

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

ФІЛЯНІН ДАНИЛО ВОЛОДИМИРОВИЧ



УДК 621.316.1

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ НИЗЬКОЇ ЯКОСТІ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

Спеціальність 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків–2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі електропостачання Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, доцент
Волошко Анатолій Васильович,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
професор кафедри електропостачання.

Офіційні опоненти доктор технічних, старший науковий співробітник
Тугай Юрій Іванович,
Інститут електродинаміки НАН України,
завідувач відділу оптимізації систем електропостачання;

кандидат технічних наук, доцент
Лазуренко Олександр Павлович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
завідувач кафедри електричних станцій.

Захист відбудеться «06» червня 2019 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий «24» квітня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С. Ю. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Кожен електроприймач призначений для роботи при певних параметрах електричної енергії: номінальних частоті, напрузі і струмі. Тому для його роботи має бути забезпечено необхідну якість електроенергії (ЯЕ).

Серед параметрів, що визначають ЯЕ, важливе місце займають вищі гармоніки. Споживачі, які мають в своєму складі електроприймачі з нелінійним навантаженням, перетворюють частину електроенергії синусоїдального струму в енергію несинусоїдального струму і повертають її в мережу. Ця енергія поширюється по мережах і потрапляє до інших покупців.

Збитки, які несуть суб'єкти процесу розподілу електричної енергії від погіршення її якості, повинні оплачуватися винуватцями. Для цього необхідно визначити джерела гармонік, оцінити ступінь участі кожного елемента електричної мережі і споживача в порушенні синусоїдальності та розподілі потужності вищих гармонік. Вирішення цього завдання вимагає створення розподілених систем діагностики і контролю стану електричних мереж.

Істотний внесок в визначення джерел гармонічних спотворень внесли школи Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Інститут Електродинаміки НАН України, Державний університет в Уельві (Іспанія), Федеральний Університет в Уберландії (Бразилія), Національний Томський Політехнічний Університет (РФ) та інші.

Ці організації в своїх дослідженнях з виявлення винуватців і ступеня їх участі в гармонічному спотворенні використовують різні методи, які виходять з різного роду обмежень і припущень, що не дозволяють достовірно визначити всі джерела і ступінь участі кожного в спотворенні. Результатом застосування методів визначення джерел спотворення є різні коефіцієнти, що характеризують загальний внесок джерела в спотворення.

Такий підхід не дає повної картини розподілу потужності вищих гармонік в електричній мережі і не дозволяє справедливо розподіляти компенсаційні виплати між суб'єктами розподільчої мережі. Таким чином, задача визначення винуватців і ступеня їх участі в спотворенні кривої напруги в електричних мережах на сьогодні залишається актуальною.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є підвищення якості електроенергії в електричних мережах за рахунок визначення джерел спотворення і запровадження керуючих дій.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- 1) проаналізувати сучасний стан засобів і методів визначення джерел гармонічних спотворень в електричних мережах;
- 2) розробити метод достовірного визначення джерел гармонічних спотворень в електричних мережах;
- 3) науково обґрунтувати необхідність використання коефіцієнта (показника), що характеризує ступінь участі кожного суб'єкта електричної мережі в порушенні синусоїдальності кривих струму і напруги;
- 4) розробити метод локалізації моменту появи/зникнення спотворення, що дозволяє врахувати різкозмінний характер нелінійного навантаження;

5) розробити підхід до нарахування компенсаційних виплат елементам електричної мережі і абонентам в залежності від генерації/споживання неякісної електричної енергії, а також від порядку гармонічних складових;

6) дослідити можливість контролю додаткового нагрівання кабельних ліній від впливу вищих гармонік.

Об'єкт досліджень: процеси в електричних мережах в умовах низької якості електроенергії.

Предмет досліджень: електричні та інформаційні параметри режимів електричних мереж за наявності гармонічних спотворень.

Методи дослідження. В основу роботи покладено системний підхід при проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, що базується на використанні методів гармонічного аналізу, методів розрахунку електричних кіл змінного струму і комп'ютерного моделювання із застосуванням програмних та математичних пакетів Microsoft Excel, MatLab і Simulink для дослідження процесів в електричній мережі при наявності гармонічних спотворень. Достовірність проведених досліджень забезпечена коректним використанням чисельних методів розрахунку та підтверджена експериментальними дослідженнями.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Отримав подальший розвиток метод визначення джерел вищих гармонік і ступеня їх участі в спотворенні якості електроенергії, який відрізняється використанням технології розподілених вимірювань і модифікації методів гармонічного аналізу, що дозволило підвищити достовірність визначення джерел гармонічних спотворень в електричній мережі до 98% при використанні апаратури класу точності 0,5.

2. Вперше запропоновано модифікацію методу гармонічного аналізу, яка використовує послідовне застосування Швидкого Перетворення Фур'є (ШПФ) та Дискретного Перетворення Фур'є (ДПФ) (ШПФ+ДПФ), що дозволило локалізувати спотворення синусоїдальності кривих струму і напруги на інтервалі часу ± 20 мс і врахувати його якісні характеристики.

3. Удосконалено метод компенсації збитку для всіх елементів мережі і абонентів, що споживають і передають неякісну електроенергію, який відрізняється визначенням коефіцієнтів розподілення потужності спотворення окремо по кожній гармоніці для кожного елемента електричної мережі і споживача, що дає об'єктивну підставу для нарахування компенсаційних виплат.

4. Удосконалено метод нарахування плати за електроенергію, який відрізняється використанням обліку енергії спотворення окремо по кожній гармоніці для кожного елемента електричної мережі і споживача, що дозволяє вирішити конфліктні ситуації між енергопостачальною організацією і споживачем при несинусоїдальних режимах.

5. Вперше запропоновано метод непрямого контролю температури кабельних ліній, який використовує технології розподілених вимірювань, що дозволило оцінювати технічний стан кабельних ліній і скорегувати терміни проведення регламентних робіт, а також продовжити термін їх експлуатації за рахунок проведення цілеспрямованих заходів щодо підвищення якості

електроенергії, зважаючи, що зниження додаткового нагрівання на 1°C продовжує термін служби ізоляції кабелю на 1,08 року.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення для електроенергетичної галузі України полягає в створенні розподіленої системи діагностики і контролю режимів роботи електричних мереж з функцією обліку потужності і енергії вищих гармонік.

Методика використання коефіцієнта розподілу потужності вищих гармонік, методика використання модифікованого методу гармонічного аналізу, методика нарахування плати за електроенергію за допомогою тарифних коефіцієнтів, методика непрямого контролю температури кабельних ліній передані НДІ «Енергія», ТОВ «Еском», НВП «Енергія +», ЗАТ «ИНЕТ» і використовуються в розробках техно-робочих проектів з енергоаудиту, створенні автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) підприємств, розробках нового обладнання і модифікації наявних зразків комплексів з контролю якості електроенергії, розробках нового програмного забезпечення для перспективних систем АСКОЕ.

У навчальному процесі кафедри електропостачання КПП ім. Ігоря Сікорського основні результати роботи включені у дисципліни «Мікропроцесорна техніка в системах обліку» і «Системи вимірювання, обліку і управління енергоспоживанням».

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати і висновки, що викладені в дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто. Серед них: розробка концептуальної моделі вирішення проблеми якості електроенергії; обґрунтування використання технології розподілених вимірювань для визначення винуватця спотворення; метод коефіцієнта розподілення, за допомогою якого визначається ступінь участі всіх елементів електричної мережі та абонентів в розподілі потужності вищих гармонік; модифікація методу гармонічного аналізу (поєднане Швидке і Дискретне Перетворення Фур'є); метод тарифних коефіцієнтів для нарахування плати за спожиту неякісну електроенергію; метод непрямого контролю температури кабельних ліній.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень, що входять в дисертаційну роботу, представлені на: Міжнародних науково-технічних конференціях «ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи.» (м. Київ, 2013 – 2016 р., 2018 р.); аспірантських читаннях ім. Праховника А. В. (м. Київ, 2015 р., 2018 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 13 наукових праць. З них: 6 статей у фахових наукових виданнях України, 1 публікація у іноземному виданні, що входить до наукометричної бази SCOPUS, 5 – у збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій і 1 авторське свідоцтво.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 201 сторінка, з них 16 рисунків по тексту та 29 рисунків на окремих сторінках; 6 таблиць по тексту та 3 таблиці на 5 окремих сторінках, список використаних літературних джерел з 128 найменувань на 15 сторінках; 10 додатків на 31 сторінці.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ присвячено загальній характеристиці роботи, обґрунтуванню актуальності проблеми, формулюванню цілей і завдань дослідження, визначення наукової новизни і практичної цінності отриманих результатів. Надано дані по апробації і публікацій результатів дослідження.

