

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Дяченко Олександр Васильович



УДК 621.311

**РОЗВИТОК МЕТОДІВ ЗНАХОДЖЕННЯ ЧАСТКОВОЇ УЧАСТІ У
ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ЗА ПОРУШЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

Спеціальність 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизації та кібербезпеки енергосистем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор
Сендерович Геннадій Аркадійович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
професор кафедри автоматизації та кібербезпеки
енергосистем.

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

кандидат технічних наук, доцент
Сотнік Ольга Василівна,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка,
доцент кафедри автоматизованих електромеханічних
систем.

Захист відбудеться «24» травня 2018 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий «19» квітня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С.Ю. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В електроенергетиці одним з найважливіших аспектів електрозбереження і екологічності є поліпшення якості електроенергії (ЯЕ) і забезпечення електромагнітної сумісності. ЯЕ безпосередньо пов'язана з економічністю виробництва, розподілом і споживання електричної енергії (ЕЕ), оскільки вихід показників якості електроенергії (ПЯЕ) за межі допустимих значень призводить до підвищення втрат потужності в елементах електричної мережі, зниження терміну служби електричного обладнання та погіршує умови експлуатації електроприймачів. ЯЕ пов'язана і з деякими соціальними проблемами. Так, наприклад, неприпустимі відхилення напруги в освітлювальних мережах викликають зниження освітленості, що позначається на органах зору людини.

Багато років централізованої експлуатації електричних мереж в Україні не приділялося належної уваги питанням ЯЕ, яка залежить як від її постачальників, так і від споживачів. Підвищення ЯЕ в умовах енергетичного ринку вимагає зацікавленості в цьому суб'єктів процесу розподілу і споживання електроенергії. З метою підвищення зацікавленості в покращенні ЯЕ розроблені методи і методики детермінованого визначення часткової участі суб'єктів розподілу ЕЕ у відповідальності за порушення вимог з наступних ПЯЕ: коефіцієнт несиметрії по зворотній послідовності K_{2U} , коефіцієнт несиметрії по нульовій послідовності K_{0U} , коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги K_U , коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги $K_{U(n)}$, усталене відхилення напруги δU_y . Таким чином, відомі розробки оцінки відповідальності суб'єктів охоплюють ПЯЕ, що характеризують несиметрію напруги, несинусоїдальність напруги, усталене відхилення напруги.

До тривалих змін характеристик напруги, відноситься також коливання напруги (КН), що характеризуються такими ПЯЕ як розмах зміни напруги δU_t та доза флікера P_t . Вихід за межі допустимих значень за цими показниками, як і по розглянутим вище, негативно впливає на роботу постачальників і споживачів ЕЕ. Тому, актуальним є розробка методу визначення часткової участі у відповідальності суб'єктів за порушення ЯЕ по показникам КН.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі автоматизації та кібербезпеки енергосистем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» згідно плану держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України по темі «Математичне та фізичне моделювання процесів виникнення корони при роботі електроенергетичних об'єктів» (ДР № 0116U0003882).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розвиток методів визначення часткової участі суб'єктів розподілу і споживання ЕЕ у відповідальності за порушення ЯЕ шляхом їх доповнення методами, які можна використовувати в локальних пристроях обліку, а також розробка методу визначення часткової участі суб'єктів за показниками КН.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати існуючі методи і методики визначення відповідальності суб'єктів розподілу і споживання ЕЕ за порушення ЯЕ;

- розробити і обґрунтувати метод визначення розташування джерела КН;
- удосконалити метод аналізу зміни кривої напруги в вузлах загального приєднання електричної мережі;
- розробити методику визначення часткової участі постачальника і споживача в порушенні вимог щодо КН;
- удосконалити метод визначення відповідальності споживача і постачальника за спотворення симетрії напруги;
- розробити методику визначення відповідальності споживача і постачальника за спотворення симетрії напруги відповідно до норм оцінки ПЯЕ;
- розробити комплексну методику оцінки відповідальності за порушення ЯЕ з можливістю її використання в локальному пристрої і направленістю її на оцінку часткової участі споживача.

Об'єкт дослідження - процес обліку споживання ЕЕ в розподільних мережах електричних систем.

Предмет дослідження – методи визначення часткової участі суб'єктів розподілу і споживання ЕЕ в порушенні нормативних ПЯЕ.

Методи досліджень. Дослідження проведені із використанням теорії функції комплексного змінного при створенні векторної моделі електричної мережі, методу симетричних складових при дослідженні несиметричних режимів, теорії ймовірностей і математичної статистики для локального визначення часткової участі споживача в спотворенні симетрії, булевої алгебри для логічних рівнянь в описі алгоритмів розглянутих методик.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше розроблено метод визначення місця розташування джерела КН в системі електропостачання, який працює за принципом кореляції зміни активної потужності і напруги в електричній мережі, що дозволяє визначити місце розташування джерела КН щодо границі розділу балансової приналежності (ГРПБ).

2. Отримав розвиток метод аналізу кривої напруги, який відрізняється від існуючого дискретною обробкою інформації, що дозволяє виявляти й оцінювати локальні екстремуми, виділяти області монотонної зміни і незмінності кривої напруги.

3. Отримав розвиток метод визначення відповідальності споживача і постачальника за спотворення симетрії напруги, який відрізняється від існуючого врахуванням напрямку активної потужності симетричних складових в кожному інтервалі усереднення Δt , що забезпечує його використання в локальних пристроях контролю та обліку ЕЕ.

Практичне значення отриманих результатів для електричної інженерії полягає у:

- розробці методики визначення часткової участі споживача у відповідальності за перевищення допустимого рівня КН відповідно до норм оцінки ПЯЕ, що дозволяє бути основою експертного висновку для вирішення правових спорів при оцінці збитків, викликаних низькою ЯЕ;

- вдосконаленні методики визначення відповідальності споживача і постачальника за спотворення симетрії напруги, що дозволяє її використання у локальному пристрої для обліку споживання і контролю ЯЕ з визначенням загального споживання електричної енергії, споживання електричної енергії в умовах порушення вимог до ЯЕ по симетрії напруги і електричної енергії, по якій споживач повинен отримати компенсацію або бути підданий санкціям за порушення вимог до ЯЕ;

- розробці комплексної методики визначення часткової участі споживача у відповідальності за порушення ПЯЕ з можливістю її використання в локальному пристрої, що дозволяє об'єднати розрахунки часткового внеску споживача у порушення вимог щодо окремих ПЯЕ;

Результати роботи впроваджені в ТОВ «ТЕССА» м. Харків, при проведенні обстеження електроприймачів промислових підприємств, у навчальному процесі кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем Національного технічного університету «Харківського політехнічного інституту» при викладанні курсу «Якість електричної енергії».

Особистий внесок здобувача. Усі основні положення і результати дисертаційної роботи були одержані автором самостійно. Серед них: розробка методу визначення місця розташування джерела КН в системі електропостачання, удосконалення методу аналізу кривої напруги, удосконалення методу визначення відповідальності споживача і постачальника за спотворення симетрії напруги.

Апробація результатів роботи. Положення дисертації і результати досліджень доповідалися на: Міжнародних науково-практичних конференціях. «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2015-2017). «ТРАНСЕЛЕКТРО» (Дніпро, 2015). «Актуальні проблеми автоматики та Приладобудування», (Харків, 2015, 2016).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 15 робіт, серед них: 4 статті в наукових фахових виданнях України, що включені до наукометричних баз даних, 3 статті у виданнях включених до наукометричної бази Web of Science, а також 8 - у матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 163 сторінки, серед них: 22 рисунка по тексту, 12 рисунків на 20 окремих сторінках, 1 таблиця по тексту, 1 таблиця на 1 окремій сторінці, список з 110 найменувань використаних джерел на 13 сторінках, 3 додатки на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі виконано аналіз методів і методик визначення відповідальності за порушення вимог до ПЯЕ.

Аналіз науково-технічної інформації по детермінованим розрахункам часткової участі постачальників та споживачів у порушенні ЯЕ виявив методи і методики по синусоїдальності кривої напруги, усталеному відхиленню напруги які розроблені таким чином, що можуть бути використані як в централізованих, так і в локальних контрольно-вимірювальних приладах.

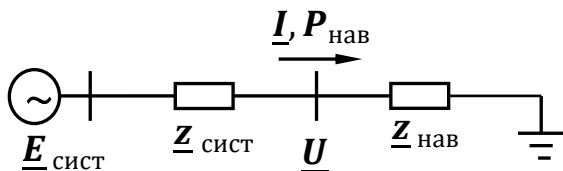
Можна вважати що метод визначення часткової участі суб'єктів в відповідальності за порушення симетрії напруги розроблений також є і методика, яка реалізує даний метод. Але розглянутий метод призначений для його використання на збірних шинах, наприклад, в центрі живлення розподільчої мережі. Для його реалізації потрібно отримувати повну інформацію про параметри режиму всіх навантажувальних фідерів або, як мінімум, того що представляє інтерес i -го фідера що живить збірні шини на вході. Це ускладнює його реалізацію і не завжди можливо в локальних контрольно-вимірювальних приладах.

