

## ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШЛЯХОМ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ РОБОТИ ДВОНАПРЯМЛЕНИХ ТРИФАЗНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ НАПРУГИ

А. Ф. ЖАРКІН, А. Г. ПАЗЄЄВ\*

відділ стабілізації параметрів електромагнітної енергії, Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ, Україна  
\* email: pazeev@ied.org.ua

**АНОТАЦІЯ.** Досліджено можливість комплексного покращення якості електроенергії в локальних системах електропостачання, зокрема малих системах розподілу, що побудовані на основі концепції «Microgrid Plus» за рахунок використання можливостей трифазних двонапрямлених напівпровідникових перетворювачів, що працюють в режимі трифазних активних коректорів коефіцієнту потужності, по примусовому формуванню вхідних струмів. Показано, що використання запропонованих способів формування еталонного сигналу вхідних струмів зазначених перетворювачів дозволяє, при збереженні низьких значень коефіцієнтів гармонічних спотворень синусоїдальності вхідних струмів, що притаманно активним коректорам коефіцієнту потужності, реалізувати можливість підтримання рівня напруги локальної системи у встановлених межах за рахунок компенсації індуктивної складової струмів груп навантажень та одночасно забезпечити симетрування фазних навантажень локальної системи електропостачання. Реалізація вказаної можливості в системах «Microgrid Plus» полегшується завдяки наявності в них розгалуженої системи контролю параметрів споживання і генерації електроенергії та передачі отриманих даних між користувачами локальної системи, що дозволяє сформувати завдання на підтримання якості напруги у встановлених нормативними документами межах. Реалізація такої можливості стає особливо актуальною у вказаних локальних системах при інтеграції в них накопичувачів електроенергії на базі використання двонапрямлених перетворювачів електроенергії, зважаючи на порівнянню з встановленою потужністю локальної системи номінальну потужність накопичувачів електроенергії та можливості роботи вихідних двонапрямлених перетворювачів систем накопичення у вказаних режимах.

**Ключові слова:** система накопичення енергії; двонапрямлений перетворювач; двонапрямлений трифазний інвертор; джерело відновлюваної енергетики.

## IMPROVING THE QUALITY OF ELECTRICITY IN LOCAL SUPPLY SYSTEMS BY MANAGING OPERATING MODE BIDIRECTIONAL THREE-PHASE VOLTAGE CONVERTER

A. ZHARKIN, A. PAZIEIEV

Department of Stabilization of Electromagnetic Energy Parameters, Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**ABSTRACT.** The possibility of a comprehensive improvement the quality of electricity in local power supply systems, in particular small distribution systems based on the concept of “Microgrid Plus”, is explored due to the use of the capabilities of three phase bi-directional semiconductor transducers operating in the mode of three-phase active correction factors of power factor, by forcing the formation of input currents. It is shown that the use of the proposed methods for forming the reference signal of the input currents of the indicated converters allows, while maintaining the low values of the total harmonic distortion coefficients of the input currents inherent to the active correction factors of the power factor, to realize the possibility of maintaining the level of the voltage of the local system within the established limits by compensating the inductive component of the group’s current loads and at the same time ensure the simulation of the phase loads of the local power supply systems. The implementation of this feature in “Microgrid Plus” systems is facilitated by the presence of a ramified system for controlling the parameters of consumption and generation of electricity and the transmission of the data received between users of the local system, which allows formulating tasks to maintain the quality of voltage within the limits set by normative documents. The realization of such an opportunity becomes especially relevant in these local systems when integrating them into electric power drives based on the use of bi-directional converters of electricity, weighing the rated power of the power storage units comparable to the installed capacity of the local system and the capabilities of the output two-way converters of accumulation systems in the specified modes.

**Key words:** energy accumulation system; bi-directional converter; bi-directional three-phase inverter; a renewable energy source.