В **першому розділі** розглянуто проблеми та існуючі дослідження по темі дисертації. Розглянуто загальні питання якості електроенергії. Більш докладно розглянуто проблему вищих гармонік в електричній мережі, причини їх появи, вплив на роботу різного електроустаткування. Також проведено огляд існуючих методів визначення джерел гармонічних спотворень і визначені задачі, які необхідно вирішити для достовірного визначення джерел і ступеня участі кожного з них у спотворенні кривої напруги в електричній мережі.

Кожен електроприймач призначений для роботи при певних параметрах електричної енергії: номінальних частоті, напрузі, струмі, тощо. Тому для нормальної його роботи має бути забезпечено необхідну ЯЕ. Серед параметрів якості електроенергії (ПЯЕ) важливе місце займають вищі гармоніки. Це пов'язано з тим, що частка електроприймачів з нелінійними вольт-амперними характеристиками в системах електропостачання постійно зростає.

Наявність вищих гармонік може викликати пошкодження силового обладнання та інший небажаний вплив на системи управління і виробничі процеси. Наслідки впливу вищих гармонік наведені на рис. 1.

На додаток до впливу всього спектра вищих гармонік на роботу енергетичного обладнання слід звернути увагу ще на додатковий вплив окремих гармонік або груп гармонік на функціонування деяких суб'єктів системи електропостачання:

- непарні, кратні трьом, гармоніки викликають перегрів і руйнування нульового проводу кабельних ліній;
- гармоніки 30-х–40-х порядків в кабельних лініях металургійних комбінатів підвищують ймовірність виникнення однофазних коротких замикань на землю з подальшим загоранням;
- 5-а і 7-а, 11-а і 13-а гармоніки в обертових машинах викликають коливальний момент, що призводить до нерівномірності обертання валу;
- 3-я і 5-а гармоніки викликають зниження завадостійкості однофазних імпульсних джерел живлення;
- 3-тя і 7-а гармоніки викликають зниження завадостійкості трифазних випрямлячів за схемою Ларіонова;
- 11-а і 12-а гармоніки викликають зниження завадостійкості 12-пульсних випрямлячів;
- 3-я і 9-а гармоніки в трансформаторах з обмотками «зірка з ізолюваною нейтраллю» викликають перенапруження;
- гармоніки з частотою, близькою до несучої, створюють перешкоди каналам зв'язку і телекомунікацій;
- гармоніки резонансної частоти призводять до пробую конденсаторних батарей.

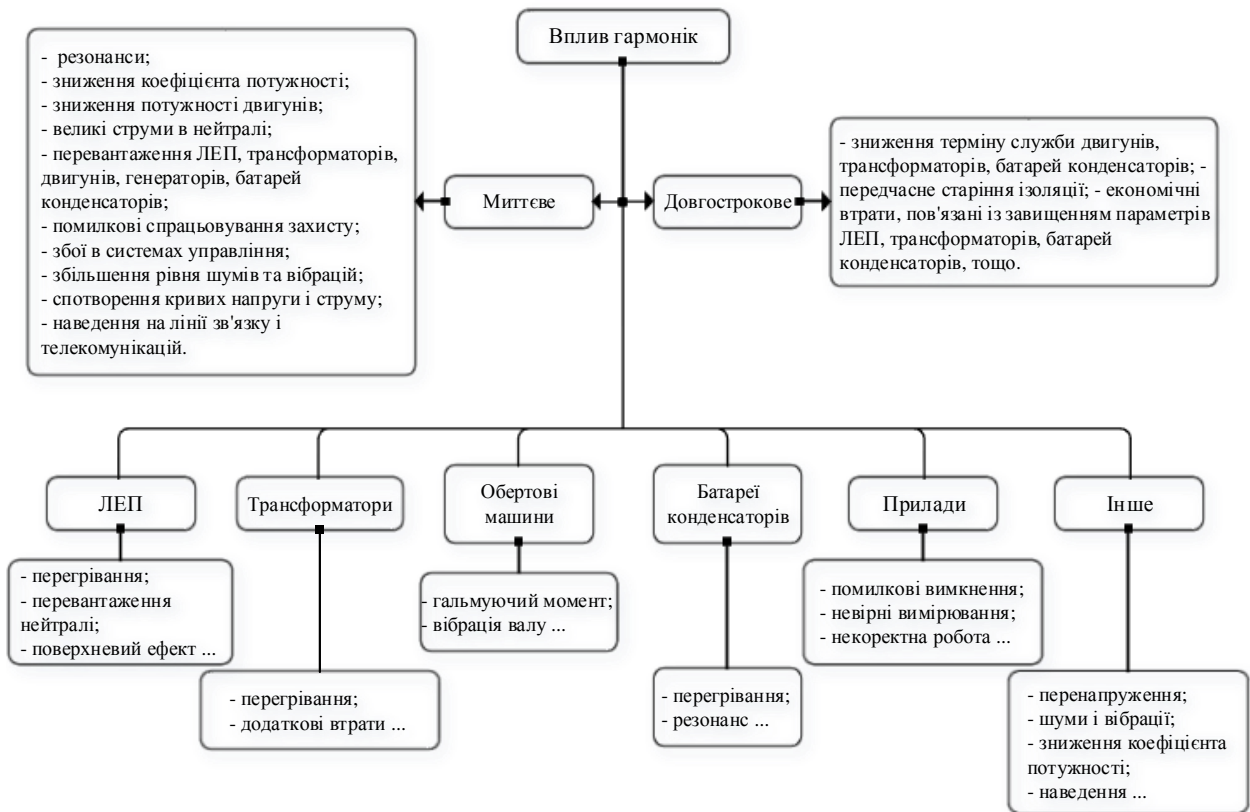


Рисунок 1 – Наслідки впливу вищих гармонік

Було зроблено висновок, що наявність гармонічних спотворень струмів і напруг в електричній мережі завдає шкоди всім елементам електричної мережі та споживачам. Коректна оцінка структури збитку вимагає точного фіксування, щодо яких саме явищ і подій та з урахуванням яких чинників він визначається. Для цього необхідно визначити джерела гармонік, оцінити ступінь участі кожного суб'єкта розподільчої мережі в порушенні синусоїдальності і розподілі потужності вищих гармонік.

На сьогодні немає загальноприйнятого методу для виявлення винуватців порушення синусоїдальності напруги. За результатами аналізу основних існуючих методів визначення джерел спотворення можна сказати наступне:

1. Метод включення/відключення споживача. Рекомендується застосовувати при приймальних випробуваннях, а також в умовах експлуатації для споживачів, тимчасове відключення яких не становить труднощів; метод не враховує векторний характер параметрів схеми заміщення розподільчих мереж і, як наслідок, некоректне визначення джерел спотворення напруги. Можливість технічної реалізації відсутня.

2. Метод побудови залежності $P_{ЯЕ} = f(S_{нав})$. Застосування обмежується тими випадками, коли інші джерела спотворення і резонансні явища в електричній мережі не роблять значного впливу на аналізований процес, а розглянутий споживач надає домінуючий вплив на якість електроенергії в точці загального призначення (ТЗП). Технічна реалізація можлива при наявності залежності $P_{ЯЕ} = f(S_{нав})$.

3. Метод визначення величини і знака потужності спотворення. Суть полягає у визначенні величини і знака спотворюючої потужності в ТЗП споживача

до енергосистеми. Недоліком є відсутність обліку взаємних потоків спотворюючої потужності, що виникають при наявності декількох джерел спотворення в електричній мережі. Є можливість технічної реалізації.

4. Розрахунково-аналітичний метод. Застосовується в проектних завданнях для вирішення питання про допустимість підключення спотворюючих навантажень до діючих мереж або для прогнозування можливого впливу споживача на якість електроенергії в точці його приєднання. Можливість технічної реалізації відсутня.

5. Гібридні методи. Суть методів полягає у визначенні параметрів еквівалентного лінійного навантаження за вимірюваннями в ТЗП. В основу покладено припущення про лінійність опору навантаження всім гармонікам, що коректно не у всіх випадках. Технічна реалізація можлива при лінійному опорі навантаження.

6. Метод еквівалентних джерел струму. Вимагає мінімальну кількість вихідних даних і дозволяє визначати фактичний внесок в спотворення кривої напруги на тривалих інтервалах часу. Недоліки: неможливість визначення фактичного вкладу, коли до ТЗП під'єднаний тільки одне джерело спотворення і висока похибка при одночасній зміні струмів енергосистеми і споживача. Є можливість технічної реалізації.