Аналіз методів обліку ЯЕ за показниками КН не виявив розробок з визначення відповідальності суб'єктів за порушення вимог до ЯЕ за цими показниками розмаху зміни напруги δU_t , дози флікера P_t . Виконання розробок в даному напрямі зробить визначення відповідальності за порушення ЯЕ більш повним та принциповим.

Другий розділ присвячений розробці методу и методики визначення місця знаходження джерела КН, та визначенню часткової участі у відповідальності за порушення ЯЕ на інтервалі спостереження.

З точки зору визначення участі суб'єктів в відповідальності за порушення вимог ЯЕ при визначенні джерел КН в системі електропостачання споживачів, що мають світлове навантаження, основним питанням є розташування джерела КН: на території споживача або в зовнішній мережі. Відповідь на це питання, підтвержене детермінованим розрахунком, може служити основою експертного висновку для вирішення правових спорів при оцінці збитків, викликаних низькою якістю електроенергії енергії.

Інформацію, необхідну для визначення положення джерела КН, можна отримати шляхом аналізу параметрів поточного режиму електричної мережі рис 1. Як відомо, регулюючий ефект активного навантаження по напрузі практично завжди позитивний



$$\frac{\partial P_{\text{нав}}}{\partial U} > 0. \quad (1)$$

Рисунок 1 - Еквівалентна схема живлення споживача

Тому зменшення напруги, що викликається зовнішніми причинами, призведе до зниження активної потужності навантаження. Відповідно, збільшення напруги, що викликається зовнішніми причинами, призведе до збільшення активної потужності навантаження.

Причини виникнення КН при розташуванні джерела як в живлячих мережах, так і в мережах споживача, пов'язані зі змінами споживання і активної і реактивної потужностей. В якості критерію для визначення місця розташування джерела КН було вибрано зміну величини активної потужності, одержуваною прийнятною підстанцією по еквівалентному зв'язку з системою.

Джерело КН є *зовнішнім* для споживача, якщо виникнення КН призводить до узгоджених змін напруги і споживаної по лінії активної потужності, що відповідає умові позитивного регулюючого ефекту активного навантаження по напрузі (1).

Джерело КН є *внутрішнім* для споживача, якщо виникнення КН призводить до зустрічних змін напруги і споживаної по лінії активної потужності, що зовні нагадує умову негативного регулюючого ефекту активного навантаження по напрузі

$$\frac{\partial P_{\text{наб}}}{\partial U} < 0. \quad (2)$$

Умови (1) і (2) відповідають статичним характеристикам навантаження і можуть бути використані при відсутності в навантаженні споживача рухової складової. У загальному випадку, з урахуванням динамічних характеристик двигунів, критерії для визначення місця розташування джерела КН вимагають уточнення, так як криві зміни напруги $U(t)$ і активної потужності $P_{\text{наб}}(t)$ можуть мати зрушення за часом t . Для врахування можливого зсуву між екстремумами кривих зміни напруги $U(t)$ і потужності $P_{\text{наб}}(t)$ проводили паралельний аналіз цих характеристик (рис. 2).

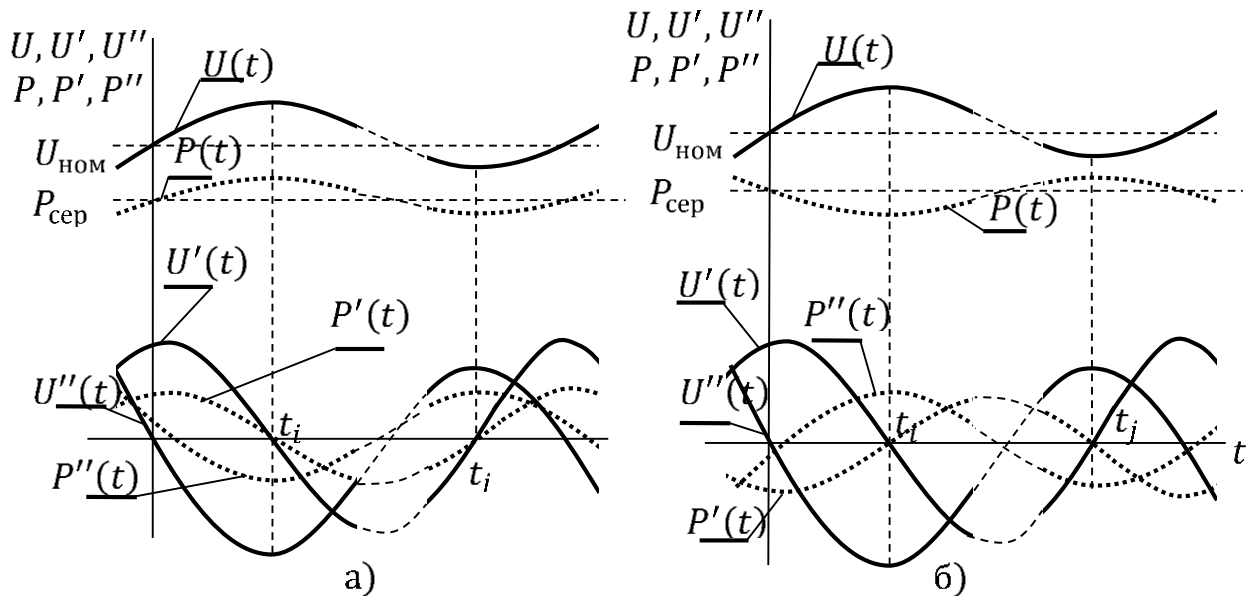


Рисунок 2 - Характеристики коливань напруги $U(t)$ і активної потужності $P(t)$, і їх першої $U'(t)$, $P'(t)$ і другої $U''(t)$, $P''(t)$ похідних при розташуванні джерела КН: а - в системі електропостачання; б - в мережі споживача

Припустимо, що крива зміни активної потужності $P(t)$ подібна кривій напруги $U(t)$ і відсутній зсув по часу ($\Delta t_{\text{дин}} = t_{\text{дин}} - t_{\text{ст}} = 0$), який визначається відмінністю статичних і динамічних характеристик (рис. 2). Тоді локальним екстремумам кривої $U(t)$ будуть відповідати локальні екстремуми кривої $P(t)$. У точках екстремумів $t = t_i$, $t = t_j$ перші похідні повинні бути рівні нулю

$$U'(t_i) = U'(t_j) = P'(t_i) = P'(t_j) = 0 \quad (3)$$

Якщо джерело КН знаходиться в системі, максимумів $U(t)$ будуть відповідати максимуми $P(t)$, мінімумам - мінімуми (рис. 2, а).

Знаки перших похідних $U'(t)$ і $P'(t)$ повинні бути однакові на протязі всього інтервалу часу вимірювання T :

$$\text{sign } U'(t_i) = \text{sign } P'(t_i); \quad (4)$$

$$\text{sign } U'(t_j) = \text{sign } P'(t_j). \quad (5)$$

Другі похідні в точках екстремумів повинні збігатися по знаку:

$$\text{sign } U''(t_i) = \text{sign } P''(t_i); \quad (6)$$

$$\text{sign } U''(t_j) = \text{sign } P''(t_j). \quad (7)$$

Якщо джерело КН знаходиться в мережі споживача, максимумів $U(t)$ будуть відповідати мінімуми $P(t)$, мінімумам - максимуми (рис. 2, б). Знаки перших похідних $U'(t)$ і $P'(t)$ повинні бути протилежні протягом усього інтервалу часу вимірювання T :

$$\text{sign } U'(t_i) = -\text{sign } P'(t_i); \quad (8)$$

$$\text{sign } U'(t_j) = -\text{sign } P'(t_j). \quad (9)$$

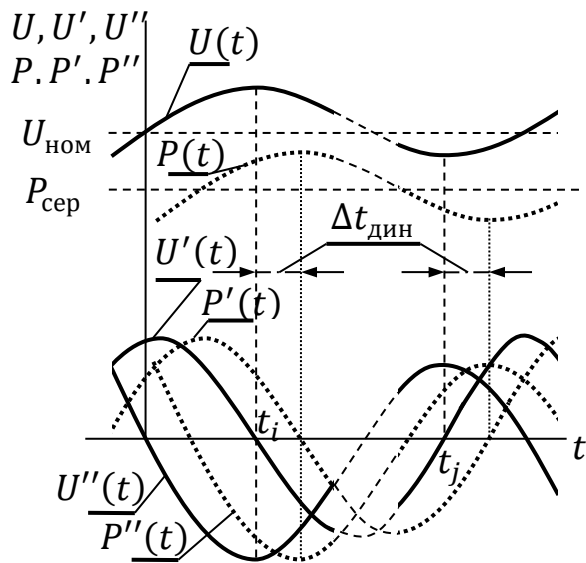


Рисунок 3 - Врахування динамічних характеристик рухового навантаження

Врахування динамічних характеристик рухового навантаження дає зсув кривої потужності $P(t)$ відносно кривої напруги $U(t)$ на час затримки (рис. 3)

$$\Delta t_{\text{дин}} = t_{\text{дин}} - t_{\text{ст}}. \quad (10)$$

Відповідно локальні екстремуми кривої $P(t)$ будуть зрушені щодо екстремумів кривої $U(t)$ на час $\Delta t_{\text{дин}}$. З цієї причини в зоні зсуву показані вище залежності (див. рис. 2) можуть не дотримуватися і не будуть працювати критерії (1) (2). Слід зазначити, що зсув може спостерігатися за рахунок рухового навантаження споживача при розташуванні джерела КН в системі.

