



УДК 621.3

## Особливості аналізу впливу завад від різномірних типів джерел розосередженої генерації на процеси в навантаженнях

С. П. Денисюк<sup>1)</sup>, Д. Г. Дерев'янко<sup>2)</sup>, К. Ю. Щербань<sup>3)</sup>

<sup>1), 2)</sup> Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», пр-т. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

**Article info:**

Paper received:

The final version of the paper received:

Paper accepted online:

14 November 2014

04 December 2014

08 January 2015

**Correspondent Author's Address:**<sup>1), 2), 3)</sup> [ekaterinascherban@mail.ru](mailto:ekaterinascherban@mail.ru)

Електроенергія є найбільш універсальним і широко використовуваною формою енергії, світовий попит на яку постійно зростає. Електроенергетична система живлення є одним з найбільш ефективних компонентів інфраструктури, від якої залежить сучасне суспільство. Щоб задовольнити зростаючий попит на електроенергію та необхідність скорочення викидів вуглекислого газу, повинна бути розроблена нова модель електроенергетичної системи, яка повинна мати риси системи сталого розвитку, бути надійною, а її архітектура та режими роботи – економічно обґрунтованими. Сучасна електроенергетична система повинна зазнати значних змін. В статті розглянуто інтеграцію джерел розосередженої генерації в Smart Grid системах, що дозволяє підвищити енергоефективність та зменшити викиди в енергосистемі, джерела розосередженої генерації та всі види завад, які притаманні тому чи іншому типу джерел. За допомогою програмного забезпечення MatLab було промодельовано всі розглянуті варіанти електричних схем та отримані осцилограми та показники THD для всіх джерел електричної енергії.

**Ключові слова:** джерела розосередженої генерації, розосереджена генерація, імпульсні завади, вищі гармоніки

**1. ВСТУП**

Електроенергія є найбільш універсальним і широко використовуваною формою енергії, світовий попит на яку постійно зростає. Генерація електричної енергії, однак, в даний час є найбільшим джерелом викидів парникових газів, що робить значний внесок у зміни клімату. Для пом'якшення наслідків зміни клімату, в даний час електроенергетична система повинна зазнати значних змін. Електроенергетична система живлення є одним з найбільш ефективних компонентів інфраструктури, від якої залежить сучасне суспільство. Щоб задовольнити зростаючий попит на електроенергію та необхідність скорочення викидів вуглекислого газу, повинна бути розроблена нова модель електроенергетичної системи, яка повинна мати риси системи сталого розвитку, бути надійною, а її архітектура та режими роботи – економічно обґрунтованими.

Smart Grid є новим поняттям енергосистеми. Ця технологія базується на спостереженні за станом енергосистеми і дозволяє «розумно» приймати рішення, швидко усувати несправності, відновлювати роботу системи за наявності аварій і контролювати попит, щоб зберегти стійкість і продуктивність енергосистеми, на тому ж рівні на якому вони були закладені на стадії проектування.

Політика щодо впровадження концепції Smart Grid організована в Європі, як Європейська технологічна платформа Smart Grid. Політика в США в

даному напрямку описана в 42 USC гл. 152, subch. IX § 17381.

Інтеграція джерел розосередженої генерації в Smart Grid системах дозволяє підвищити енергоефективність та зменшити викиди в енергосистемі. Збільшення кількості таких відновлювальних джерел енергії в мережі впливає на якість електричної енергії в розподільчих мережах середньої та низької напруги.

До пристроїв розосередженої генерації відносять установки малої потужності (до 10 МВт), що розташовані безпосередньо поблизу споживача, та можуть бути під'єднані до енергосистеми. До джерел розосередженої генерації відносяться: фотоелектричні елементи, вітрові установки, малі ГЕС, дизель-генератори.

Більшість джерел розосередженої генерації під'єднані до мережі за допомогою перетворювачів ступу (рис. 1). При підключенні ці перетворювачі повинні зберігати якість електричної енергії. Тим не менш, висока частота перемикання перетворювачів може вводити додаткові гармоніки в системах, та знижувати якість електричної енергії, якщо вони підключені неналежним чином. У протяжних мережах складної структури процеси на вищих гармоніках носять складний характер, що визначається конфігурацією мережі, складом і параметрами її елементів, хвильовими властивостями мережі [7]. Тому на цей час актуальним є розгляд різних варіа-

нтів підключення джерел електричного струму для зменшення впливу сигналів завад.