Інші, представлені в літературних джерелах, методи визначення винуватця спотворення кривої напруги не знайшли широкого застосування.

Аналіз програмно-апаратних засобів визначення якості електроенергії показав, що функціонал наявних на сьогодні на ринку засобів визначення якості електроенергії дозволяє аналізувати і реєструвати ПЯЕ. Деякі моделі дозволяють реєструвати потужність спотворення, але ця інформація не дає можливості визначати джерела спотворення, оскільки вони призначені для самостійної роботи, а не в системі. Строго кажучи, є аналізатори якості електроенергії з можливістю роботи в єдиній системі комерційного обліку енергоресурсів, але їх можливості обмежені тільки реєстрацією ПЯЕ.

На підставі викладеного вище сформульована мета і основні задачі дослідження. Обґрунтовано необхідність вирішення задачі зі створення системи діагностики і контролю з функцією визначення джерел гармонічних спотворень і ступеня участі кожного елемента електричної мережі та споживача в розподілі потужності вищих гармонік. Впровадження такої системи дозволить підвищити електромагнітну сумісність електрообладнання електричної мережі та споживачів і підвищити якість електроенергії.

В **другому розділі** розроблено концептуальну модель забезпечення якості електроенергії в електричній мережі і визначено місце ідентифікації джерела спотворення в системі заходів щодо підвищення якості електроенергії. Змодельована схема електричної мережі з джерелами спотворення. Проведені виміри показали необхідність розподілених вимірювань для визначення винуватців спотворення. Розроблено метод визначення джерела вищих гармонік і ступеня його участі спотворенні якості електроенергії за рахунок модифікації методів гармонічного аналізу. Розроблено метод компенсації збитку елементам електричної мережі та абонентам шляхом визначення коефіцієнтів розподілення окремо по

кожній гармоніці для кожного елемента електричної мережі та абонента, що дозволило перерозподілити компенсаційні виплати.

На рис. 2 представлено концептуальну модель забезпечення якості електроенергії в електричній мережі. На схемі визначено місце ідентифікації винуватця спотворення в ряду завдань за рішенням проблеми якості електроенергії (виділені фрагменти).

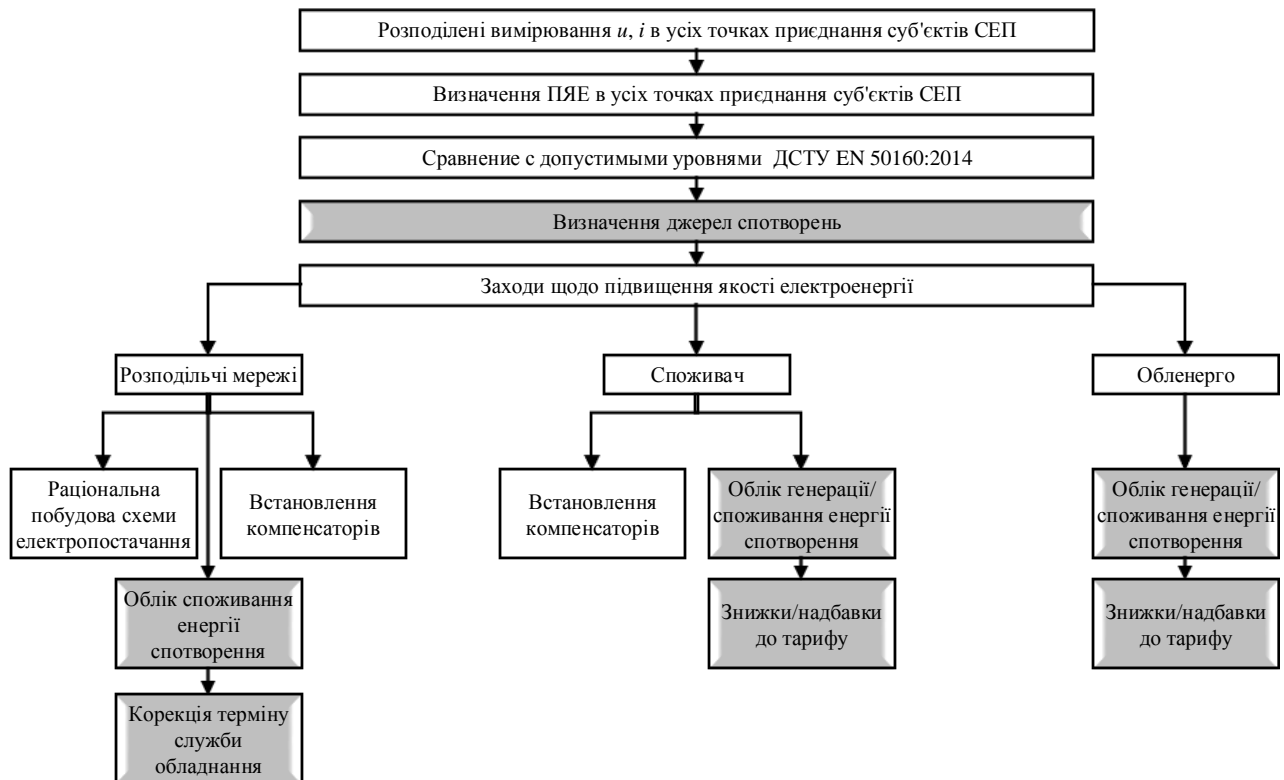


Рисунок 2 – Концептуальна модель вирішення проблеми якості електроенергії

За результатами аналізу методів визначення джерел спотворення, найкращим визнано метод визначення знака і величини вторинної потужності, що генерується джерелом гармонік.

Для дослідження була змодельована схема електричної мережі, наведена на рис. 3, з джерелами 3-ї гармоніки, як найбільш значущою за величиною.

Для аналізу даної схеми були обрані два найбільш характерних режиму її роботи:

- 1) з найбільшою генерацією потужності спотворення в мережу при синфазних спотворюючих ЕРС E_1 і E_2 ;
- 2) з найбільшими струмами спотворення, що протікають по елементах мережі, при протифазних спотворюючих ЕРС E_1 і E_2 .

В обох випадках ЕРС E_1 зафіксована на рівні 3 кВ з фазою 0° (збігається з фазою ЕРС першої гармоніки), $SW1.2$ і $SW2.2$ замкнуті, $SW1.1$ і $SW2.1$ розімкнуті. У першому циклі E_2 змінюється від нуля до 3 кВ з фазою 0° (E_1 і E_2 синфазні). У другому – E_2 також змінюється від нуля до 3 кВ, але з фазою 180° (E_1 і E_2 протифазні).

Вимірювання потужності 3-й гармоніки проводилися в ТЗП і на клеммах споживача. Для визначення гармонічного складу кривих струму і напруги використовувалося (ШПФ).