У загальному випадку для визначення місця розташування джерела КН, слід робити паралельний аналіз кривих напруги $U(t)$ (рис. 4) і активної потужності $P(t)$ протягом усього інтервалу часу вимірювання T , відстежуючи і зіставляючи особливості їх зміни.

Крім виявлення і оцінки екстремумів, які в подальшому знадобляться для визначення місця розташування джерела КН, аналіз дозволяє отримати більш повну інформацію про зміни напруги $U(t)$, зокрема виділити ділянки кривої, напругу на яких можна вважати постійною.

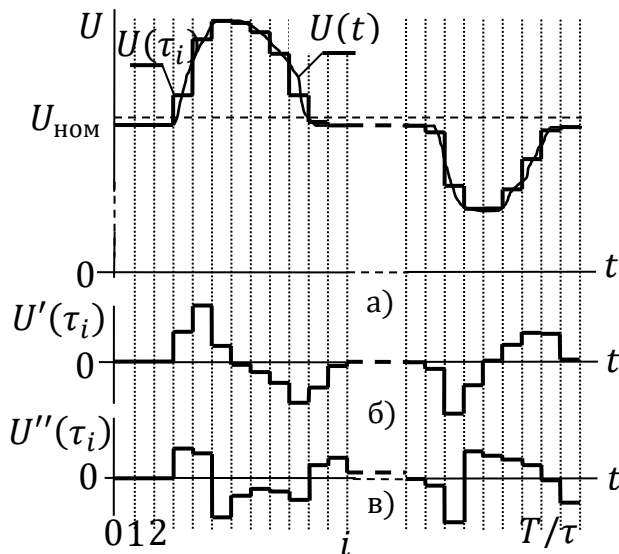


Рисунок 4 - Дискретні характеристики коливань напруги $U(\tau_i)$ першої $U'(\tau_i)$ і другої $U''(\tau_i)$ похідних напруги

Необхідною умовою відсутності КН є рівність нулю першої похідної напруги, що описується елементарним логічним висловлюванням

$$X1 := U'(\tau_i) = 0. \quad (11)$$

Умова не є достатньою, так як вона виконується і в точках екстремумів. При цьому, на відміну від точок екстремумів, в разі відсутності КН друга похідна, як і перша, дорівнює нулю, що відповідає елементарному логічному висловлюванню

$$X2 := U''(\tau_i) = 0. \quad (12)$$

Умовою відсутності КН можна вважати кон'юнкцію елементарних висловлювань (11) і (12), чому відповідає логічне рівняння

$$Y = X1 \wedge X2 = 1. \quad (13)$$

Аналіз кривої зміни напруги $U(t)$ дозволяє отримати інші параметри, що характеризують КН, зокрема: розмах зміни напруги δU_t , число коливань напруги m за інтервал часу спостереження T , частоту повторення змін коливань напруги $F_{\delta U_t}$, інтервал між змінами напруги $\Delta t_{i,i+1}$.

Ділянки монотонної зміни кривих напруги і активної потужності визначаються за фактом збігу полярності перших похідних в попередньому $(i - 1)$ і поточному (i) інтервалах усереднення, що характеризують позитивні знаки їх добутків: для похідних напруги - $A > 0$, для похідних потужності - $B > 0$. Математично ці умови виглядають у вигляді двох елементарних висловлювань:

$$A = U'(\tau_{i-1}) \cdot U'(\tau_i) > 0; \quad (14)$$

$$B = P'(\tau_{i-1}) \cdot P'(\tau_i) > 0. \quad (15)$$

Умовою збігу ділянок монотонного зміни кривих $U(t)$ і $P_{\text{нав}}(t)$ буде кон'юнкція елементарних висловлювань (14) і (15)

$$D = A \wedge B = 1. \quad (16)$$

У разі невиконання однієї або обох умов (14) або (15)

$$\bar{D} = \bar{A} \vee \bar{B} = 1. \quad (17)$$

Оцінка монотонності переходить на наступний інтервал усереднення $i = i + 1$.

Виконання умови (16) дозволяє здійснювати оцінку кореляційного відповідності змін напруги $U(\tau_i)$ і потужності $P(\tau_i)$, що можна зробити за знаком добутку їх похідних

$$U'(\tau_i) \cdot P'(\tau_i) = C. \quad (18)$$

Якщо $C > 0$, то спостерігається узгоджена кореляція змін напруги $U(\tau_i)$ і споживаної по лінії активної потужності $P(\tau_i)$. При цьому, відповідно до (1), джерело КН є для споживача зовнішнім. Відповідальність за порушення вимог щодо КН в i -м інтервалі усереднення покладається на постачальника електроенергії, що фіксується відповідним ваговим коефіцієнтом відповідальності постачальника $\alpha_i = 1$.

Якщо $C < 0$, має місце зустрічна кореляція кривих $U(\tau_i)$ і $P(\tau_i)$. У цьому випадку джерело КН є внутрішнім для споживача відповідно до (2). Відповідальність за порушення вимог щодо КН в i -м інтервалі усереднення покладається на споживача. Ваговий коефіцієнт відповідальності споживача в i -м інтервалі усереднення складе $\beta_i = 1$.

Якщо $C = 0$, вважаємо, що в i -м інтервалі усереднення коливання напруги незначне. Інтервал усереднення виключаємо з процесу розгляду кореляційної відповідності на інтервалі спостереження T_{sh} .

Протягом інтервалу спостереження T_{sh} проводиться підсумовування вагових коефіцієнтів відповідальності постачальника і споживача:

$$\alpha_T = \sum_{\substack{i=1 \\ i=T/\tau}}^{i=T/\tau} \alpha_i; \quad (19)$$

$$\beta_T = \sum_{i=1} \beta_i. \quad (20)$$

Після завершення розрахунку ($i > T/\tau$) визначаються коефіцієнти участі постачальника (системи) $K_{уч}^c$ і споживача $K_{уч}^{сп}$ в відповідальності за порушення вимог щодо КН на короткочасному інтервалі спостереження T_{sh} .

Якщо джерело КН розташоване в мережі споживача, то сумарний ваговий коефіцієнт відповідальності постачальника $\alpha_T = 0$. Коефіцієнти участі згідно (19, 20) складуть $K_{уч}^c = 0$, $K_{уч}^{сп} = 1$.

$$K_{уч}^c = \frac{\alpha_T}{\alpha_T + \beta_T}; \quad (21)$$

$$K_{уч}^{сп} = \frac{\beta_T}{\alpha_T + \beta_T}. \quad (22)$$

Якщо джерело КН розташоване поза мережею постачальника, то сумарний ваговий коефіцієнт відповідальності споживача $\beta_T = 0$. Коефіцієнти участі згідно (21, 22) складуть $K_{уч}^c = 1$, $K_{уч}^{сп} = 0$.

Якщо КН визначені джерелами, розташованими по обидва боки ГРБП, то слід очікувати, що $\alpha_T \neq 0$ і $\beta_T \neq 0$. В цьому випадку коефіцієнти участі постачальника і споживача будуть дробними, доповнюючи один одного до одиниці

$$K_{уч}^c + K_{уч}^{сп} = 1. \quad (23)$$

Третій розділ «Локальне визначення часткової участі споживача у відповідальності за спотворення симетрії» присвячений розробці нового методу і методики визначення участі споживача і постачальника в відповідальності за порушення симетрії напруги.

