармоници који нису дјеливи са 3			Непарни хармоници дјеливи са 3			Парни хармоници		
Ред хармоника h	Хармонијски напон (%)		Ред хармоника h	Хармонијски напон (%)		Ред хармоника h	Хармонијски напон (%)	
	СН	ВН - ВВН		СН	ВН - ВВН		СН	ВН - ВВН
5	5	2	3	4	2	2	1,8	1,4
7	4	2	9	1,2	1	4	1	0,8
11	3	1,5	15	0,3	0,3	6	0,5	0,4
13	2,5	1,5	21	0,2	0,2	8	0,5	0,4
$17 \leq h \leq 49$	$1,9*(17/h) - 0,2$	$1,2*(17/h)$	$21 < h \leq 45$	0,2	0,2	$10 \leq h \leq 50$	$0,25*(10/h)+0,22$	$0,19*(10/h)+0,16$

Дозвољени ниво напона виших хармоника који мала електрана може да емитује у мрежу ЕД, утврђује се у зависности од снаге мале електране.

3.1. Критеријуми номиналне снаге електране и критеријум снаге опреме која емитује више хармонике

Електране мање снаге или електране са лимитираним удјелом опреме која емитује више хармонике могу бити прикључене без детаљне процјене емисије виших хармоника струје и напона.

а) Електране чија је номинална снага занемарива у односу на снагу кратког споја

Уколико је испуњен услов:

$$\frac{S_n}{S_{KS}} \leq 0,2\%$$

гдје је:

- S_n - номинална снага мале електране,
- S_{KS} - снага кратког споја на мјесту прикључења мале електране,

мала електрана се може прикључити на мрежу ЕД без детаљних анализа.

Наведени проценат од 0,2 % заснован је на слиједећим претпоставкама:

- Систем тренутно функционише са нивоом хармонијских сметњи испод планираног нивоа, тако да прикључењем новог објекта планирани ниво неће бити премашен,
- Резонантно појачање се не очекује да премаши фактор 2,
- Нема ризика од сметњи за остале инсталације на ЕД мрежи, изазваних прикључењем нове инсталације.

б) Електране са лимитираним удјелом опреме која емитује више хармонике

Овај критеријум примјењује се код инсталација са лимитираним удјелом опреме која емитује више хармонике (дисторзиона опрема). Он укључује израчунавање фактора "пондерисане снаге дисторзије" који карактерише удио дисторзионе опреме у малој електрани. Фактор се одређује на основу формуле:

$$S_{Dwi} = \sum_j S_{Dj} \cdot W_j$$

Гдје је:

- S_{Dj} - снага дисторзионе опреме "j" у објекту "i",
- W_j - фактор пондерисања који зависи од типа опреме која генерише више хармонике (за стандардне типове вриједности фактора су дате у [15]).

Уколико је непозната карактеристика опреме која генерише више хармонике, узима се да је $W_j = 2,5$.

Мала електрана може бити прикључена на мрежу ЕД ако је испуњен услов:

$$\frac{S_{Dwi}}{S_{KS}} \leq 0,2\% .$$

3.2. Расподјела укупног дозвољеног нивоа емисије виших хармоника

За мале електране које не испуњавају услове наведене тачком 3.1. овог Прилога, дозвољени укупни ниво емисије виших хармоника расподјељује се на појединачне инсталације на основу односа номиналне снаге појединачне инсталације (мале електране) и укупног капацитета мреже ЕД на коју се инсталација прикључује. На тај начин обезбјеђује се да укупна емисија виших хармоника свих инсталација прикључених на мрежу ЕД буде мања од планираног нивоа.

Прорачун дозвољене емисије виших хармоника врши се кориштењем једног од метода који зависи од номиналне снаге мале електране:

- Метод 1 - дозвољени релативни ниво струје виших хармоника,
- Метод 2 – расподјела дозвољених лимита између појединачних инсталација.

а) Метод 1 - дозвољени релативни ниво струје виших хармоника

Овај метод примјењује се за мале електране снаге $S_n \leq 1MVA$, које не користе кондензаторе за поправку фактора снаге и/или хармонијске филтере, код којих је испуњен услов $S_n / S_{KS} < 1\%$, при чему постојећи ниво виших хармоника омогућује прикључење нових инсталација. За такве објекте дозвољене вриједности виших хармоника дате су следећом табелом:

Табела 7: Индикативне вриједности лимита непарних хармоника струја

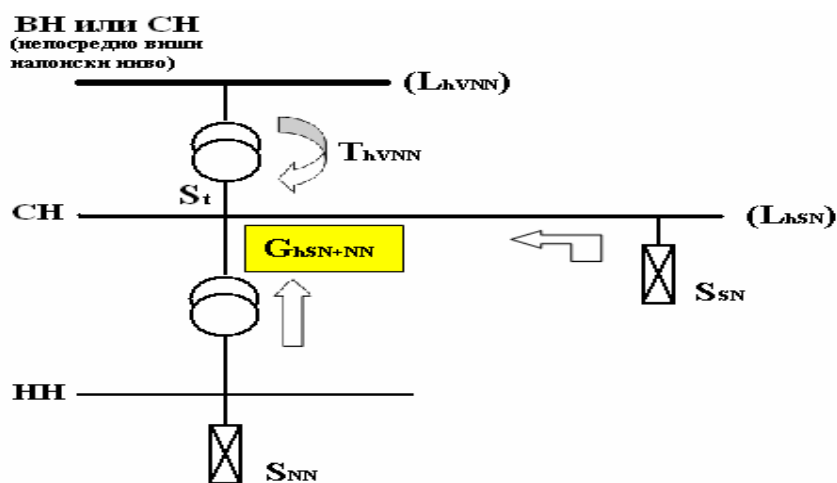
Ред хармоника h	5	7	11	13	>13
Лимит емисије струја виших хармоника	5	5	3	3	$500/h^2$

Индикативне вриједности дате се у % ефективне вриједности струје основног хармоника.

б) Метод 2 – расподела дозвољених лимита између појединачних инсталација

Овај метод примјењује се за мале електране које не испуњавају услове наведене тачком 3.2.а) Заснива се на одређивању утицаја свих извора виших хармоника на одређеном дијелу СН мреже.

Ниво напона виших хармоника на дијелу СН мреже је резултат векторске суме хармоничких напона који долазе са непосредно вишег напонског нивоа (ВН или СН) и напона који су резултат емисија дисторзионе опреме прикључене на размтраном дијелу СН и НН мреже. Типичан изглед СН система приказан је на слици 1.



Слика 1 – Примјер система за који се врши расподела дозвољених лимита на СН

Гдје је:

- S_{SN} снага потрошача на СН;
- S_{NN} снага потрошача на НН.

Укупан напон вишег хармоника не смије премашити планирани ниво на СН, који је дефинисан слиједећим изразом:

$$L_{hSN} = \sqrt[\alpha]{G_{hSN+NN}^\alpha + (T_{hVNN} \cdot L_{hVNN})^\alpha}$$

На основу претходног израза, добија се дозвољени ниво емисије виших хармоника за инсталације које су прикључене на СН и НН.

$$G_{hSN+NN} = \sqrt[\alpha]{L_{hSN}^\alpha - (T_{hVNN} \cdot L_{hVNN})^\alpha}$$

Гдје је:

- G_{hSN+NN} - дозвољени ниво емисије вишег хармоника "h" за СН и НН инсталације које су напајане преко СН сабирница (изражен у % напона основне фреквенције),
- L_{hSN} - планирани ниво напона вишег хармоника "h" на СН мрежи,
- L_{hVNN} - планирани ниво напона вишег хармоника "h" на мрежи непосредно вишег напонског нивоа,
- T_{hVNN} - трансферни коефицијент дисторзије напона вишег хармоника "h" са мреже непосредно вишег напонског нивоа на разматрану СН мрежу. Овај коефицијент одређује се симулацијом или мјерењима. За разматрање могућности прикључења мале електране узима се вриједност 1.
- α - експонент сумације напона и струја виших хармоника различитих инсталација ($U_h = \alpha \sqrt{\sum_i U_{hi}^\alpha}$, укупан напон вишег хармоника реда "h", U_{hi} - напон вишег хармоника реда "h" који генерише инсталација "i"), чије индикативне вриједности, у зависности од реда хармоника, износе:

Табела 8. Индикативне вриједности експонента α

Ред хармоника h	α
$h < 5$	1
$5 \leq h \leq 10$	1,4
$h > 10$	2

Када је за одређени ред хармоника планирани ниво емисије виших хармоника на СН систему једнак нивоу на мрежи непосредно вишег напонског нивоа, примјена формуле за одређивање G_{hSN+NN} резултира у нултом дозвољеном нивоу емисије виших хармоника тог реда. У том случају врши се прерасподјела дозвољених нивоа емисије виших хармоника између различитих напонских нивоа.