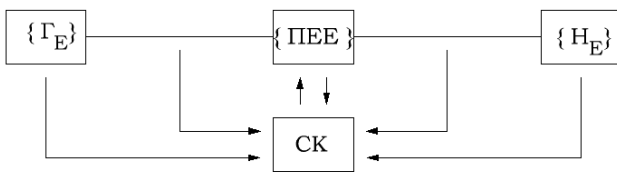


Рис. 1. Узагальнений вид еквівалентної моделі

Підключення джерел розосередженої генерації (РГ) до розподільної мережі має позитивний вплив на її властивості, але поряд з цим створює нові проблеми, з якими доводиться стикатися як при самому підключенні так і при керуванні режимами роботи системи електропостачання з РГ. Розподільна електрична мережа буває нерівномірно завантажена, отже, потребує коригування потокорозподілу, який можна провести шляхом відповідної реконфігурації мережі. Установки РГ можуть інтегруватися на різних рівнях системи енергопостачання, але з метою забезпечення найкращого ефекту, вони повинні бути розміщені оптимально. При правильному розташуванні установок РГ втрати потужності можуть знизитися [6].

Системна інтеграція в інженерії являє собою поєднання компонентів підсистем в єдину систему та забезпечення роботи окремих підсистем як єдиного цілого, з перспективою та можливістю об'єднання і спільної ефективної роботи кількох підсистем. Системна інтеграція нових елементів у систему полягає у розробці комплексних рішень, призначених для досягнення максимальної ефективності функціонування системи шляхом налагодження ефективної взаємодії її підсистем з новими інтегрованими елементами.

Враховуючи сучасний стан енергетики та напрям її подальшого розвитку, визначений світовим співтовариством, а також особливості виробництва електроенергії, стає очевидним, що системна інтеграція в енергетиці повинна поєднувати як самі джерела розосередженої генерації, так і автоматизовані системи та інформаційні технології. Рівень автоматизації енергетики дуже високий, а от впровадження інформатизованих технологій почалося відносно недавно, і є дуже перспективним та володіє значним потенціалом, створюючи нові можливості.

Що стосується інтеграції джерел розосередженої генерації в систему електропостачання (особливо нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії), то дуже важливим питанням є ефективне використання енергетичного потенціалу таких джерел. Кожне із джерел, що виробляє електроенергію, через певні особливості своєї роботи, має проблеми сумісної роботи, внаслідок чого постає проблема оптимального відбору електроенергії від цих джерел та проблема оптимального споживання виробленої електроенергії електроустановками споживачів.

Для оптимізації енергетичних процесів в системах з джерелами розосередженої генерації необхідно сформулювати відповідні закони регулювання. Формування законів регулювання можливе за умови вибору та систематизації певних критеріїв [1].

Відповідно до вибраної множини критеріїв процес

оптимізації може проводитися за наступними напрямками:

- оптимізація електромагнітних чи енергетичних процесів у перетинах виділених систем;
- оптимізація параметрів елементів системи;
- оптимізація структури системи.

Вибір окремих критеріїв визначається типом гармонічних спектрів сигналів напруги та струму, необхідністю врахування заданої сукупності особливостей функціонування конкретних типів системи.

В цій роботі проводиться аналіз схем з різними джерелами розосередженої генерації, які мають різні сигнали завад. Розгляду підлягають фотоелектричні елементи, вітрові установки, малі ГЕС, дизель-генератори та безпосередньо мережа електроживлення.

## 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Сонячні фотоелектричні станції (СЕС) – один з різновидів електростанцій, які генерують електричний струм шляхом безпосереднього перетворення енергії сонячного випромінювання в електроенергію. Сонячні електростанції використовують фотоелектричний ефект та базуються на фотоелектричних модулях наземного застосування. Конструкція фотоелектричних панелей забезпечує високу надійність і захищеність сонячних електростанцій в цілому. До складу мережевої фотоелектричної системи, крім сонячних модулів, також входять: мережеві інвертори, що перетворюють постійний струм (DC), що генерується сонячними панелями, в змінний (AC); система моніторингу, що дозволяє відстежувати параметри роботи сонячної електростанції; лічильники, призначені для моніторингу продуктивності системи та продажу електроенергії за «зеленим» тарифом; підтримуючі металоконструкції для розміщення сонячних батарей на земельній ділянці, даху будівлі; централізована лінія електропередач, до якої приєднана електростанція; власні споживачі електроенергії (промислові чи побутові електроприлади).

Довгострокова експлуатація мереж, до яких підключені сонячні фотоелектричні системи, показує значне зменшення ефективності у зв'язку з порушенням стійкості джерела та збоями в роботі інвертора. Силлові перетворювачі в даних системах разом з нелінійними навантаженнями є джерелом вищих гармонік. Для того, щоб визначити види завад, які виникають при роботі сонячних панелей розглядають інвертори. Найбільш поширене застосування мережевого інвертору GWV, мережевий інвертор європейського виробництва DELTA, тому завади мають синусоїдальну форму сигналу.