Було доказано теоретично і експериментально, що для реалізації відомого рішення щодо визначення часткової участі суб'єктів розподілу електричної енергії в відповідальності за спотворення симетрії заснованого на розрахунку провідностей симетричних складових навантажень, що підключаються до точки загального приєднання (ТЗП), потрібен аналіз параметрів режиму, що заміряються на різних фідерах збірних шин. Для цього було розглянуто зміну потужності зворотної послідовності на ГРБП споживача і енергопостачальної організації, в якій мережа за точкою виміру належить споживачу (навантаження), до точки вимірювання - підприємству (система). Якщо постачальник робить загальну оцінку відповідальності споживачів, треба вимірювати миттєві значення струмів на всіх підключених до ТЗП. Якщо оцінка проводиться з ініціативи споживача, то досить проводити вимірювання миттєвих значень струмів на його фідері і на живлячому ввіді збірних шин. В обох випадках рішення задачі вимагає отримання інформації з різних, як мінімум двох, точок вимірювання.

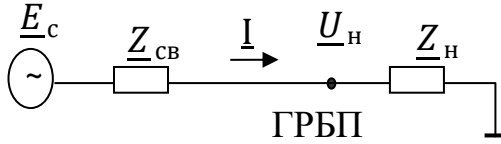


Рисунок 5 – Розрахункова схема

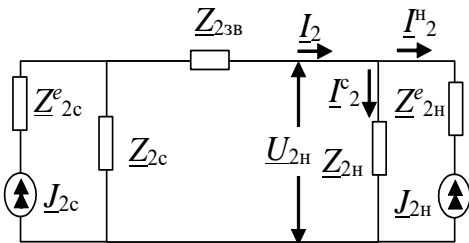


Рисунок 6 – Схема заміщення зворотної послідовності

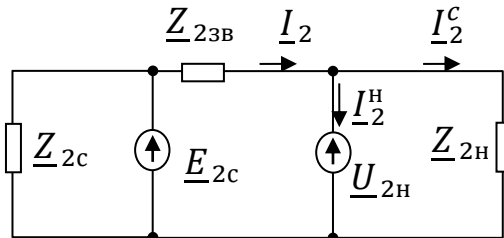


Рисунок 7 – Спрощена схема заміщення зворотної послідовності

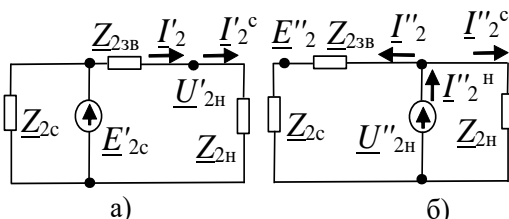


Рисунок 8 – Застосування методу суперпозиції

симетричних складових навантажень, що підключаються до точки загального приєднання (ТЗП), потрібен аналіз параметрів режиму, що заміряються на різних фідерах збірних шин. Для цього було розглянуто зміну потужності зворотної послідовності на ГРБП споживача і енергопостачальної організації, в якій мережа за точкою виміру належить споживачу (навантаження), до точки вимірювання - підприємству (система). Якщо постачальник робить загальну оцінку відповідальності споживачів, треба вимірювати миттєві значення струмів на всіх підключених до ТЗП. Якщо оцінка проводиться з ініціативи споживача, то досить проводити вимірювання миттєвих значень струмів на його фідері і на живлячому ввіді збірних шин. В обох випадках рішення задачі вимагає отримання інформації з різних, як мінімум двох, точок вимірювання.

Після перетворень схем (рис. 5-8) можна записати рівняння визначення напрямку активної потужності зворотної послідовності

$$P_2 = (E'_{2c})^2 \frac{z_{2H}}{|z_{23B} + z_{2H}|^2} \cdot \cos \varphi_H - (U''_{2H})^2 \frac{1}{|z_{23B} + z_{2c}|} \cdot \cos \varphi_{3B,c} + E'_{2c} \cdot U''_{2H} \cdot \left[\frac{1}{|z_{23B} + z_{2H}|} \cdot \cos(\delta_2 - \varphi_{3B,H}) - \frac{z_{2H}}{|z_{23B} + z_{2H}| |z_{23B} + z_{2c}|} \cdot \cos(\delta_2 + \varphi_H - \varphi_{3B,H} + \varphi_{3B,c}) \right] \quad (24)$$

де φ_H – аргумент комплексного опору z_{2H} ; $\varphi_{3B,H}$ – аргумент суми комплексних опорів $z_{23B} + z_{2H}$; $\varphi_{3B,c}$ – аргумент суми комплексних опорів $z_{23B} + z_{2c}$. δ_2 – кут між векторами E'_{2c} і U''_{2H} ; z_{2c} і z_{2H} – власний опір джерела і навантаження; E'_{2c} - власне ЕРС зворотної послідовності системи; U''_{2H} - складова напруги зворотної послідовності на ГРБП, яка генерується у навантаженні споживача.

Рівняння (24) можна представити в більш компактному вигляді

$$P_2 = (E'_{2c})^2 \cdot g_{2H}^e - (U''_{2H})^2 \cdot g_{2c}^e + E'_{2c} \cdot U''_{2H} \cdot G(\delta_2), \quad (25)$$

де g_{2H}^e – еквівалентна активна провідність зворотної послідовності навантаження, $g_{2H}^e = \frac{z_{2H}}{|z_{23B} + z_{2H}|^2} \cdot \cos \varphi_H$; g_{2c}^e – еквівалентна активна провідність зворотної послідовності системи, $g_{2c}^e = \frac{1}{|z_{23B} + z_{2c}|} \cdot \cos \varphi_{3B,C}$; $G(\delta_2)$ – взаємна активна провідність зворотної послідовності, залежна від кута δ_2 .

$$G(\delta_2) = \frac{1}{|z_{23B} + z_{2H}|} \cdot \cos(\delta_2 - \varphi_{3B,H}) - \frac{z_{2H}}{|z_{23B} + z_{2H}| |z_{23B} + z_{2c}|} \cdot \cos(\delta_2 + \varphi_H - \varphi_{3B,H} + \varphi_{3B,C}). \quad (26)$$

Рівняння потужності зворотної послідовності (25) має три складових:

– потужність, що генерується джерелом, розташованим в системі

$$P_{2c} = (E'_{2c})^2 \cdot g_{2H}^e, \quad (27)$$

– потужність, що генерується джерелом, розташованим в навантаженні

$$P_{2H} = -(U''_{2H})^2 \cdot g_{2c}^e, \quad (28)$$

– взаємна потужність, існуюча при наявності ЕРС зворотної послідовності в системі і в навантаженні

$$P_{2B} = E'_{2c} \cdot U''_{2H} \cdot G(\delta_2). \quad (29)$$

Якщо джерело несиметрії знаходиться в системі ($U''_{2H} = 0$), то $P_{2H} = 0$ і $P_{2B} = 0$, а рівняння (25) містить тільки складову, яка визначається генерацією активної потужності в системі $P_2 = P_{2c}$ (27). Напрямок активної потужності зворотної послідовності збігається з напрямком активної потужності прямої послідовності, $sign P_2 = sign P_1$. При знаходженні джерела несиметрії в навантаженні ($E'_{2c} = 0$) $P_{2c} = 0$ і $P_{2B} = 0$, а рівняння (25) містить тільки складову, яка визначається генерацією активної потужності в навантаженні $P_2 = P_{2H}$ (28). Напрямок активної потужності зворотної послідовності зустрічний напрямку активної потужності прямої послідовності і, $sign P_2 = -sign P_1$.

При знаходженні джерел несиметрії в системі і в навантаженні рівняння активної (24) потужності зворотної послідовності містить всі три складові

$$P_2 = P_{2c} - P_{2H} + P_{2B}. \quad (30)$$

Напрямок взаємної складової (P_{2B}), визначається знаком функції $G(\delta_2)$, а також її величина, залежна від функції $G(\delta_2)$, носять невизначений характер. Це пояснюється тим, що кут δ_2 між векторами \underline{E}'_{2c} і \underline{U}''_{2H} залежить від випадкового поєднання

чинників, що викликають несиметрію в системі і навантаженні. Наявність взаємної потужності не дозволяє визначити однозначну залежність напрямку активної потужності зворотної послідовності від співвідношення величин її генерації в системі і в навантаженні.

Розроблена модель визначення напрямку потужності зворотної послідовності що наведена в дисертаційній роботі в додатку А на основі записаного рівняння (24), показала що в залежності від зміни E'_{2c} , $U''_{2н}$, \underline{z}_{2c} в діапазоні зміни участі суб'єктів від 40% до 80%, напрямок активної потужності більш, залежний від δ_2 , і не може дати достовірної інформації про розподіл відповідальності. У зв'язку з цим використання відомого методу в локальному пристрої, яким можна доповнити лічильник електричної енергії, ускладнене. У разі розташування ГРБП на відгалуженні метод практично не реалізовується.