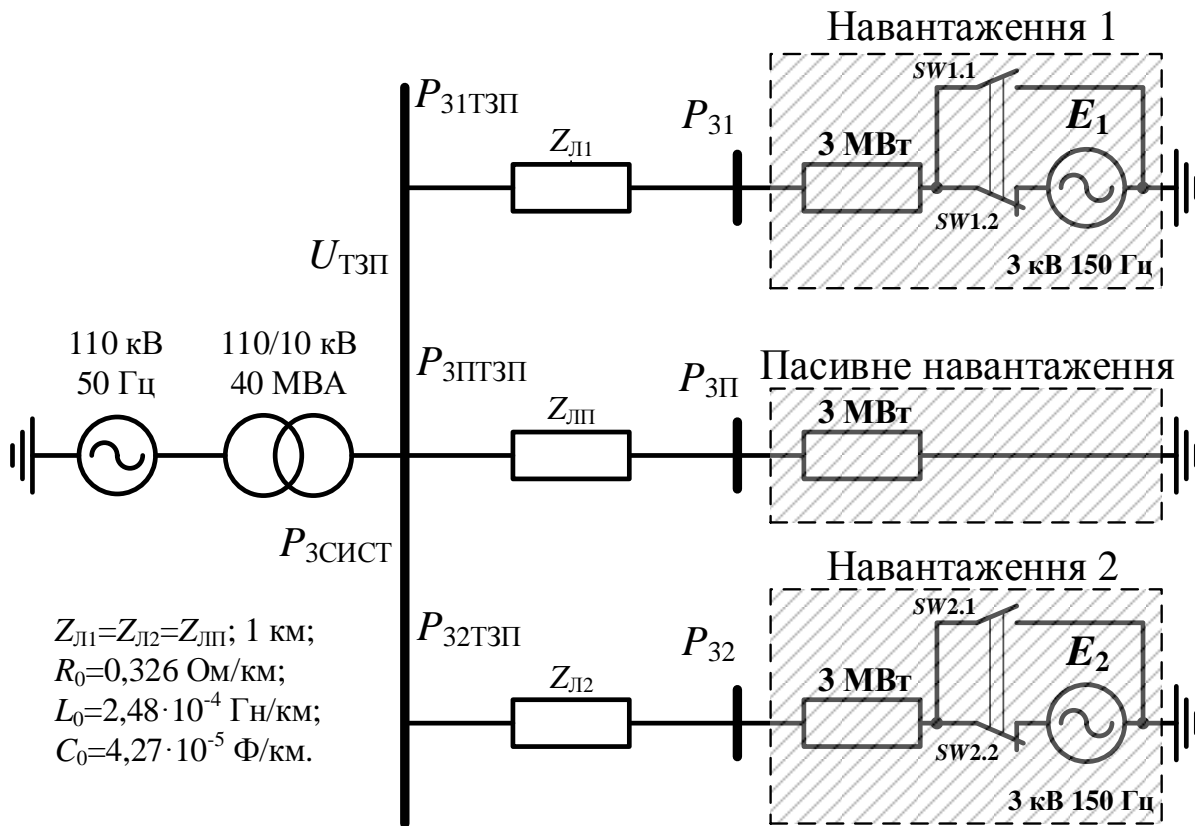


Рисунок 3 – Схема розподільчої мережі з двома джерелами спотворення E_1 і E_2

За аналізом результатів зроблено висновок про істотну різницю в величинах потужностей 3-ї гармоніки, виміряних в ТЗП і на клеммах споживача. Детальний аналіз результатів досліджень показав, що при певних співвідношеннях E_1 і E_2 потужність 3-ї гармоніки, виміряна на кінцях кабельної лінії, яка живить навантаження 2, спрямована назустріч одна одній. Це дало підставу стверджувати, що вимірювання, проведені в ТЗП, не дають достовірної інформації про джерело спотворення і не дають повної картини розподілу потужності вищих гармонік в електричній мережі.

Для усунення недоліків існуючих методів визначення джерел гармонічних спотворень, які дозволяють визначити тільки ступінь участі джерел гармонік в спотворенні, був запропонований метод коефіцієнта розподілення по k -й гармоніці для кожного елемента електричної мережі та споживача, який визначається як відношення активної потужності гармоніки кожного елемента електричної мережі та споживача до сумарної активної потужності відповідної гармоніки, що генерується всіма джерелами спотворення, з урахуванням знаку

$$K_{ki} = \frac{P_{ki}}{P_{\Sigma k}}, \quad (1)$$

де P_{ki} – активна потужність k -ї гармоніки i -го елемента електричної мережі або споживача; $P_{\Sigma k}$ – сумарна потужність k -ї гармоніки.

Активна потужність k -ї гармоніки, i -го «транзитного» елемента електричної мережі (кабельні лінії, трансформатори, тощо) визначається, як різниця між потужністю, яка вимірюється на вхідних і вихідних клеммах

$$P_{ki} = P_{ki\text{вх}} - P_{ki\text{вих}}. \quad (2)$$

Сумарна потужність k -ї гармоніки визначається як сума потужностей всіх джерел k -ої гармоніки

$$P_{\Sigma k} = \sum P_{ki\text{дж}}, \quad (3)$$

де $P_{ki\text{дж}}$ – потужність i -го джерела k -ї гармоніки.

$P_{ki\text{дж}}$ визначається з умови

$$P_{ki\text{дж}} = \begin{cases} 0 & \text{якщо } P_{ki} \geq 0; \\ P_{ki} & \text{якщо } P_{ki} < 0, \end{cases} \quad (4)$$

де P_{ki} – активна потужність k -ї гармоніки i -го споживача.

Позитивна величина коефіцієнта розподілення вказує на участь елемента електричної мережі або споживача в генерації потужності k -ї гармоніки, негативна величина – в споживанні.

Джерела спотворення діляться на нелінійні навантаження, що працюють в спокійному режимі, і різкозмінні нелінійні навантаження.

ШПФ дає частотну інформацію про сигнал, але не дозволяє визначити час появи і зникнення гармонік на інтервалі вимірювання.

При наявності в електричній мережі різкозмінних нелінійних навантажень, частотне наповнення сигналу може істотно змінюватися на інтервалі вимірювання.

Особливістю ШПФ є те, що за допомогою цього алгоритму обчислюються відразу всі компоненти вихідного спектра сигналу. Можна стверджувати, що ШПФ є індикатором наявності в сигналі на інтервалі вимірювання певних гармонічних складових.

В якості основного інтервалу часу при вимірюванні ПЯЕ приймається інтервал тривалістю 10 періодів гармоніки основної частоти.

З метою деталізації частотного наповнення сигналу на інтервалі вимірювання запропоновано модифікацію методу гармонічного аналізу з використанням відмінних рис ШПФ і ДПФ, яка дозволила локалізувати час появи і зникнення гармонік з точністю до одного періоду гармоніки основної частоти. Відмінною особливістю ДПФ по відношенню до ШПФ є можливість аналізувати вихідний сигнал по кожній гармоніці окремо.

Для деталізації частотного наповнення необхідно помножити кожен період сигналу на основному інтервалі вимірювання на синусоїди і косинусоїди одиничної амплітуди з частотами, отриманими в результаті ШПФ сигналу, і проінтегрувати на інтервалі 2π . В результаті для кожної гармонійної складової на l -му періоді основного інтервалу вимірювання отримуємо систему рівнянь

$$\begin{cases} A_{kl} \pi \cos \alpha_{kl} = a_{kl}; \\ A_{kl} \pi \sin \alpha_{kl} = b_{kl}, \end{cases} \quad (5)$$

де A_{kl} – амплітуда k -ї гармоніки сигналу на l -му періоді основного інтервалу вимірювання.

Система рівнянь (5) не що інше, як тригонометричне уявлення комплексного числа $z_{kl}=a_{kl}+jb_{kl}$. Тоді амплітуда k -ї гармонійної складової на l -му періоді основного інтервалу вимірювання визначається, як

$$A_{kl} = \frac{|z_{kl}|}{\pi}, \quad (6)$$

де $|z_{kl}|$ - модуль комплексного числа z_{kl} .

Фаза k -ї гармоніки на l -му періоді основного інтервалу вимірювання

$$\alpha_{kl} = \arg z_{kl}. \quad (7)$$

Таким чином вдалося локалізувати час появи і зникнення вищих гармонік з точністю до одного періоду гармоніки основної частоти (рис. 4).