Дозвољени ниво емисије виших хармоника мале електране, утврђује се на основу укупног дозвољеног нивоа емисије виших хармоника G_{hSN+NN} и количника номиналне снаге мале електране и укупног капацитета мреже ЕД на коју се електрана прикључује.

$$E_{Uhi} = G_{hSN+NN} \cdot \alpha \sqrt{\frac{S_n}{S_t}}$$

Гдје је:

- E_{Uhi} - дозвољени ниво емисије напона вишег хармоника реда "h" за малу електрану "i" директно прикључену на СН мрежу,
- G_{hSN+NN} - укупни дозвољени ниво емисије виших хармоника реда "h" за све инсталације које се напајају преко разматраног СН система, а прикључене су на СН и НН мрежу,
- S_n - номинална снага мале електране, изражена у MVA,
- S_t - укупни капацитет разматраног СН система, који укључује будући раст оптерећења. У принципу он представља суму снага свих прикључених инсталација, укључујући и инсталације које се налазе на непосредно нижем напонском нивоу, а напајане су преко

разматраног СН система. Код прикључења мале електране неопходно је провести детаљну анализу стварног доприноса снаге мале електране укупном капацитету S_i .

- α - експонент сумације дат Табелом 8.

У случају када је лимит емисије напона вишег хармоника реда "h" мањи од 0,1%, усваја се да је једнак 0,1% (осим уколико постоји ризик сметњи на телефонском систему или фреквенција вишег хармоника одговара фреквенцијама које се користе за даљинско управљање).

На основу дефинисаног дозвољеног нивоа емисије напона виших хармоника мале електране, одређује се дозвољени ниво емисије струја виших хармоника:

$$E_{Ihi} = \frac{E_{Uhi}}{Z_{hi}}$$

Гдје је:

- E_{Ihi} - дозвољени ниво емисије струје виших хармоника реда "h" мале електране "i".
- Z_{hi} - хармоничка импеданса система на мјесту прикључења мале електране "i".

У случају прикључења мале електране на већој удаљености од СН сабирница (10 km за кабловску мрежу, 5 km за надземну мрежу), дефинисање дозвољеног нивоа емисије према претходно наведеној методологији може довести до прописивања престојих захтјева, због чињенице да није узета у обзир промјена снаге кратког споја дуж прикључног вода. У том случају, за дефинисање дозвољеног нивоа емисије виших хармоника користи се методологија наведена у [15].

в) Условно дефинисање виших нивоа емисије виших хармоника

За мале електране које се прикључују на мрежу ЕД, оператор система може одобрити виши ниво емисије виших хармоника од дозвољеног нивоа дефинисаног тачком 3.2.б) овог Прилога., под одређеним условима:

- Поједине инсталације (купци и мале електране) не емитују значајан ниво виших хармоника, јер не посједују дисторзиону опрему велике снаге, услијед чега се не користи расположиви капацитет система у одређеним временским периодима,
- Генерални закон сумације виших хармоника може у одређеним ситуацијама бити превише конзервативан, наиме поједине инсталације могу емитовати хармонике који су фазно помјерени или су у супротној фази, тако да долази до дјелимичног поништавања хармоника,
- Може се десити да поједина дисторзиона опрема никад није у функцији истовремено, због ограничења у систему,
- Лимити из тачке 3.2.б) одређени су кориштењем генеричке импедансе или уз узимање у обзир појачања услијед резонансе, тако да стварна хармоничка импеданса може бити мања од претпостављене,

- У појединим случајевима већи планирани нивои емисије могу бити одређени након реалокације планираних нивоа између СН и ВН-ВВН система, како би били уобзирени локални феномени попут ефекта слабљења, одсуства дисторзионе опреме на одређеном напонском нивоу или ефекта резонанције,
- У одређеним случајевима, дисторзона инсталација може задовољавати емисионе лимите у нормалној конфигурацији система, при чему премашује дозвољене лимите дефинисане у 3.2.б) само у повременим случајевима измијењене конфигурације.

Приликом одобравања вишег нивоа емисије виших хармоника од дозвољеног нивоа дефинисаног у 3.2.б), оператор дистрибутивног система дужан је провести детаљну студију прикључења, узимајући у обзир постојећи ниво емисије и очекивани допринос мале електране у различитим могућим радним условима. Оператор дистрибутивног система, приликом одобравања вишег нивоа емисије виших хармоника, може одредити ограничења попут:

- Одобрени лимити вријеме привремено:
 - Док постоји расположив преостали капацитет снабдијевања, који омогућава веће емисије виших хармоника,
 - Док већина преосталих корисника дистрибутивног система не користи у потпуности властите лимите, одобрене према 3.2.б),
 - До истека времена потребног за прикључење нових инсталација, како би се омогућило имплементирање додатних неходних корективних мјера.
- Смањено кориштење или потпуно искључење дисторзијских инсталација у одређеним конфигурацијама система или корисника.