По цій причині від цієї розробки відмовились. З іншого боку, визначення відповідальності за потужністю, отриманої в рамках одного інтервалу усереднення, не є необхідністю і, більш того, не дозволяє враховувати зміни складу і режимів роботи електроприймачів в ході експлуатації. Фінансові розрахунки між суб'єктами розподілу і споживання електроенергії виробляються не по потужності, а за кількістю спожитої електричної енергії.

Тому завданням було запропонувати новий метод визначення відповідальності споживача і постачальника за спотворення симетрії напруги, заснований на розрахунку електроенергії, по якій потрібне визначення відповідальності споживача $W_{від}$

Для визначення часткової участі споживача в відповідальності за порушення симетрії напруги в ТЗП з використанням локального вимірювального пристрою представляємо його навантаження P_1 окремим фідером рис 9.

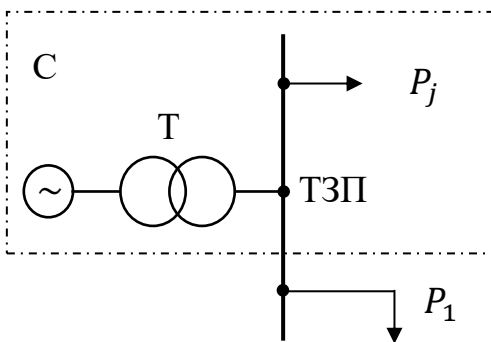


Рисунок 9 - Представлення системи для локальної оцінки участі споживача

Загальне споживання електроенергії W визначають у вигляді суми споживання в кожному i -му інтервалі усереднення Δt

$$W = \sum_{i=1}^{i=T/\Delta t} P(i) \cdot \Delta t. \quad (31)$$

Одержувана ЕЕ, споживачем з порушенням нормально $W^{нд}$ і гранично $W^{гд}$ допустимих вимог до симетрії напруги, визначається за фактом перевищення коефіцієнтами несиметрії K_{2U} або K_{0U} допустимих значень. Розрахунок здійснюється за формулою (31), з якої виключаються інтервали усереднення, де немає порушень.

ЕЕ, по якій потрібно визначення відповідальності споживача, знаходять у вигляді суми споживання в тих інтервалах усереднення, де мало місце порушення ЯЕ з даного ПЯЕ з урахуванням коефіцієнтів відповідальності $K_{від}$ в кожному i -ом інтервалі усереднення Δt

$$W_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{i=T/\Delta t} W(i) \cdot K_{\text{від}}(i). \quad (32)$$

В якості коефіцієнта відповідальності споживача використовували знак активної потужності зворотної (нульової) послідовності, що характеризує розташування джерела несиметрії в навантаженні. Так, для порушення за зворотною послідовністю в i -му інтервалі усереднення:

$$K_{2\text{від}}(i) = -\text{sign}P_2(i). \quad (33)$$

Коефіцієнт відповідальності за порушення симетрії по зворотній послідовності повинен $K_{2\text{від}}(i)$ визначатися в кожному інтервалі, в якому коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю перевершує допустиме значення $K_{2U}(i) > K_{2U \text{ доп}}$. Якщо $K_{2U}(i) \leq K_{2U \text{ доп}}$, то дане порушення відсутній і відповідно $K_{2\text{від}}(i) = 0$.

ЕЕ, по якій потрібно визначення відповідальності споживача $W_{\text{від}}$ (32) є балансна величина за розрахунковий період. Залежно від місця розташування джерела несиметрії в i -му інтервалі усереднення енергія, споживана в цьому інтервалі може підсумовуватися з різними знаками. Якщо за розрахунковий період T буде отримано позитивний баланс ($W_{\text{від}} > 0$), то споживач буде підданий санкціям за порушення ЯЕ при розподілу $W_{\text{від}}$ енергії. Якщо баланс буде від'ємний ($W_{\text{від}} < 0$), то споживач повинен отримати компенсацію за отримання $W_{\text{від}}$ неякісної енергії.

Аналіз ЯЕ проводиться протягом тривалого часу і включає в себе велику кількість інтервалів усереднення. Так, при $\Delta t = 3\text{с}$ рекомендована тривалість вимірювань $T = 7$ діб включає $T/\Delta t = 201600$ інтервалів усереднення, мінімально допустима тривалість $T = 24$ години $T/\Delta t = 28800$. Постійний моніторинг, на який і орієнтується дана розробка, з щомісячним контролем показників $T = 30$ діб буде включати $T/\Delta t = 864000$ інтервалів усереднення.

Якщо оцінка проводиться в окремо взятому i -му інтервалі усереднення, при наявності джерел несиметрії в системі і в навантаженні визначення $K_{\text{від}}$ по формулі (32) не дає достовірного результату. Рівняння (32) з урахуванням виразів (24, 25, 33) можна записати для зворотної послідовності у вигляді

$$W_{2\text{від}} = \sum_{i=1}^{i=T/\Delta t} -W(i) \cdot \text{sign} \{ [E'_{2c}(i)]^2 \cdot g_{2H}^e - [U''_{2H}(i)]^2 \cdot g_{2c}^e + E'_{2c}(i) \cdot U''_{2H}(i) \cdot G[\delta_2(i)] \}, \quad (34)$$

$$\text{де } G[\delta_2(i)] = \frac{z_{2H}}{|z_{23B} + z_{2H}|} \left\{ \frac{1}{z_{2H}} \cos[\delta_2(i) - \varphi_{\text{CB,H}}] - \frac{1}{|z_{23B} + z_{2c}|} \cos[\delta_2(i) + \varphi_H - \varphi_{\text{CB,H}} + \varphi_{\text{CB,C}}] \right\}$$

При тривалому моніторингу складова коефіцієнта відповідальності, що визначається значеннями взаємної потужності $P_{2В}$, напрямок і величина якої в окремих інтервалах усереднення залежать від випадкових значень кута δ_2 повинна зменшити свій вплив тому (34) можливо переписати

$$W_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{i=T/\Delta t} -W(i) \cdot \text{sign}\{[E'_{2c}(i)]^2 \cdot g_{2н}^e - [U''_{2н}(i)]^2 \cdot g_{2н}^e\}. \quad (35)$$

Розрахунок ЕЕ, по якій потрібно визначення відповідальності за порушення симетрії по зворотній $W_{2\text{від}}$ і нульовій $W_{0\text{від}}$ послідовностям враховує, що відповідні коефіцієнти несиметрії не повинні виходити за границю гранично допустимих значень протягом всього інтервалу T і за межі нормально допустимих значень з ймовірністю 95%. Логіка розрахунку в алгоритмі враховує ці умови. При цьому поріг потрапляння в область нормально допустимих значень з імовірністю 95% визначає відносна величина споживання електричної енергії в умовах порушення вимог до ЯЕ по зворотній $W_{2\text{нк}}^*$ або нульовій $W_{0\text{нк}}^*$ послідовностям:

$$W_{2\text{нк}}^* = \frac{W_{2\text{пя}}}{W}; \quad (36)$$

$$W_{0\text{нк}}^* = \frac{W_{0\text{пя}}}{W}. \quad (37)$$

де $W_{\text{пя}}^*$ — споживання ЕЕ в умовах порушення вимог до ЯЕ по симетрії, в тому числі по зворотній $W_{2\text{пя}}$ і нульовій $W_{0\text{пя}}$ послідовностям.

Якщо поріг перевищує 5%, то $W_{2\text{від}}$ визначають порушення нормально допустимих меж. В іншому випадку - гранично допустимих. Тут працює очевидне умова, що в будь-якому випадку $W_{2\text{від}}^{\text{нд}} \geq W_{2\text{від}}^{\text{гд}}$. Процес $W_{2\text{від}}$ можна описати логічними рівняннями:

$$A2 = 1 \rightarrow W_{2\text{від}} = W_{2\text{від}}^{\text{нд}}; \quad (38)$$

$$A2 = 0 \rightarrow W_{2\text{від}} = W_{2\text{від}}^{\text{гд}}; \quad (39)$$

де $A2 = (W_{2\text{пя}}^* > 0,05)$.

Аналогічно для нульової послідовності:

$$A0 = 1 \rightarrow W_{0\text{від}} = W_{0\text{від}}^{\text{нд}}; \quad (40)$$

$$A0 = 0 \rightarrow W_{0\text{від}} = W_{0\text{від}}^{\text{гд}}. \quad (41)$$

У четвертому розділі розглянуто питання розробки та використання комплексної методики в локальних пристроях обліку і контролю ЯЕ.

Розроблена комплексна методика оцінки відповідальності за порушення ЯЕ.