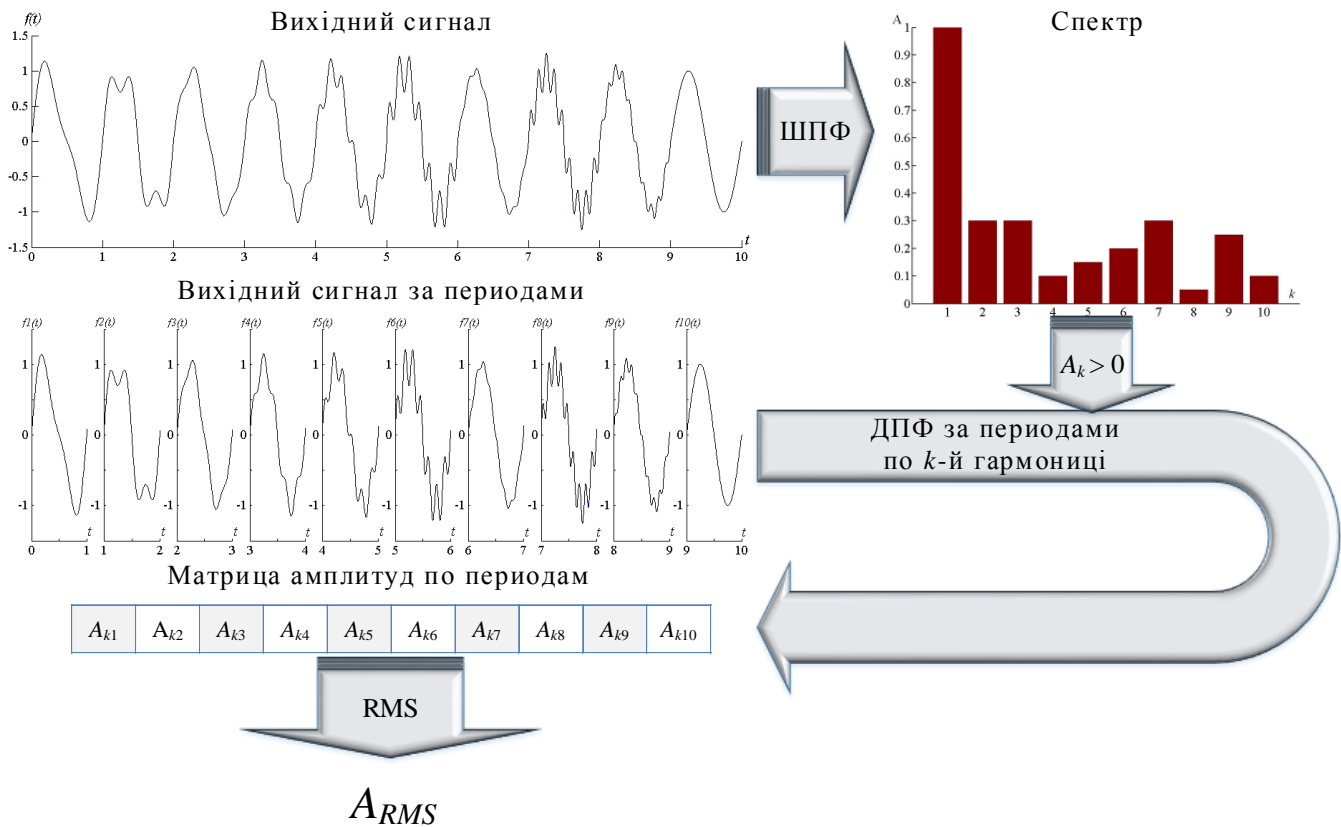


Рисунок 4 – Модифікація методу гармонічного аналізу «ШПФ+ДПФ»

Ознакою різкозмінного нелінійного навантаження є нерівність

$$\frac{P_{ki}^{\text{ШПФ}}}{P_{ki}^{\text{ШПФ+ДПФ}}} \neq 1, \quad (8)$$

де $P_{ki}^{\text{ШПФ}}$ – потужність k -ої гармоніки i -го елемента електричної мережі або споживача, що визначена за допомогою алгоритму ШПФ; $P_{ki}^{\text{ШПФ+ДПФ}}$ – потужність k -ї гармоніки i -го елемента електричної мережі або споживача, визначена за допомогою алгоритму ШПФ+ДПФ.

Тоді формула для визначення коефіцієнта розподілення i -го споживача по k -й гармоніці приймає наступний вигляд

$$K_{ki}^{\text{ШПФ+ДПФ}} = \frac{P_{ki}^{\text{ШПФ+ДПФ}}}{P_{\Sigma k}^{\text{ШПФ+ДПФ}}}, \quad (9)$$

де $P_{\Sigma k}^{\text{ШПФ+ДПФ}}$ – сумарна потужність k -ї гармоніки, визначена за алгоритмом ШПФ+ДПФ.

Для дослідження методу визначення джерела спотворення і ступеня участі кожного електричної мережі та споживача в розподілі потужності вищих гармонік з використанням алгоритму ШПФ+ДПФ була змодельована схема електричної мережі, наведена на рис. 3, де ключі $SW1$ і $SW2$ моделюють змінний характер джерела спотворення.

Для аналізу схеми було вибрано режими роботи аналогічні режимам, які використовувалися при дослідженні моделі електричної мережі зі спокійним спотворюючим навантаженням (табл. 1).

Таблиця 1 - Відповідність режимів нелінійних навантажень

Режим	Різкозмінне						Спокійне			
	Навантаження 1			Навантаження 2			Навантаження 1		Навантаження 2	
	E_1 , кВ	Фаза, °	l	E_2 , кВ	Фаза, °	l	E_1 , кВ	Фаза, °	E_2 , кВ	Фаза, °
1	6	0	1÷5	3	0	1÷10	3	0	3	0
2	6	0	1÷5	3	180	1÷10	3	0	3	180
3	30	0	1÷1	3	0	1÷10	3	0	3	0
4	6	0	1÷5	6	180	5÷10	3	0	3	180

l – порядковий номер періоду на основному інтервалі вимірювання.

Виміри проводилися в ТЗП і на клеммах всіх елементів електричної мережі та споживачів. Для визначення гармонічного складу кривих струму і напруги використовувалося ШПФ і ШПФ+ДПФ. Результати досліджень наведено на рис. 5-8.

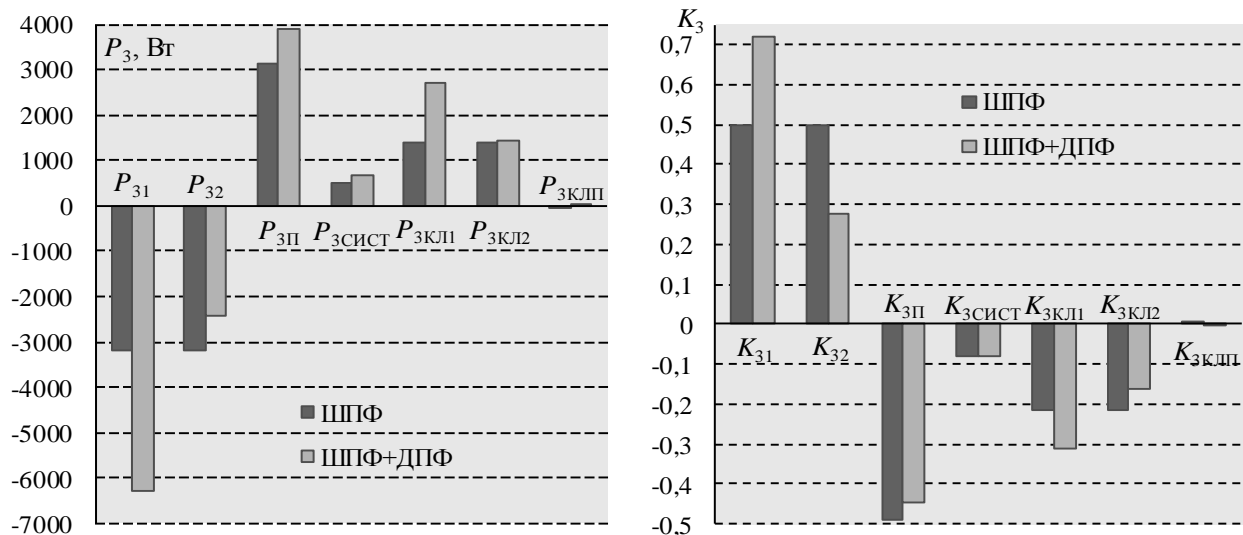


Рисунок 5 – Потужності 3-ї гармоніки P_3 і коефіцієнти розподілу по 3-й гармоніці K_3 для режиму 1

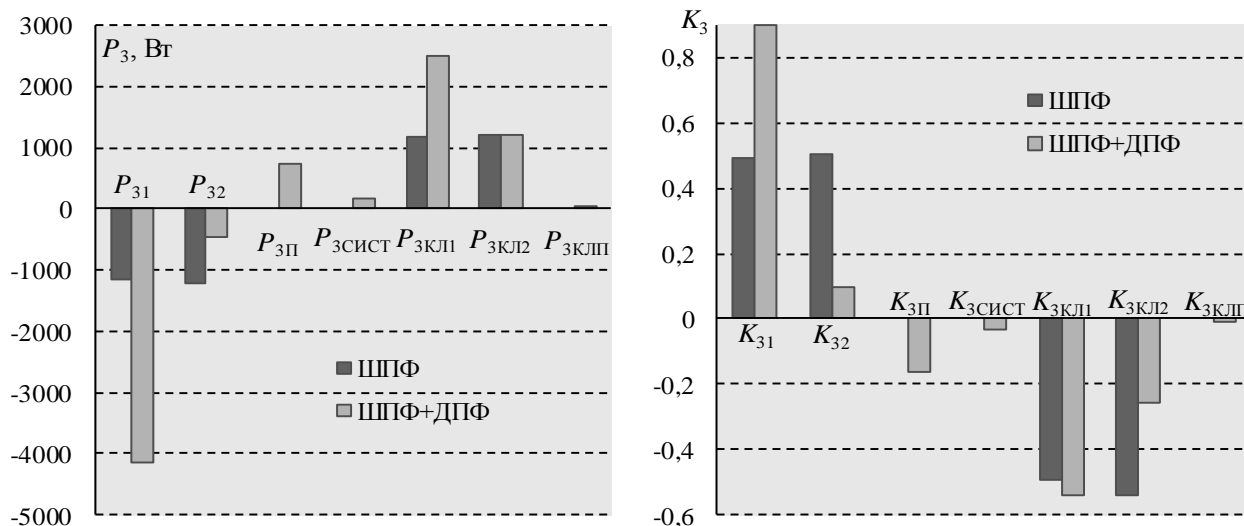


Рисунок 6 – Потужності 3-ї гармоніки P_3 і коефіцієнти розподілу по 3-й гармоніці K_3 для режиму 2