Також в енергетиці України велику увагу приділяють вітроенергетичним установкам. Малі вітроенергетичні установки (ВЕУ) (потужністю до 100 кВт) знаходять широке застосування для автономного живлення споживачів. До основних компонентів системи, без яких робота ВЕУ неможлива, відносять наступні елементи:

- генератор – потрібний для заряду акумуляторних батарей. Від його потужності залежить як швидко заряджатимуться ваші акумулятори. Генератор потрібний для вироблення змінного струму. Сила струму і напруга генератора залежить від швидкості і стабільності вітру.

– контролер – керує багатьма процесами вітроустановки, такими, як поворот лопатей, заряд акумуляторів, захисні функції та ін. Він перетворює змінний струм, який виробляється генератором в постійний для заряду акумуляторних батарей.

– акумуляторні батареї – накопичують електроенергію для використання в безвітряні години. Також вони вирівнюють і стабілізують напругу, що виходить, з генератора. Завдяки ним ви отримуєте стабільну напругу без перебоїв навіть при поривчастому вітрі. Живлення вашого об'єкту йде від акумуляторних батарей.

– АВР – автоматичний перемикач джерела живлення. Робить автоматичне перемикання між декількома джерелами електроживлення за проміжок в 0,5 секунд при зникненні основного джерела. Дозволяє об'єднати вітроустановку, громадську електромережу, дизель-генератор і інші джерела живлення в єдину автоматизовану систему.

– інвертор – перетворює струм з постійного, який накопичується в акумуляторних батареях, в змінний, який споживає більшість електроприладів.

Дизель генераторна установка – це автономний пристрій, який виробляє електроенергію за допомогою спалювання дизельного палива. Як правило, ДГУ складається з двигуна внутрішнього згорання і електрогенератора, який виробляє змінний струм. Двигун і електрогенератор встановлені на загальній платформі і жорстко прикріплені до металевої рами. Допоміжне автоматичне обладнання забезпечує їх спільну роботу і здійснює контроль над процесом. Такі електростанції економічні, надійні в експлуатації і безпечні. При стисканні в двигуні дизельного палива, відбувається його займання і перетворення в механічну енергію за допомогою кривошипно-шатунного механізму, що обертає ротор електрогенератора. Ротор створює електромагнітне поле, яке перетворює індукційний струм в змінний. Тому для визначення електромагнітних завад в дизель-генераторних установках потрібно розглядати технічні характеристики самої ДГУ, комплектуючі та умови експлуатації: тип навантаження і режим роботи. Найчастіше виникають сигнали синусоїдальної, прямокутної та пилкоподібної форм.

В Україні також використовуються малі ГЕС, як джерела електричної енергії. Переважно в них використовують два різних типи генераторів: асинхронні трифазні генератори змінного струму та синхронні трифазні генератори змінного струму. Тому найчастіше в таких генераторах виникають прямокутні сигнали електромагнітних завад.

Проаналізувавши всі джерела розосередженої генерації та всі види завад, які можуть в них виникати складаємо узагальнюючу таблицю видів сигналів завад електричних джерел (див. табл. 1) [2-4].

Для подальшого аналізу завад складаємо електричні схеми з джерелами енергії, що мають різні види завад. Основними джерелами обираємо сонячні електричні панелі, вітрову установку, малу гідроелектростанцію, дизель-генераторну підстанцію та мережу 220 В. Схеми для одно та двох джерел живлення наводимо в таблиці 1. Загальна схема з багатьма джерелами живлення представлена на рис. 2.

Для досліджень використано модель електроенергетичної системи, що була створена за допомогою

пакета програм Matlab Simulink наведено на рис. 3.

Далі наведемо опис основних переваг цього пакету програм.

Таблиця 1 – Види сигналів завад електричних джерел

Тип джерела	Сонячні панелі	Вітрові установки	МГЕС	Дизель-генератор	Мережа
Синусоїдальний	+	+		+	+
Прямокутний		+	+	+	+
Пилкоподібний				+	+
Випадковий					+
Декілька сигналів		+			+

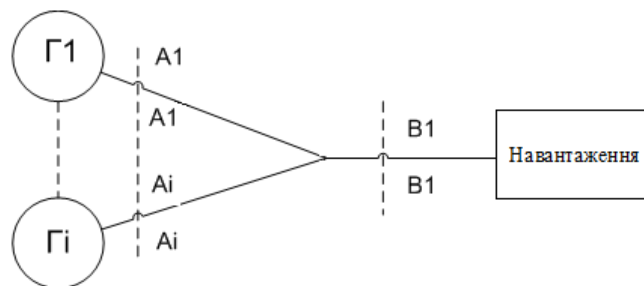


Рис. 2. Загальна схема з джерелами живлення: Г1, Гі – генератор завад від ПГ; А1, Аі – переріз кабелів, що приєднують джерела живлення; В – переріз кабелю, що приєднує загрузку

У середовищі Matlab реалізовано модульний принцип побудови з широкими можливостями модифікації та розширення. Для зручності користування вся система Matlab поділена на розділи, оформлені у вигляді пакетів програм, найбільш загальні з яких утворили ядро. Інші пакети об'єднані або існують індивідуально у вигляді так званих Toolboxes.