Методика зорієнтована на чинне законодавство і забезпечує об'єднання методик по усталеному відхиленню напруги, синусоїдальності напруги, а також нової методики по симетрії напруги яку тепер можливо використовувати в локальних системах обліку споживання та контролю ЕЕ.

У зв'язку з тим, що чинна правова база передбачає однакову відповідальність за порушення вимог до ЯЕ незалежно від того, за яким конкретно і по якій кількості ПЯЕ було зафіксовано порушення, повинна бути врахована можливість одночасного порушення вимог до ЯЕ за кількома ПЯЕ. Так як аналіз параметрів режиму цифровим контрольно-вимірювальним комплексом відбувається за інтервал усереднення Δt , під одночасними маємо на увазі події, зафіксовані в одному k -му інтервалі усереднення Δt . Комплексна оцінка відповідальності суб'єктів за одночасні порушення ПЯЕ в k -му інтервалі усереднення проводиться за середньозваженими коефіцієнтами відповідальності споживача за перевищення нормально допустимих $K_{\text{від}}^{\text{H/д}}(k)$ і гранично допустимих $K_{\text{від}}^{\text{Г/д}}(k)$ значень:

$$K_{\text{від}}^{\text{H/д}}(k) = \frac{W_{\text{від}\delta U}^{\text{H/д}}(k) + W_{\text{від}2}^{\text{H/д}}(k) + W_{\text{від}0}^{\text{H/д}}(k) + W_{\text{від}U(n)}^{\text{H/д}}(k) + W_{\text{від}U}^{\text{H/д}}(k)}{\left[K_{\delta U}^{\text{H/д}}(k) + K_2^{\text{H/д}}(k) + K_0^{\text{H/д}}(k) + K_{U(n)}^{\text{H/д}}(k) + K_U^{\text{H/д}}(k) \right] \cdot W(k)}; \quad (42)$$

$$K_{\text{отв}}^{\text{Г/д}}(k) = \frac{W_{\text{від}\delta U}^{\text{Г/д}}(k) + W_{\text{від}2}^{\text{Г/д}}(k) + W_{\text{від}0}^{\text{Г/д}}(k) + W_{\text{від}U(n)}^{\text{Г/д}}(k) + W_{\text{від}U}^{\text{Г/д}}(k)}{\left[K_{\delta U}^{\text{Г/д}}(k) + K_2^{\text{Г/д}}(k) + K_0^{\text{Г/д}}(k) + K_{U(n)}^{\text{Г/д}}(k) + K_U^{\text{Г/д}}(k) \right] \cdot W(k)}. \quad (43)$$

Коефіцієнт відповідальності споживача (41) може змінюватися в межах

$$-1 \leq K_{\text{від}}^{\text{H/д}}(k) \leq 1. \quad (44)$$

При $K_{\text{від}}^{\text{H/д}}(k) = -1$ вся відповідальність за порушення вимог до ПЯЕ в k -му інтервалі усереднення покладається на постачальника ЕЕ, при $K_{\text{від}}^{\text{H/д}}(k) = 1$ – на споживача. У чисельнику формули (42) наведена сума значень ЕЕ, отриманих в k -му інтервалі усереднення з порушенням вимог по кожному з ПЯЕ, в знаменнику - споживання ЕЕ $W(k)$.

Якщо має місце порушення по одному з показників, наприклад, коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю K_{2U} , то згідно (42) $K_{\text{від}}^{\text{H/д}}(k) = W_{\text{від}2}^{\text{H/д}}(k) / W(k)$. Умова (44) виконується так як в будь-якому випадку енергія, отримана з порушенням вимог, не може перевищувати загальне споживання ЕЕ - $\left| W_{\text{від}2}^{\text{H/д}}(k) \right| \leq W(k)$.

Якщо зафіксовані порушення за кількома показниками, то енергія, отримана з порушенням вимог, буде підсумовуватися стільки раз, скільки порушено вимог до ПЯЕ в k -му інтервалі усереднення. Для виконання умови (44) і отримання середньозваженого значення коефіцієнта відповідальності $K_{\text{від}}^{\text{H/д}}(k)$ в знаменник формули (42)

було введено суму коефіцієнтів, що враховують факт порушень за окремими ПЯЕ $K_{\delta U}^{H/D}(k) + K_2^{H/D}(k) + K_0^{H/D}(k) + K_{U(n)}^{H/D}(k) + K_U^{H/D}(k)$. Кожен коефіцієнт може мати два значення: нуль, якщо відповідне порушення ПЯЕ відсутнє, або одиниця, якщо відповідне порушення ПЯЕ виявлено.

У чисельнику формули (42) представлена сума значень ЕЕ по кожному з показників, відповідальність за спотворення яких лежить на споживачеві. Ці значення ЕЕ можуть бути різними за величиною і знаком в залежності від відповідальності сторін за окремими ПЯЕ. Величини ЕЕ, по яким в k -му інтервалі усереднення не виявлено перевищення допустимих значень, відповідних ПЯЕ, приймаються рівними нулю.

Таким чином, середньозважений коефіцієнт відповідальності споживача $K_{\text{від}}^{H/D}(k)$ в k -му інтервалі усереднення Δt є відношення сум значень ЕЕ, отриманих споживачем з порушенням по окремим ПЯЕ і приведених до порушення по одному показнику, до загального споживання $W(k)$. Або, іншими словами, середньозважений коефіцієнт відповідальності споживача $K_{\text{від}}^{H/D}(k)$ в k -му інтервалі усереднення Δt - це відношення середньозваженої ЕЕ, отриманої споживачем з порушенням по всім контрольованим ПЯЕ до загального споживання $W(k)$.

Фізичне значення середньозваженого коефіцієнта відповідальності споживача за порушення гранично допустимих значень ПЯЕ в k -му інтервалі усереднення $K_{\text{отв}}^{\Gamma/D}(k)$ отриманого за формулою (43), має аналогічне пояснення.

У разі відсутності порушень вимог до ПЯЕ в k -му інтервалі формули (42), (43) дають математичну невизначеність значень середньозважених коефіцієнтів відповідальності споживача $K_{\text{від}}^{H/D}(k)$ и $K_{\text{від}}^{\Gamma/D}(k)$, що є недопустимим при побудові алгоритму реалізації даної методики. Факт виникнення спотворення хоча б по одному ПЯЕ можна уявити за допомогою логічних висловлювань, що характеризують диз'юнкцію виконання умов порушення нормально і гранично допустимих значень:

$$F1 := \left[K_{\delta U}^{H/D}(k) = 1 \right] \vee \left[K_2^{H/D}(k) = 1 \right] \vee \left[K_0^{H/D}(k) = 1 \right] \vee \left[K_{U(n)}^{H/D}(k) = 1 \right] \vee \left[K_U^{H/D}(k) = 1 \right]; \quad (45)$$

$$F2 := \left[K_{\delta U}^{\Gamma/D}(k) = 1 \right] \vee \left[K_2^{\Gamma/D}(k) = 1 \right] \vee \left[K_0^{\Gamma/D}(k) = 1 \right] \vee \left[K_{U(n)}^{\Gamma/D}(k) = 1 \right] \vee \left[K_U^{\Gamma/D}(k) = 1 \right]. \quad (46)$$

Можливість використання формули (42) для визначення $K_{\text{від}}^{H/D}(k)$ визначається виконанням умови:

$$F1 = 1; \quad (47)$$

формули (43) для визначення $K_{\text{від}}^{\Gamma/D}(k)$:

$$F2 = 1. \quad (48)$$

Розглянуто перспективи розвитку подальших досліджень комплексної методики оцінки часткової участі споживача при порушенні ЯЕ по всім ПЯЕ, що мають тривалі зміни характеристик напруги. Застосування розробленої методики визначення часткової участі постачальника і споживача в порушенні вимог щодо КН, також має бути пов'язана з методикою комплексної оцінки ПЯЕ. Але середньозважені коефіцієнти відповідальності споживача (42) і (43) не можуть враховувати порушення ЯЕ по коливанням напруги. Це пояснюється тим, що перевищення допустимих значень ні за розмахом зміни напруги δU_t ні за дозою флікера P_t не можуть бути виявлені за період інтервалу усереднення Δt так як в загальному випадку період коливань перевершує $\Delta t = 3\text{с}$. Це враховують вимоги ГОСТ згідно з якими короткочасна доза флікера P_{st} вимірюється в інтервалі часу 10 хв, а тривала доза флікера $P_{Lt} - 2$ год. Методика з оцінки КН, розроблена в розділі 2, не входить в комплексну оцінку, була виведена в окремий пристрій і працювати за фактом порушення вимог до КН.