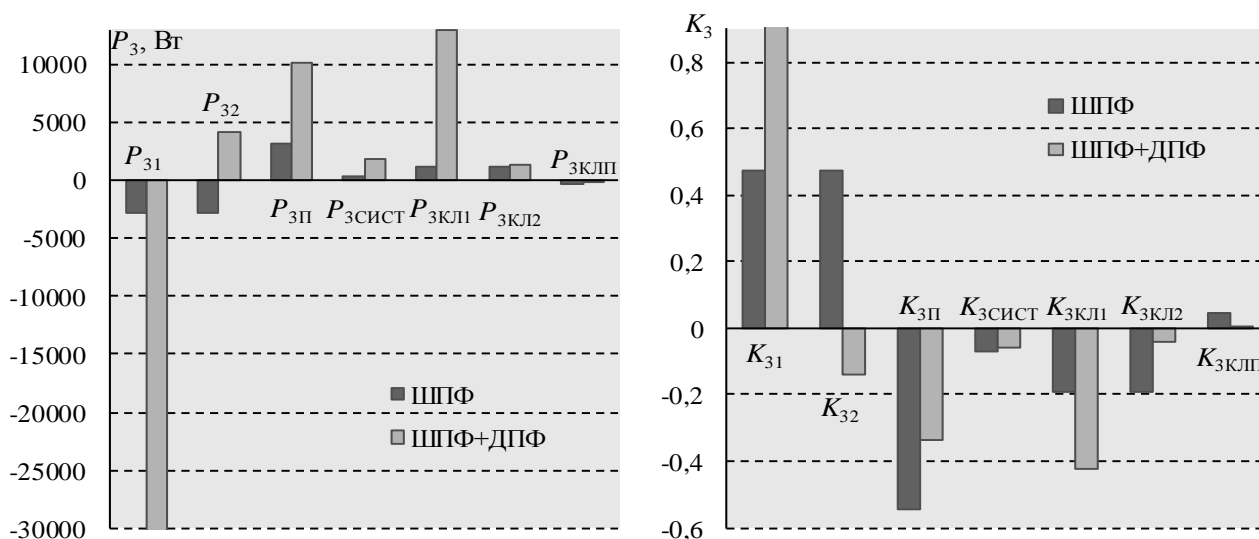


Рисунок 7 – Потужності 3-ї гармоніки P_3 і коефіцієнти розподілу по 3-й гармоніці K_3 для режиму 3

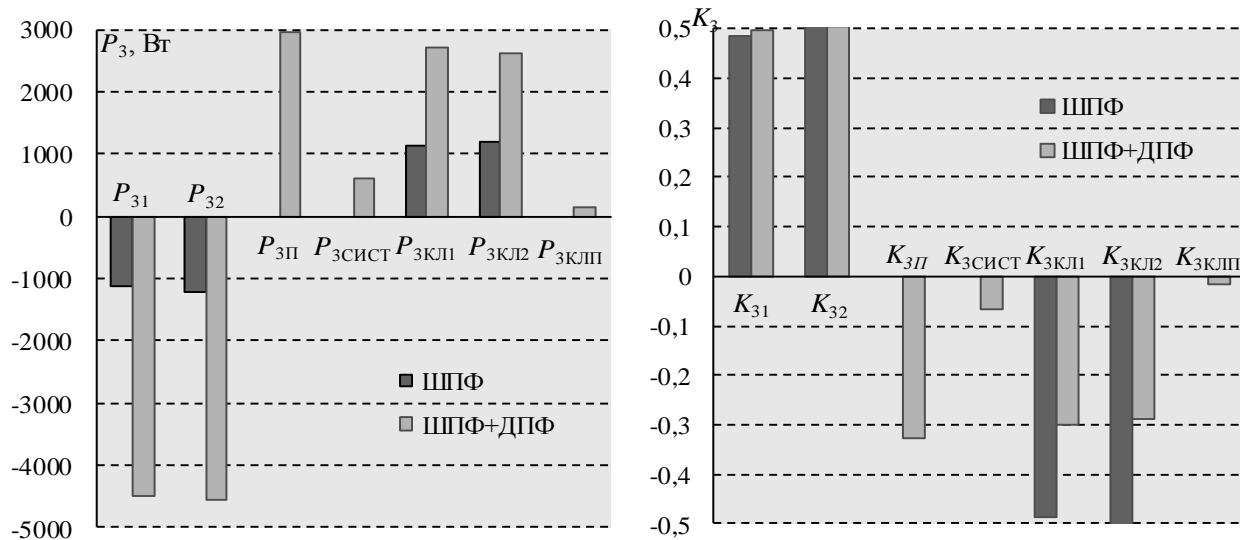


Рисунок 8 – Потужності 3-ї гармоніки P_3 і коефіцієнти розподілу по 3-й гармоніці K_3 для режиму 4

При аналізі отриманих результатів звернуло на себе увагу істотна відмінність потужності 3-ї гармоніки, розрахованої за допомогою ШПФ і за допомогою ШПФ+ДПФ. Для всіх елементів електричної мережі та споживачів потужність 3-ї гармоніки, отримана за допомогою ШПФ+ДПФ, за абсолютним значенням більше потужності 3-ї гармоніки, отриманої за допомогою ШПФ. Зроблено висновок, що в разі різкозмінного нелінійного навантаження при використанні тільки ШПФ має місце недооцінка збитку, що завдано електроустановкам.

Використання ШПФ+ДПФ при обчисленні коефіцієнта розподілу дозволяє визначити не тільки ступінь участі кожного елемента електричної мережі та споживача в розподілі потужності спотворення, а й оцінити величину збитку, що наноситься кожної гармонікою, всім елементам електричної мережі та споживачам.

В третьому розділі проведено розрахунок збитку від несинусоїдальності напруги в електричній мережі промислового підприємства за існуючим на сьогодні на Україні методом. За його результатами обґрунтовано економічну доцільність диференціації збитку за номером гармоніки. Розроблено та обґрунтовано новий метод нарахування плати за спожиту електроенергію, заснований на визначенні вторинної потужності вищих гармонік і тарифних коефіцієнтах, що характеризують збиток, що наноситься технологічному процесові та електроустановкам енергосистеми і споживачів впливом вищих гармонік.

У задачі розподілу компенсаційних виплат між елементами електричної мережі та абонентами, що спотворюють криву напруги, і елементами електричної мережі та абонентами, що споживають потужність вищих гармонік, визначення відповідальності саме за потужністю гармонік в рамках основного інтервалу вимірювання не є кінцевою метою. Фінансові розрахунки між суб'єктами розподілу і споживання електроенергії здійснюються не за потужністю, а за кількістю електроенергії.

Таке завдання вирішується шляхом інтегрування активної потужності кожної гармоніки по великій кількості інтервалів усереднення за тривалий час окремо для потужностей з негативним і позитивним знаком:

$$W_{\text{спож } ik} = \int_0^T P_{\text{спож } ik}(t) dt, \quad (10)$$

$$W_{\text{ген } ik} = \int_0^T |P_{\text{дж } ik}(t)| dt, \quad (11)$$

де $W_{\text{спож } ik}$ – енергія k -ї гармоніки, що спожита i -м елементом електричної мережі або споживачем за час T ; $W_{\text{ген } ik}$ – енергія k -ї гармоніки, що згенерована i -м елементом електричної мережі або споживачем за час T ; $P_{\text{спож } ik}(t)$ – потужність k -ї гармоніки, що спожита i -м елементом електричної мережі або споживачем в момент часу t ; $P_{\text{дж } ik}(t)$ – потужність k -ї гармоніки, що генерується i -м елементом електричної мережі або споживачем в момент часу t ; T – контрольований інтервал часу.

За спожиту підприємством енергію вищих гармонік енергопостачальна організація сплачує споживачеві, а за згенеровану в мережу енергію вищих гармонік – споживач енергопостачальній організації. Тобто вартість електроенергії для споживача визначається, як функція

$$\Pi = f(W_1, W_{\text{ген } k}, W_{\text{спож } k}), \quad (12)$$

де W_1 – електроенергія першої гармоніки; $W_{\text{ген } k}$ – згенерована електроенергія k -ї гармоніки; $W_{\text{спож } k}$ – спожита електроенергія k -ї гармоніки.