Серед інших слід виділити пакет Simulink, призначений для моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем. Пакет Simulink разом з пакетом розширення Simpowersystems (у більш ранніх версіях – Power Systems Blockset) є основою для вивчення та дослідження пристроїв силової електроніки й електромеханічних пристроїв.

При роботі з Simulink користувач має можливість модернізувати бібліотечні блоки, створити свої власні, а також створити нові бібліотеки блоків. При моделюванні користувач може вибрати метод розв'язання диференціальних рівнянь, а також спосіб зміни модельного часу (з фіксованим або змінним кроком). У ході моделювання є можливість стежити за процесами, що відбуваються в системі. Для цього використовуються спеціальні пристрої спостереження, що входять до складу бібліотеки Simulink. Результати моделювання можуть бути представлені у вигляді графіків або таблиць.

Безперечною перевагою Simulink і її складової Simpowersystems полягає в можливості побудови моделей складних електротехнічних систем на основі методів імітаційного й функціонального моделювання, а також те, що Simulink дає змогу поповнювати бібліотеки блоків за допомогою підпрограм, напи-

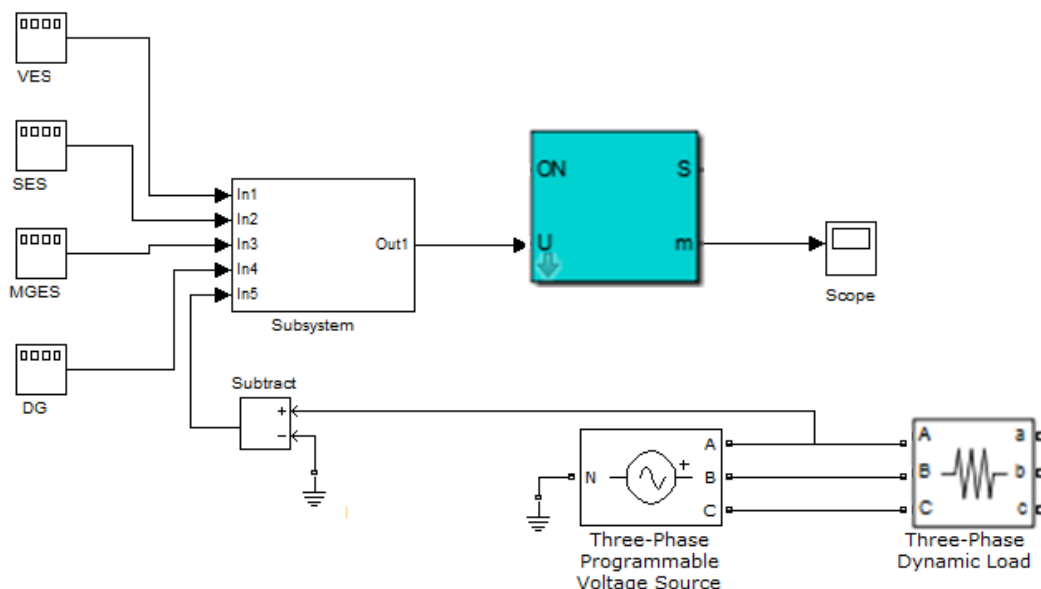


Рис. 3. Схема моделі електроенергетичної системи в пакеті програм Matlab Simulink

саних як мовою MATLAB, так і мовами C++, Fortran і Ada. Саме ці переваги й стали причиною вибору цього програмного продукту при проведенні досліджень.

Ця модель являє собою трьохфазну електроенергетичну систему, що складається з генераторів напруги, що моделюють процеси мережі та трьохфазного навантаження. На одну з фаз паралельно підключено блоки, що моделюють параметри джерел РГ (параметри нормального режиму, вищі гармоніки), а саме сонячної електростанції, дизель-генератора, вітроелектростанції та малої гідроелектростанції. До виходу генераторів підключено вимірювальну підсистему, що дозволяє оцінити вищі гармоніки в системі, що генеруються різними джерелами.