Пристрій для визначення часткової участі споживача при порушенні вимог до КН представляє інтерес як самостійний прилад, що дозволяє проводити детерміновану оцінку відповідальності споживача і тим самим сприяє підвищенню зацікавленості постачальників і споживачів в підвищенні ЯЕ. Його використання передбачається в тому випадку, якщо факт перевищення допустимого рівня КН фіксується флікерметром за інтервал часу, відповідний короткочасній ($T = T_{st}$) або тривалій ($T = T_{Lt}$) дозам флікера.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, вирішена актуальна задача розвитку методів визначення часткової участі суб'єктів розподілу і споживання електричної енергії у відповідальності за порушення якості електроенергії шляхом їх доповнення методами, які можна використовувати в локальних пристроях обліку та розробкою методу визначення часткової участі суб'єктів за показниками коливання напруги.

Отримані наступні результати:

1. Проведено аналіз методів детермінованого визначення часткової участі суб'єктів в відповідальності за порушення якості електроенергії, який дозволив зробити висновок про те що:

- існуючий метод по симетрії напруги не може використовуватися в локальному пристрою обліку;

- відомі розробки в повному обсязі не вирішують завдання експлуатації електричних мереж і не охоплюють всі ПЯЕ, властиві тривалим відхиленням характеристик напруги від номінальних значень, зокрема, немає аналізу показників по коливанням напруги.

2. Розроблено метод визначення місця розташування джерела коливань напруги в системі електропостачання, який працює за принципом кореляції зміни активної потужності і напруги в електричній мережі, що дозволяє визначити розташування джерела КН щодо точки вимірювання.

3. Отримав розвиток метод аналізу кривої напруги стосовно дискретної обробки інформації, який дозволяє виявляти й оцінювати локальні екстремуми, виділяти області монотонної зміни і незмінності кривої напруги.

4. Запропоновано методику визначення часткової участі споживача у відповідальності за перевищення допустимого рівня коливань напруги відповідно до норм оцінки показників якості електроенергії.

5. Отримав розвиток метод визначення відповідальності споживача і постачальника за спотворення симетрії напруги, який заснований на розрахунку балансу електроенергії $W_{\text{отв}}$ по якій потрібно визначення відповідальності споживача $W_{\text{отв}}$ за період моніторингу T . Розвиток методу заснований на врахуванні напрямку активної потужності симетричних складових в кожному інтервалі усереднення Δt що дає можливість його використання в локальних пристроях контролю та обліку електричної енергії.

6. Запропоновано методику визначення часткової участі споживача в порушенні симетрії локальної системи обліку споживання та контролю якості електроенергії.

7. Розроблена комплексна методика визначення часткової участі споживача в відповідальності за порушення показників якості електроенергії, яка відрізняється від відомої оцінкою часткової участі за несиметрію напруги, що дозволяє її використання в локальних пристроях обліку і контролю якості електроенергії, а також спрямованістю на оцінку часткової участі споживача.

8. Результати дисертаційної роботи впроваджені в ТОВ «ТЕССА» (м. Харків), і використовуються в навчальному процесі кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем НТУ «ХП».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дяченко О.В. Моніторинг якості електроенергії на цифрових підстанціях / О.В. Дяченко, О.Г. Гриб, Д.А. Гапон, Ю.А. Сиротін, Т.С. Ієрусалимова // Вісник Національного технічного університету «ХП» Серія: «Проблеми автоматизованого електропривода теорія і практика». – Харків: НТУ «ХП», 2015. - №12. - С. 316-319.

Здобувачем розроблена перспективна система моніторингу якості електричної енергії по фідерам цифрової підстанції на базі розподіленої системи.

2. Дяченко О.В. Аналіз споживання електроенергії з контролем якості в розподільних мережах / О.В. Дяченко, О.Г. Гриб, Ю.О. Сиротін, Д.А. Гапон, Т.С. Ієрусалимова, О.В. Бортніков // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків: ХНТУСГ, 2015. – №165. - С. 9-10.

Здобувачем проведено дослідження споживання електричної енергії з контролем якості в системі електропостачання житлового комплексу.

3. Дяченко А.В. Питание трансформаторной подстанции 330/110 кВ при наличии в линиях электропередач высших гармоник / А.В. Дяченко, О.Г. Гриб, С.Ю. Шевченко, Д.А. Гапон, Ю.А. Сиротин, Т.С. Иерусалимова // Вісник НТУ «ХП» Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. - Харків: НТУ «ХП», 2015. - №42 (1151). – С.59-61.

Здобувачем проведено дослідження стану високовольтної ізоляції при наявності вищих гармонік в лініях електропередач.

4. Дяченко А.В. Monitoring of electrical energy quality on the traction substation

input / О.В. Дяченко, О.Г. Гриб, Д.А. Гапон, Д.В. Бородин, Т.С. Ієрусалимова // Науково-практичний журнал «Електротехніка і Електромеханіка». - Харків: НТУ «ХПІ», 2015. - №6. – С. 61-65.

Здобувачем проведений аналіз надійності роботи системи обліку електричної енергії, релейного захисту і автоматики на сучасних цифрових підстанціях.

5. Дяченко А.В. Актуальность определения ответственности за нарушение качества электроэнергии по показателям колебаний напряжения / А.В. Дяченко, Г.А. Сендерович // «Електротехніка і Електромеханіка». - Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – № 2. – С. 54-61.

Здобувачем проаналізовані фізичні процеси при коливаннях напруги, способи вимірювання та розрахунки показників, які їх характеризують та заходи щодо їх зниження.

6. Дяченко А.В. Метод определения расположения источника колебаний напряжения в электрической сети / А.В. Дяченко, Г.А. Сендерович // Науково-практичний журнал «Електротехніка і Електромеханіка». - Харків: НТУ «ХПІ», 2016. - №3. – С. 54-61.

Здобувачем запропоновано метод кореляції коливань потужності і напруги, який дозволяє визначити місце розташування джерела коливань напруги в системі електропостачання.

7. Дяченко А.В. Метод определения долевого участия субъектов в нарушении симметрии по мощности симметричных составляющих при длительных измерениях потребления электрической энергии / А.В. Дяченко, Г.А. Сендерович // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідролічні машини та гідроагрегати. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 22 (1244). – С. 77–82.

Здобувачем розроблено метод визначення часткової участі споживача у відповідальності за порушення симетрії напруги в точці загального приєднання з використанням локального вимірювального пристрою.

8. Дяченко А.В. Измерение отклонения частоты / А.В. Дяченко, О.Г. Гриб, Д.А. Гапон, Т.С. Ієрусалимова / Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: ХХІІІ міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2015 Ч. II. – Харків: НТУ «ХПІ», 2015. - С. 149.

Здобувачем проаналізовано метод оптимальної фільтрації Калмана для оцінки відхилення частоти.

9. Дяченко А.В. Мониторинг качества электрической энергии в системах электротранспорта / А.В. Дяченко, О.Г. Гриб, Д.А. Гапон, Т.С. Ієрусалимова / Електрифікація транспорту «ТРАНСЕЛЕКТРО – 2015»: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції – Дніпро: ДНУЗТ, 2015. - С. 24-25.

Здобувачем розглянута економічна оцінка наслідків низької якості електричної енергії в системах електричного транспорту.

10. Дяченко А.В. Контроль качества электрической энергии на цифровой подстанции / А.В. Дяченко, О.Г. Гриб, Д.А. Гапон, Т.С. Ієрусалимова, А.В. Лелека / Актуальні проблеми автоматики та приладобудування: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції – Харків: НТУ «ХПІ», 2015 – С. 193-194.

Здобувачем проаналізовано контроль якості електричної енергії на цифровій підстанції.

11. Дяченко А.В. Актуальность задачи определения ответственности за нарушение качества электрической энергии по показателям колебаний напряжения / А.В. Дяченко, Г.А. Сендерович / Актуальні проблеми автоматики та приладобудування: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції – Харків: НТУ «ХПІ», 2015 – С. 199-200.

Здобувачем проаналізовано актуальність завдання визначення відповідальності за порушення якості електричної енергії по показникам коливань напруги.

12. Дяченко А.В. Метод определения места нахождения источника колебаний напряжения / А.В. Дяченко, Г.А. Сендерович / Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXIV міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2016 Ч. II – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. - С. 179.

Здобувачем розроблено метод визначення знаходження місця джерела коливань напруги.

13. Дяченко А.В. Анализ кривой напряжения / А.В. Дяченко, Г.А. Сендерович / Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXIV міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2016 Ч. II – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. - С. 193-194.

Здобувачем проведений аналіз кривої напруги електричної мережі.

14. Дяченко А.В. Алгоритм расчета производных кривых напряжения и активной мощности / А.В. Дяченко, Г.А. Сендерович / Актуальні проблеми автоматики та приладобудування: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції – Харків: НТУ «ХПІ», 2016 – С. 200-201.