Тоді величину плати за електроенергію для i -го споживача можна визначити формулою

$$\Pi_i = c_1 W_{\text{спож } i1} + \sum_{k=2}^{k_{\text{max}}} (c_{\text{ген } k} W_{\text{ген } ik} - c_{\text{спож } k} W_{\text{спож } ik}), \quad (13)$$

де c_1 – вартість 1 кВт·год електроенергії для підприємства; $c_{\text{спож } k}$ – тарифний коефіцієнт, що відповідає компенсації, яку платить енергопостачальна компанія підприємству за збитки завдані йому споживанням 1 кВт·год електроенергії на частоті k -ї гармоніки; $c_{\text{ген } k}$ – тарифний коефіцієнт, що відповідає штрафу, який платить споживач енергопостачальній компанії, за збитки іншим елементам електричної мережі та споживачам, що наносяться генерацією в мережу 1 кВт·год електроенергії на частоті k -ї гармоніки; $W_{\text{спож } i1}$ – електроенергія першої гармоніки, що спожита i -м споживачем; $W_{\text{спож } ik}$ – електроенергія k -ї гармоніки, спожита i -м споживачем; $W_{\text{ген } ik}$ – електроенергія k -ї гармоніки, що згенерована i -м споживачем; k – порядок гармоніки; k_{max} – максимальний порядок контрольованих гармонік.

У загальному випадку, величини тарифних коефіцієнтів $c_{\text{ген } k}$ і $c_{\text{спож } k}$ за генерацію і споживання енергії вищих гармонік відрізняються один від одного. У разі рівного розподілу тарифних коефіцієнтів ($c_{\text{ген } k} = c_{\text{спож } k}$), формула для розрахунків величини плати за електроенергію набирає вигляду

$$\Pi_i = c_1 W_{i1} - \sum_{k=2}^{k_{\text{max}}} c_k W_{ik}, \quad (14)$$

де c_1 – вартість 1 кВт·год електроенергії для підприємства; c_k – тарифний коефіцієнт, що відповідає вартості 1 кВт·год електроенергії k -ї гармоніки; k – порядок гармоніки; k_{max} – максимальний порядок контрольованих гармонік.

В четвертому розділі розглянуто питання практичного застосування результатів досліджень. Запропоновано алгоритм розширення функціональних можливостей електронних лічильників електроенергії, що дозволяє контролювати гармонічний склад електроенергії, що постачається, і реєструвати потужність і енергію вищих гармонік. Розглянуто питання застосування лічильників електроенергії з реєстрацією потужності вищих гармонік в складі автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії. Запропоновано метод непрямого контролю температури кабельних ліній.

Для вирішення задач контролю якості електроенергії і визначення ступеня участі кожного елемента електричної мережі та споживача в розподілі потужності вищих гармонік з метою підвищення якості електроенергії і надійності електропостачання споживачів і коригування величини оплати за споживану електроенергію доцільно використовувати АСКОЕ.

Основним компонентом АСКОЕ є багатофункціональний електронний лічильник електроенергії (первинний вимірювальний перетворювач). Гармонічний аналіз сигналів струму і напруги проводиться сигнальним процесором лічильника за алгоритмом, наведеним на рис. 9.



Рисунок 9 – Блок-схема алгоритму аналізу сигналів струму і напруги лічильником

Обчислення потужності вищих гармонік для «транзитних» елементів електричної мережі, визначення винуватців гармонічних спотворень і ступеня участі елементів електричної мережі та споживачів в розподілі потужності вищих гармонік починається на рівні локального пристрою збору і обробки даних (ЛПЗОД), яка проводить збір і обробку інформації з багатофункціональних лічильників електроенергії, що входять в склад АСКОЕ. Також розрахунок потужності вищих гармонік для «транзитних» елементів електричної мережі може виконуватися програмним забезпеченням верхнього рівня при безпосередньому підключенні лічильників до сервера бази даних (БД). Блок-схему алгоритму обчислення потужності вищих гармонік для «транзитних» елементів електричної мережі наведено на рис. 10.

Матеріали дисертаційної роботи реалізовані в програмно-апаратному вимірювальному комплексі ІТЕК–010, розробленому НДІ «Енергія» спільно з НВП «Енергія+». Використання технології розподілених вимірювань на базі ІТЕК-010 дозволяє визначати ступінь участі кожного елемента електричної мережі і споживача в розподілі потужності вищих гармонік, а також непрямо контролювати нагрів кабельних ліній за методом, запропонованим в розділі 4.



Рисунок 10 – Блок-схема алгоритму обчислення потужності вищих гармонік для «транзитних» елементів електричної мережі

В додатках наведено акти впровадження основних результатів дисертаційної роботи, результати програмних обчислень потужностей гармонік, схема SIMULINK-моделі електричної мережі, вихідний код програми розрахунку потужності гармонік, математичне обґрунтування для модифікації методу гармонічного аналізу та список публікацій.

ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науковою працею, у якій на підставі проведених досліджень було вирішено актуальну науково-прикладну задачу підвищення якості електроенергії на основі визначення джерел гармонічних спотворень і впровадження керуючих дій, в результаті чого отримано наступні науково-практичні результати і висновки:

1. Аналіз літературних джерел показав, що наявність гармонічних спотворень струмів і напруг при їх впливі на функціонування широкого спектру електрообладнання призводить до мільярдних збитків для всіх учасників ринку електроенергії. При цьому сучасні програмно-апаратні комплекси тільки вимірюють і реєструють показники якості електроенергії в точці їх підключення і не дозволяють достовірно визначити джерела спотворень через відсутність можливості роботи в єдиній контрольно-вимірювальній системі.

2. Застосування розробленого методу визначення джерел гармонічних спотворень, що відрізняється вимірюванням потужності гармонічних складових в точках підключення елементів електричної мережі та точках групування споживачів, дозволило підвищити достовірність визначення винуватців спотворення синусоїдальності кривих струму і напруги з достовірністю до 98% при використанні апаратури класу точності 0,5.

3. Обґрунтовано доцільність використання коефіцієнтів розподілення по окремих гармонічним складовим для запропонованого в роботі методу оцінки

ступеня участі елементів електричної мережі і споживачів в розподілі потужності вищих гармонік з метою підвищення об'єктивності визначення та розподілу компенсаційних виплат.

4. Розроблено метод локалізації моменту появи/зникнення гармонік на інтервалі часу ± 20 мс при наявності різкозмінного спотворюючого навантаження, який використовує ДПФ по точках спектру, отриманим внаслідок ШПФ (ШПФ+ДПФ).

5. Запропоновано метод нарахування компенсаційних виплат, який відрізняється використанням тарифних коефіцієнтів за спожити/згенеровану енергію вищих гармонік, що дозволяє об'єктивно вирішити конфліктні ситуації, що виникають між енергопостачальною організацією і споживачем при фіксації несинусоїдальних режимів.

6. Враховуючи, що при додатковому нагріванні, що викликано протіканням струму гармонічних складових, на 1°C термін служби кабелю з ізоляцією класу А зменшується на 1,08 року, в роботі запропоновано метод непрямого контролю температури кабельної лінії при появі несинусоїдальних режимів, що врешті дозволило продовжити термін її експлуатації або, як мінімум, скорегувати терміни регламентних робіт.

7. Результати досліджень передані для використання в НДІ «Енергія», ТОВ «Еском», НВП «Енергія+», ЗАТ «ІНЕТ» та у навчальний процес КПІ ім. Ігоря Сікорського.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Филянин Д. В., Волошко А. В. Влияние качества электроэнергии на точность показаний электросчетчиков: обзор исследований. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2014. №4(87). С. 38-43.

Здобувачем зроблено аналіз інформації по впливу вищих гармонік на точність приладів обліку електроенергії різного типу.

2. Филянин Д. В., Волошко А. В. Определение источников гармонических искажения в точке общего подключения на примере упрощенной модели распределительной сети. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2015. №1. С. 35–43.

Здобувачем проведено огляд існуючих методів пошуку винуватця гармонічних спотворень та розроблено спрощену модель електричної мережі.

3. Филянин Д. В., Волошко А. В. Применение алгоритмов Быстрого Преобразования Фурье и Дискретного Преобразования Фурье для обнаружения, локализации и оценки синусоидальности кривых тока и напряжения. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2017. №3. С. 87-94.

Здобувачем запропоновано та математично обґрунтовано ідею можливості суміщення двох Перетворень Фур'є для локалізації гармонічного спотворення.