Блок «Programmable voltage source» формує сигнал джерела синусоїдальної напруги. Блок «Load» – навантаження. Блоки «DG» (дизельгенератор), «VES» (вітроелектростанція), «SES» (сонячна електростанція), «MGES» (мала ГЕС) моделюють завади, що генерують альтернативні джерела електричної енергії. Сигнали завад наведених вище блоків представлені в табл. 3.

Блок «Programmable voltage source» генерує ідеальну синусоїду і живить навантаження «Load». Вольтметр проводить вимірювання напруги, а в блоці Subsystem отриманий сигнал складається з завадами, що задаються блоками «DG», «VES»,

«SES», «MGES» після чого сумарний сигнал аналізується в блоці Digital Flickermeter. З флікерметра отримані дані виводяться на осцилографі.

Таблиця 3 – Амплітудне значення рівня завад

Тип джерела:	1-ша гармоніка (50 Гц), В	3-я гармоніка (150 Гц), В	5-а гармоніка (250 Гц), В
СЕС	220	3,96 (1,8 %)	2,2 (1 %)
МГЕС	220	11 (5 %)	5,06 (2,3 %)
ДГ	220	15,4 (7 %)	6,6 (3 %)
ВЕС	220	13,2 (6 %)	8,8 (4 %)

Після моделювання всіх можливих варіантів комбінацій схем були отримані осцилограми. Як приклад наведено графіки для поєднання джерел живлення на рисунку 4.

В усіх схемах джерела електричної енергії мають різні види сигналів. Так сонячні панелі мають синусоїдальну форму сигналу та максимальний рівень завад 2,8 %, вітрові установки використовуються з рівнем завад 10 %, що з'єднані через електропривод та 2,8 % через інвертор з прямокутною та синусоїдальною формою сигналу. Мала гідроелектростанція має прямокутну форму сигналу та 7,3 % рівень завад. У роботі використовується дизель-генератор з пилкоподібним сигналом та рівнем завад 10 % та мережа з відхиленням напруги 10% та випадковими сигналами. Усі рівні завад наведені в таблиці 3.

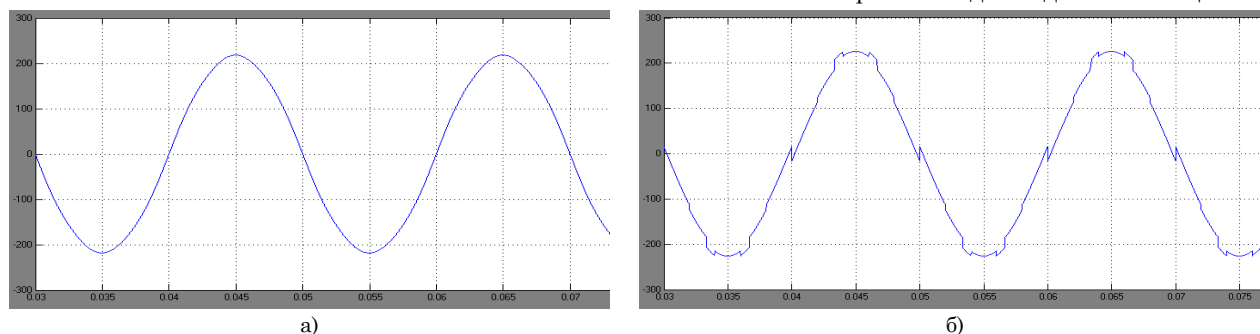
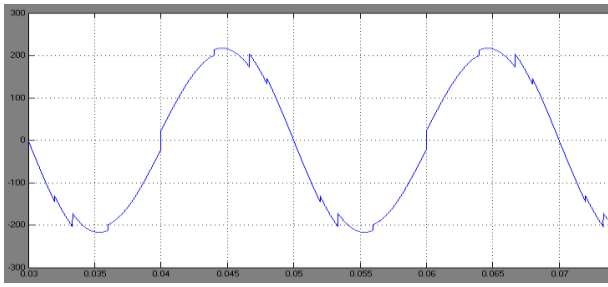
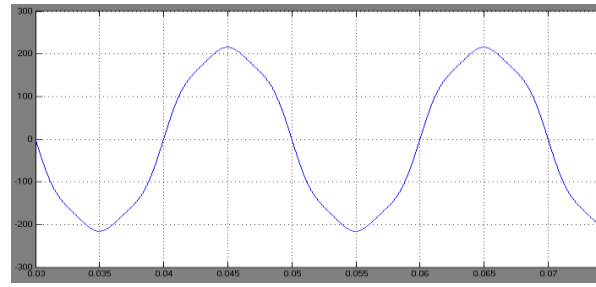


Рис. 4. Осцилограми завад притаманних для різних джерел енергії: а) – Осцилограма для СЕС; б) – Осцилограма для малої гідроелектростанції; в) – Осцилограма для дизельного двигуна; г) – Осцилограма для вітрової установки



в)



г)

Продовження рис. 4.