Здобувачем розроблений алгоритм розрахунку похідних кривих напруги і активної потужності.

15. Дяченко А.В. Анализ высших гармоник напряжения в трехфазных сетях / А.В. Дяченко, Д.А. Гапон, Т.С. Ієрусалимова, С.В. Швець / Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXV міжнародна науково-практична конференція MicroCAD-2017 Ч. II – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. - С. 194.

Здобувачем проведений аналіз вищих гармонік напруги в трьохфазних мережах.

АНОТАЦІЇ

Дяченко О.В. Розвиток методів знаходження часткової участі у відповідальності за порушення 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 «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2018.

Дисертація присвячена розвитку методів визначення часткової участі суб'єктів розподілу і споживання електричної енергії (ЕЕ) в відповідальності за порушення якості електроенергії (ЯЕ) шляхом їх доповнення методами, які можна використовувати в локальних засобах обліку, а також розробці методу визначення часткової участі суб'єктів за показниками коливання напруги (КН).

Аналіз методів детермінованого визначення часткової участі суб'єктів в відповідальності за порушення ЯЕ показав, що існують розроблені методи і методики по: симетрії напруги, синусоїдальності кривої напруги, сталому відхиленню напруги. У

той же час відомі розробки в повному обсязі не вирішують завдання експлуатації електричних мереж і не охоплюють всі показники якості електроенергії (ПЯЕ), властиві тривалим відхиленням характеристик напруги від номінальних значень. Потрібно вирішити завдання побудови локального пристрою для визначення часткової участі споживачів у спотворенні симетрії, а також розробити методіку визначенням відповідальності суб'єктів за порушення вимог до ЯЕ за показниками КН.

Розроблено метод визначення місця розташування джерела КН в системі електропостачання. Отримав розвиток метод аналізу кривої напруги стосовно дискретної обробки інформації. Метод дозволяє виявляти й оцінювати локальні екстремуми, виділяти області монотонної зміни і незмінності кривої напруги. Отримав розвиток метод визначення відповідальності споживача і постачальника за спотворення симетрії напруги, заснований на розрахунку балансу ЕЕ по якій потрібно визначення відповідальності споживача за період моніторингу.

Розроблено методіки аналізу кривої зміни напруги, визначення місця знаходження джерела та часткової участі споживача у відповідальності за перевищення допустимого рівня КН, визначення часткової участі суб'єктів в порушенні симетрії локальної системи обліку споживання та контролю ЯЕ, комплексна методіка визначення часткової участі споживача в відповідальності за порушення ПЯЕ.

Ключові слова: системи електропостачання, якість електричної енергії, детерміновані розрахунки участі, відповідальність споживачів, локальний пристрій обліку.

Дяченко А.В. Развитие методов нахождения долевого участия в ответственности за нарушения качества электроэнергии. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 - электрические станции, сети и системы. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2018.

Диссертация посвящена развитию методов определения долевого участия субъектов распределение и потребления электрической энергии (ЭЭ) в ответственности за нарушение качества электроэнергии (КЭ) путем их дополнения методами, которые можно использовать в локальных средствах учета, а также разработка метода определения долевого участия субъектов по показателям колебания напряжения (КН).

Анализ методов детерминированного определения долевого участия субъектов в ответственности за нарушение КЭ показал, что существуют разработанные методы и методіки по: симметрии напряжения, синусоидальности кривой напряжения, установившемуся отклонению напряжения. В то же время известны разработки в полном объеме не решают задачи эксплуатации электрических сетей и не охватывают все показатели качества электроэнергии (ПКЭ), присущие длительным отклонением характеристик напряжения от номинальных значений. Нужно решить задачу построения локального устройства для определения долевого участия потребителей в искажении симметрии, а также разработать методіку определением ответственности субъектов за нарушение требований к КЭ по показателям КН.

Разработан метод определения местоположения источника КН в системе электроснабжения. Метод работает по принципу оценки корреляции изменения мощности и напряжения в сети электроснабжения. Получил развитие метод анализа кривой напряжения применительно к дискретной обработке информации. Метод позволяет

выявлять и оценивать локальные экстремумы, выделять области монотонного изменения и неизменности кривой напряжения.

Предложена методика анализа кривой изменения напряжения, которая позволяет, выявлять и оценивать экстремумы, выявлять области монотонности, выявлять области неизменных значений, определять параметры КН: размах изменения напряжения, число КН за интервал времени наблюдения, частоту повторения изменений КН, интервал между изменениями напряжения. Обоснована и разработана методика определения места нахождения источника и долевого участия потребителя в ответственности за превышение допустимого уровня КН.

Предложен метод определения ответственности потребителя и поставщика за искажение симметрии напряжений, основанный на расчете ЭЭ, по которой требуется определение ответственности потребителя. Расчет производится за время мониторинга с учетом коэффициентов ответственности субъектов в каждом интервале усреднения. Основной особенностью метода является возможность его использования путем анализа параметров режима, замеряемых только на шинах потребителя.

Разработана методика определения ответственности потребителя и поставщика за искажение симметрии напряжений в соответствии с нормами оценки ПКЭ и удобством использования в условиях эксплуатации.

Решена задача построения локального устройства для определения долевого участия потребителя в искажении симметрии. Разработка предназначена для ее использования в локальных системах учета потребления и контроля КЭ с определением общего потребления ЭЭ, потребления ЭЭ в условиях нарушения требований к КЭ по симметрии и ЭЭ, по которой потребитель должен получить компенсацию или быть подвергнут санкциям за нарушение требований к КЭ.

Разработана комплексная методика определения долевого участия потребителя в ответственности за нарушение ПКЭ. Методика отличается от известной оценкой долевого участия по несимметрии напряжений, позволяющей ее использование в локальных устройствах учета и контроля КЭ, а также направленностью на оценку на долевого участие потребителя.

Рассмотрены перспективы исследований по развитию комплексной методики оценки долевого участия потребителя при нарушении КЭ по всем ПКЭ, характеризующим продолжительные изменения характеристик напряжения. Представляется целесообразным развитие исследований по следующим направлениям: разработка устройства для оценки уровня КН, работающее в режиме постоянного мониторинга; разработка устройства определения долевого участия потребителя в нарушении требований по КН, работающее по текущей информации; разработка методики комплексной оценки, в которой определение факта нарушения требований к ПКЭ соответствует требованиям ГОСТ и, в тоже время, согласуется по времени показателей КН с показателями установившегося отклонения напряжения, симметрии напряжений, синусоидальности кривой напряжения.

Ключевые слова: системы электроснабжения, качество электрической энергии, детерминированы расчеты участия, ответственность потребителей, локальное устройство учета.

Diachenko A.V. Development of methods for finding equity participation in the responsibility for violations of the quality of electricity. – Manuscript.

The thesis is for obtaining scientific degree candidate of technical sciences in specialty 05.14.02 – Electrical power stations, networks and systems. National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”, Kharkov, 2018.

Analysis of the methods of deterministic determination of the partial participation of subjects in the responsibility for violating the quality of electricity showed that there are developed methods and techniques for: voltage symmetry, sinusoidal voltage curve, constant voltage deviation. At the same time, known developments do not completely solve the problems of operation of electric networks and do not cover all the indicators of electricity quality, characterized by a long deviation of voltage characteristics from nominal values. It is necessary to solve the problem of constructing a local device to determine the partial participation of consumers in the distortion of symmetry, as well as develop a method of definition responsibility of subjects for violating the requirements for the quality of electricity in terms of voltage fluctuations.

The method of determining the location of the source of voltage fluctuations in the power supply system is developed. Received the method of analysis of the voltage curve in relation to discrete processing of information. The method allows to detect and evaluate local extrema, to allocate areas of monotone change and invariance of the voltage curve. Developed a method for determining the responsibility of the consumer and supplier for the distortion of voltage symmetry, based on the calculation of the balance of electricity, which requires the definition of customer responsibility in the monitoring period.

The methods of analysis of the voltage curve analysis, the determination of the location of the source and the partial involvement of the consumer in the responsibility for exceeding the permissible level of voltage fluctuations, the determination of the partial participation of the subjects in violation of the symmetry of the local system of consumption accounting and electricity quality control, a comprehensive method for determining the partial involvement of the consumer in liability for violating the quality of electricity.

Key words: power supply systems, quality of electric energy, deterministic calculations of participation, responsibility of consumers, local accounting device.



Формат 60x84/16. Підписано до друку 27.02.2018 р.
Друк цифровий. Папір офсетний.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 1,4.
Наклад 100 прим. Зам. №

Віддруковано в ТОВ «ДРУКАРНЯ МАДРИД»
61024, м. Харків, вул. Максиміліанівська, 11
Тел.:(057)756-53-25

www.madrid.in.ua

e-mail: info@madrid.in.ua