4. Філянін Д. В. Визначення ступеню участі суб'єктів електричної мережі в розподілі потужності вищих гармонік. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. 2018. Вип.195. С. 61–62.

5. Филянин Д. В. Применение автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии для решения задач идентификации и оценки источников гармонических искажений. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2018. №4(111). С. 23–28.

6. Filyanin, D. Identification of harmonic distortion sources in distribution systems using Discrete Fourier Transform on periods. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. №2. С. 110–119.

7. Филянин Д. В., Волошко А. В. К вопросу определения источника гармоник на примере упрощенной модели системы электроснабжения. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2015. Т. 326, №6. С. 114–121.

Здобувачем приведено дослідження щодо розподілу потужності вищих гармонік в електричній мережі та дослідження величини коефіцієнта гармонік в залежності від точки вимірювань.

8. Філянін Д. В., Калінчик В. П., Шиянов О. О., Кульбачний П. В. Побудова системи обліку електроенергії об'єктів альтернативної енергетики. *ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи*: Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції. Київ, 2013. С. 241–242.

Здобувачем зроблено аналіз можливості серверного резервування.

9. Филянин Д. В., Волошко А. В., Дегтярев А. В. Применение технологии синхронных векторных измерений в распределительных сетях. *ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи*: Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції. Київ, 2014. С. 214–215.

Здобувачем зроблено аналіз можливості підвищення спостережуваності електричних мереж при застосуванні технології розподілених вимірювань.

10. Филянин Д. В., Волошко А. В., Дегтярев А. В. Идентификация источников искажения в системе электроснабжения. *ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи*: Матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції. Київ, 2015. С. 225–226.

Здобувачем приведено висновки щодо вибору метода та точки вимірювань для підвищення достовірності ідентифікації винуватця спотворення.

11. Филянин Д. В., Волошко А. В., Дегтярев А. В. Определение степени участия каждого субъекта системы электроснабжения в распределении мощности высших гармоник. *ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи*: Матеріали XV Міжнародної науково-технічної конференції. Київ, 2016. С. 212–213.

Здобувачем запропоновано впровадження коефіцієнта розподілення.

12. Філянін Д. В., Калінчик В. П., Прокопенко В. В., Кульбачний П. В. Побудова Системи обліку електроенергії об'єктів альтернативної енергетики. *ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи*: Матеріали XVII Міжнародної науково-технічної конференції. Київ, 2018. С. 188–189.

Здобувачем приведено дослідження по побудові нижнього рівня АСКОВЕ.

13. А. С. №79604 Україна. Метод и алгоритм определения источников искажения электрической энергии и степени участия субъектов СЭС в их наличии. А. В. Волошко, Д. В. Філянін. Заявка №79735 від 19.04.2018. 10 с.

Здобувачем запропоновано метод та алгоритм визначення винуватців спотворення.

АНОТАЦІЇ

Філянін Д. В. Методи і засоби інформаційного забезпечення режимів електричних мереж в умовах низької якості електроенергії. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, 2018.

Дисертація присвячена науково-прикладній проблемі – пошуку винуватців гармонічних спотворень в електричних мережах та підвищенню якості електроенергії шляхом створення системи діагностики і контролю на базі АСКОЕ.

Обґрунтовано використання технології розподілених вимірювань для пошуку винуватців спотворень. Розроблено модифікацію методу гармонічного аналізу для підвищення достовірності визначення джерел спотворення. На підставі результатів досліджень запропоновано методи розподілу компенсаційних виплат між елементами електричної мережі та абонентами, що споживають потужність вищих гармонік. Розроблено ряд рекомендацій щодо практичного застосування результатів дисертаційної роботи. Запропоновано метод непрямого контролю температури кабельних ліній.

Ключові слова: якість електроенергії, параметри якості електроенергії, гармоніки, джерела спотворень, потужність гармонік, вимірювання потужності гармонік коефіцієнт гармонік, Швидке Перетворення Фур'є, Дискретне Перетворення Фур'є, лічильники електроенергії, коефіцієнт розподілу, температура кабельної лінії.

Филянин Д. В. Методы и средства информационного обеспечения режимов электрических сетей в условиях низкого качества электроэнергии. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции, сети и системы – Национальный Технический Университет Украины «Киевский Политехнический Институт имени Игоря Сикорского», Киев, 2019.

Проведенные в работе исследования показали актуальность проблемы воздействия высших гармоник на работу электрооборудования. Обоснована необходимость дифференциации ущерба по порядку гармоники. Существующие методы определения источников искажений не позволяют достоверно определить источники искажения.

Для решения задач по улучшению электромагнитной совместимости электрооборудования разработана концептуальная модель обеспечения качества электроэнергии и определено место идентификации источника искажения в системе мероприятий по повышению качества электроэнергии.

Разработана имитационная модель распределительной сети с несколькими источниками гармонических искажений. По результатам измерений, проведенных на данной модели, обосновано применение технологии распределенных измерений

для идентификации источников искажений. Разработан метод коэффициента распределения по k -й гармонике, позволяющий распределять компенсационные выплаты между элементами электрической сети и потребителями, в зависимости от их участия в распределении мощности высших гармоник.

Для повышения достоверности определения источников искажений при наличии резкопеременных источников гармонических искажений разработан модифицированный метод гармонического анализа «БПФ+ДПФ», позволяющий локализовать появление и исчезновение гармоник на основном интервале измерения с точностью до одного периода гармоник основной частоты.

Разработана модель электрической сети с несколькими резкопеременными источниками гармонических искажений. Использование «БПФ+ДПФ» при вычислении коэффициента распределения позволило определить не только степень участия каждого элемента электрической сети и абонента в распределении мощности искажения, но и оценить величину ущерба, наносимого каждой гармоникой, всем элементам электрической сети и абонентам в случае наличия резкопеременных источников искажений.

Проведен расчет ущерба от несинусоидальности напряжения в сети промышленного предприятия по существующему на сегодняшний день на Украине методу. По его результатам обосновывается экономическая целесообразность дифференциации ущерба по номеру гармоник. Разработан и обоснован новый метод начисления платы за электроэнергию, основанный на определении вторичной мощности высших гармоник и тарифных коэффициентах, характеризующих ущерб, наносимый технологическому процессу и электрооборудованию энергосистемы и потребителей воздействием высших гармоник.

Приведены рекомендации по практическому применению результатов исследований. Предложен алгоритм расширения функциональных возможностей счетчиков электроэнергии, позволяющий контролировать гармонический состав электроэнергии, регистрировать мощность и энергию высших гармоник. Рассмотрены вопросы применения счетчиков электроэнергии с регистрацией мощности высших гармоник в составе АСКУЭ, что позволяет косвенно контролировать температуру кабельных линий по предложенному в работе методу.

Ключевые слова: качество электроэнергии, параметры качества электроэнергии, гармоники, источники искажений, мощность гармоник, измерение мощности гармоник, коэффициент гармоник, Быстрое Преобразование Фурье, Дискретное Преобразование Фурье, счетчики электроэнергии, коэффициент распределения, температура кабельной линии.

Filyanin D. V. Methods and tools of information support for mode management tasks of electrical networks in low power quality conditions. – Manuscript.

Thesis for the PhD degree in technical sciences, Specialty 05.14.02 – power plants and electric power complexes. National technical university of Ukraine “Kyiv polytechnic institute”, Kyiv, 2019.

The thesis is oriented to the scientific and applied problem - harmonic distortion sources detection in distribution systems (DS), improving the electromagnetic

compatibility of electrical equipment, increasing the reliability of electric power supply by creating a diagnostic and control system.

The use of distributed measurements to distortions source detection is justified. A modification of the method of harmonic analysis is developed to increase the reliability of distortions sources detection. Based on the study's results, methods for distributing compensation payments between DS's subjects that consume harmonics power are proposed. A number of recommendations on the practical application of the results of the thesis work have been developed. A method for indirect monitoring of the temperature of cable lines is proposed.

Keywords: power quality, power quality parameters, harmonics, distortion sources, harmonics power, harmonic power measurement, total harmonic distortion, Fast Fourier Transform, Discrete Fourier Transform, power meters, distribution coefficient, power cable temperature.



Підписано до друку 10 квітня 2019 р.
Формат 60x90¹⁶. Папір офсетний. Друк різнографічний.
Кількість умовних друкованих аркушів 0,9
Тираж 100 екз. Замовлення №1749
Суб'єкт видавничої діяльності занесено до державного реєстру №620049 13.10.2008,
ПРИНТЦЕНТР, м. Київ, вул. Політехнічна, 16