Моделювання проводиться по третій (150 Гц) та п'ятій (250 Гц) гармоніці, при напрузі джерела живлення 220 В.

Промодельовані отримані схеми з електричних

Таблиця 4 – Значення THD для різних схем та гармонік

	Схема	Гармоніки	THD	№	Схема	Гармоніки	THD
1	МГЕС	1+3+5	7,98	24	МГЕС+ДГ	1+3	3,56
2	ВЕС+СЕС+МГЕС+ДГ	1+3+5	7,88	25	ВЕС+СЕС+ДГ	1+3	3,53
3	ВЕС	1+3+5	7,21	26	СЕС+МГЕС+ДГ	1+3+5	3,4
4	МГЕС	1+3	7,07	27	ВЕС+СЕС+МГЕС	1+5	3,3
5	ВЕС+ДГ	1+3+5	6,65	28	МГЕС	1+5	3,25
6	ВЕС+СЕС+МГЕС+ДГ	1+3	6,61	29	СЕС+МГЕС+ДГ	1+3	3,01
7	ДГ	1+3+5	6,37	30	ВЕС+СЕС	1+3	2,98
8	ВЕС+ДГ	1+3	6,16	31	ВЕС+СЕС+ДГ	1+5	2,94
9	ВЕС	1+3	6	32	СЕС+МГЕС	1+3+5	2,52
10	ДГ	1+3	5,72	33	ДГ	1+5	2,45
11	ВЕС+СЕС+МГЕС	1+3+5	5,44	34	СЕС+МГЕС	1+3	2,27
12	ВЕС+СЕС+ДГ	1+3+5	4,82	35	ВЕС+СЕС	1+5	2,16
13	ВЕС+МГЕС+ДГ	1+3+5	4,75	36	ВЕС+ДГ	1+5	2,16
14	ВЕС+МГЕС	1+3+5	4,19	37	ВЕС+МГЕС+ДГ	1+5	2,09
15	ВЕС+СЕС+МГЕС+ДГ	1+5	4,19	38	СЕС	1+3+5	2,06
16	СЕС+ДГ	1+3+5	4,08	39	СЕС	1+3	1,8
17	МГЕС+ДГ	1+3+5	4,03	40	ВЕС+МГЕС	1+5	1,69
18	ВЕС	1+5	4	41	МГЕС+ДГ	1+5	1,67
19	ВЕС+СЕС+МГЕС	1+3	3,98	42	СЕС+ДГ	1+5	1,41
20	ВЕС+МГЕС+ДГ	1+3	3,91	43	СЕС+МГЕС+ДГ	1+5	1,32
21	ВЕС+СЕС	1+3+5	3,79	44	СЕС	1+5	1
22	ВЕС+МГЕС	1+3	3,74	45	СЕС+МГЕС	1+5	0,96
23	СЕС+ДГ	1+3	3,73				

ми джерелами за допомогою програмного забезпечення MatLab Simulink були отримані показники THD для кожної схеми при впливі першої, третьої та п'ятої гармонік. Всі отримані коефіцієнти були зведені в таблицю 4.

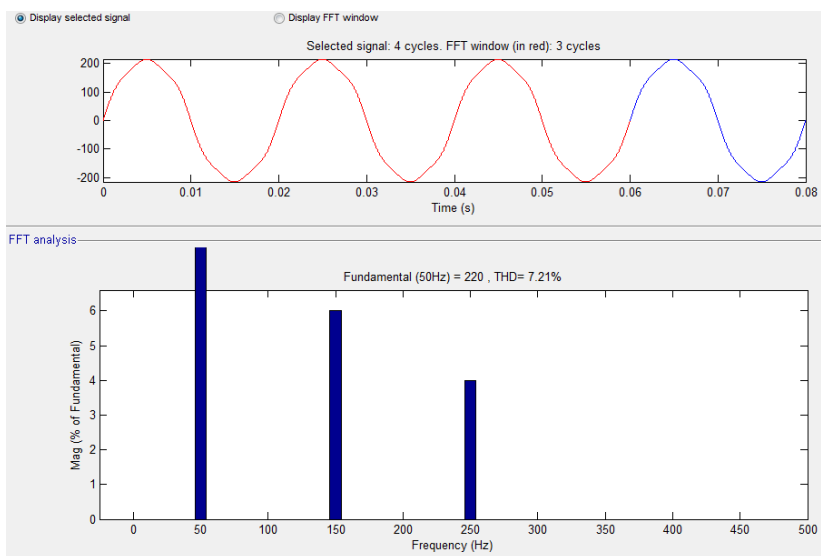


Рис. 5. Гістограма для малої гідроелектростанції



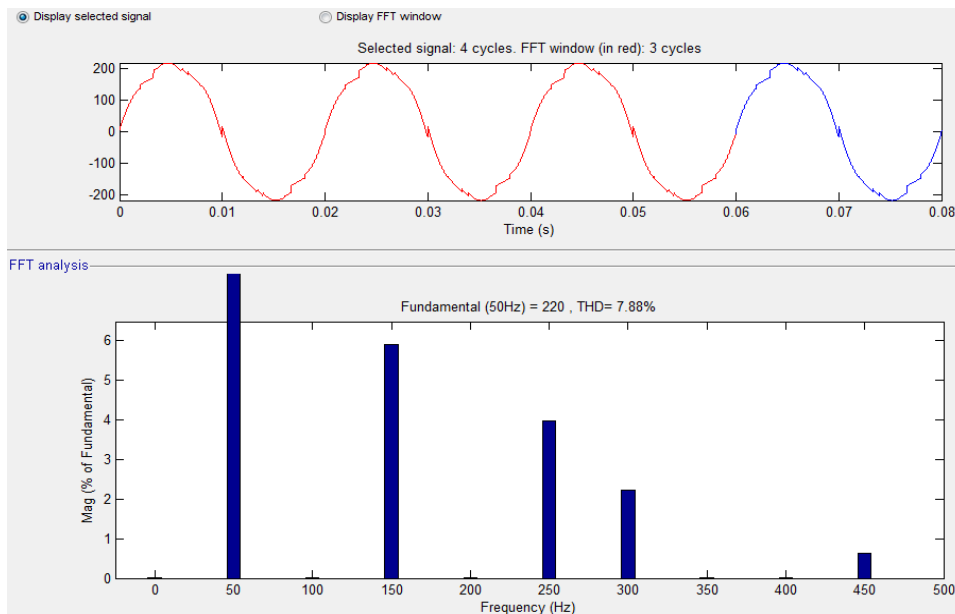


Рис. 6. Гістограма для комбінації чотирьох джерел електричної енергії (СЕС, ВЕС, МГЕС, ДГ)

Для кращого сприйняття отриманих результатів наведемо гістограму та розраховане значення THD для малої гідроелектростанції (рис. 5) та комбінації всіх чотирьох джерел електричної енергії (СЕС, ВЕС, МГЕС, ДГ) (рис. 6) при впливі першої, третьої та п'ятої гармонік, так як ці значення THD мають найбільше значення з приведених схем.

### 3. ВИСНОВОК

Отримані результати свідчать про те, що при певній комбінації завод на однойменних та різнойменних гармонічних складових енергетичних процесів різномірних типів генераторів (джерел РГ) може виникати взаємокомпенсація або взаємопідсилення тієї чи іншої гармонічної складової в навантаженнях. Для більш детального аналізу слід проводити аналіз чутливості вихідних параметрів на навантаженнях до зміни параметрів генераторів.

## Main features of analysis of disturbances impact from diverse types of DG sources on the loads

S. P. Denysyuk<sup>1)</sup>, D. G. Derevianko<sup>2)</sup>, K. Y. Shcherban<sup>3)</sup>

<sup>1), 2), 3)</sup> National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», 37, Peremogy ave., Kyiv, Ukraine, 03056

The electric power is most universal and by the widely used form of energy, world demand on that grows constantly. A generation of electric energy, however, presently is the most source of excess of greenhouse gases, that does considerable payment in the changes of climate. For softening of consequences of change of climate, presently the electroenergy system must test considerable changes. The electroenergy system of feed is one of the most effective components of infrastructure modern society depends on that. To satisfy growing demand on electric power and necessity of reduction of excess of carbon dioxide, the new model of the electroenergy system, that must have lines of the system of steady development, be reliable, must be worked out, and her architecture and office hours - economically reasonable.

Smart Grid is the new concept of grid. This technology is based on a supervision on the state a grid and allows "reasonably" to make decision, quickly to remove disrepairs, proceed in work of the system at presence of accidents and control demand, to save firmness and productivity of grid, at the same level on that they were stopped up on the stage of planning. Integration of sources of the dispersed generation in Smart Grid systems allows to promote energy efficiency and decrease excess in a grid. The increase of amount of such renewable energy sources in a network influences on quality of electric energy in the distributive networks of middle and subzero tension.

Connection of sources of the dispersed generation to the distributive network has positive influence on her property, but next to it creates new problems with that it will be to clash as during connection so at the management of work of the system of power supply the modes with the dispersed generation.

The modern electroenergy system must test considerable changes. In the article integration of sources of the dispersed generation is considered in Smart Grid systems, that allows to promote energy efficiency and decrease excess in a grid, sources of the dispersed generation and all types of hindrances, what inherent that is why or to other type of sources. By means of software MatLab was modeled all considered variants of electric charts and got oscillograms and indexes of THD for all electric energy sources.

**Key words:** sources of distributed generation, dispersed generation, impulse noise, harmonics

## Особенности анализа влияния помех от разнородных типов источников распределенной генерации на процессы в нагрузках

С. П. Денисюк<sup>1)</sup>, Д. Г. Дерев'янку<sup>2)</sup>, К. Ю. Щербань<sup>3)</sup>

<sup>1), 2), 3)</sup> *Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», пр-т. Перемоги, 37, г. Київ, Україна, 03056*

Электроэнергия является наиболее универсальной и широко используемой формой энергии, мировой спрос на которую постоянно растет. Электроэнергетическая система питания является одним из наиболее эффективных компонентов инфраструктуры, от которой зависит современное общество. Чтобы удовлетворить растущий спрос на электроэнергию и необходимость сокращения выбросов углекислого газа, должна быть разработана новая модель электроэнергетической системы, которая должна иметь черты системы устойчивого развития, быть надежной, а ее архитектура и режимы работы - экономически обоснованными. Современная электроэнергетическая система должна претерпеть значительные изменения. В статье рассмотрена интеграция источников распределенной генерации в Smart Grid системах, которая позволяет повысить энергоэффективность и снизить выбросы в энергосистеме, источники распределенной генерации и все виды помех, присущие тому или иному типу источников. С помощью программного обеспечения MatLab были промоделированы все рассмотренные варианты электрических схем и полученные осциллограммы и показатели THD для всех источников электрической энергии.

**Ключевые слова:** источники распределенной генерации, распределенная генерация, импульсные помехи, высшие гармоники

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Денисюк С. П. Оптимізація режимів електропостачання в локальних системах з розосередженою генерацією / С. П. Денисюк, Д. Г. Дерев'янку, П. С. Колесник // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. Спец. випуск. Ч. 2. – К.: ІЕД НАНУ, 2011. – С. 30–36.
2. Дерев'янку Д. Г. Аналіз особливостей забезпечення стійкості та надійності систем з інтеграцією джерел розосередженої генерації / Д. Г. Дерев'янку, К. Ю. Суменко, В. Г. Процько // Сталій розвиток енергетики. – 2013. – С. 433–439.
3. Як працює вітрогенератор і комплектуючі до вітряків? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ecost.lviv.ua/ua/pr\\_work.html](http://ecost.lviv.ua/ua/pr_work.html)
4. Портал проектів в області енергоефективності і возобновляемих джерел енергії [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://encon.in.ua/>
5. Обухов С. Г. Методика вибору ветроенергетических установок малой мощности / С. Г. Обухов, М. А. Сурков, Э. П. Хошнау // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2011 – №2. – С. 21–26.
6. Праховник А. В. Ефективне використання енергетичних ресурсів та концентрація потоку енергії низькопотенціальних джерел / А. В. Праховник, Т. М. Базюк // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – №1. – С. 41–48.
7. Смирнов С. С. Вклад потребителя в уровни напряжения высших гармоник в узлах электрической сети / С. С. Смирнов, Л. И. Коверникова // Электричество. – 1996. – № 1. – С. 58–64.

### REFERENCES

1. Denysyuk S. P., Kolesnyk P. S., Derevyanko D. G. (2011). Pr. In-tu elektrodynamiky NAN Ukrayiny: Zb. nauk. pr. Specz. vypusk. Ch. 2. K.: IED NANU. pp. 30–36. [in Ukrainian].
2. Derevyanko D. G., Sumenko K. Yu., Proczko V. G. (2013). Stalyj rozvytok energetyky. pp. 433–439. [in Ukrainian].
3. Yak pracuyue vitrogenerator i komplektuyuchi do vitryakiv? [http://ecost.lviv.ua/ua/pr\\_work.html](http://ecost.lviv.ua/ua/pr_work.html) [in Ukrainian].
4. Portal proektov v oblasti energoeffektivnosti y vozobnovlyаемых ystochnykov energy. <http://encon.in.ua/> [in Russian].
5. Obukhov S. G., Surkov M. A., Xoshnau Z. P. (2011). Elektro. elektrotexnyka, elektroenergetyka, elektrotexnycheskaya promushlennost. Vol. 2. pp. 21–26. [in Russian].
6. Praxovnyk A. V., Bazyuk T. M. (2013). Energetyka: ekonomika, texnologiyi, ekologiya. Vol. 1. pp. 41–48. [in Ukrainian].
7. Smyrnov S. S., Kovernykova L. Y. (1996). Elektrychestvo. Vol. 1. pp. 58–64. [in Russian].