### Вступ

Існуюча тенденція щодо збільшення кількості електроенергії, яка виробляється відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ), ставить нові проблеми для електричних мереж, які вже працюють в умовах під-

вищених навантажень. Особливо актуальними ці проблеми є для локальних систем електропостачання, одним з різновидів яких є Малі системи розподілу (МСР) [1]. Зазначимо, що відомий термін «Microgrid» (Мікромережа) у загальному випадку означає інтегровану енергетичну систему відносно невеликої

© А. Ф. Жаркін, А. Г. Пазєєв, 2019

потужності з розподіленими генераторами і споживачами енергії. Цей термін також використовується як визначення концепції побудови системи електропостачання [2]. Тож можна сказати, що МСР, до яких підключені розподілені генератори і споживачі організовані з використанням концепції «*Microgrid*». В останні роки системи «*Microgrid*», що включають в себе, крім кількох ВДЕ, розподільних підстанцій та навантажень, також системи накопичення електроенергії (СНЕ) та регулятори потоків енергії дістали назву «*Microgrid Plus*» [3]. Реалізація концепції «*Microgrid Plus*» дозволяє мікромережі функціонувати як в автономному режимі, так і бути пов'язаною із зовнішньою енергетичною системою. При цьому реалізуються можливість забезпечення безперервного живлення споживачів електроенергією за умови наближення встановленої потужності СНЕ до номінальної потужності навантажень. Нижче розглядаються МСР, що побудовані з використанням концепції «*Microgrid Plus*».

Якщо прийняти до уваги, що МСР «слабкіші» від передавальних мереж енергосистем, нестабільність потужності, яка генерується ВДЕ, тут буде позначатися в більшій мірі, зачіпаючи широкий спектр техніко-економічних показників, включаючи обсяг втрат електричної енергії, практично всі показники її якості та надійності електропостачання.

Перспективним методом вирішення проблеми нерівномірності як електричних навантажень, так потужностей, що генеруються ВДЕ, що все ширше використовується останнім часом, є впровадження СНЕ (ESS - Energy Storage System), що виконані на основі накопичувачів енергії різних типів [4 – 7]. Для зв'язку накопичувача енергії з мережею в СНЕ застосовують двонаправлені перетворювачі електроенергії (ДПЕ). В них на стороні мережі використовують двонаправлені трифазні перетворювачі напруги (ДТПН), що побудовані на основі схем інверторів напруги [8 - 10]. ДТПН забезпечують передачу енергії від мережі змінного струму до накопичувача, та навпаки, від накопичувача в мережу, в залежності від необхідності забезпечення поточного балансу потужностей. В обох режимах ДПЕ повинні забезпечити необхідні показники якості електроенергії на стороні мережі [11].

Сучасні ДПЕ забезпечують дотримання необхідних показників якості електроенергії зі значним запасом, так як в ДТПН використовуються принципи примусового формування мережевого струму з наближеною до синусоїдальною формою при відносно високих частотах імпульсної модуляції, що у свою чергу забезпечує високу швидкість. В той же час специфіка навантажень підключених до МСР полягає в тому, що значна їх частина може бути однофазними навантаженнями, до того ж як правило не детермінованими в часі, що обумовлює наявність значної несиметрії завантаженості мережі по фазам та важко прогнозованим рівнем реактивної потужності. Якщо прийняти до уваги нерівномірність генерації ВДЕ, що

підключаються до МСР та відносно слабкість мережі то стає очевидним, що для забезпечення нормованих показників ЯЕ в МСР необхідно використовувати додаткове обладнання, таке, як фільтрокомпенсуючі пристрої, D-СТАТКОМ та ін [12]. Але такі заходи вимагають додаткового фінансування, що погіршує економічні показники експлуатації МСР.

Разом з цим в складі СНЕ на основі ДПЕ вже існує обладнання, яке в значній мірі здатне вирішити питання покращення ЯЕ в мережах МСР. Це ДТПН, які схемотехнічно є трифазними інверторами напруги, що використовують в якості ключів потужні IGBT або MOSFET модулі та мікропроцесорні системи керування, і в яких використовується примусове формування мережевого струму.

### Мета

Дослідження можливостей покращення якості електроенергії в локальних системах електропостачання за рахунок управління режимами примусового формування мережевих струмів двонаправлених трифазних перетворювачів напруги, що входять до складу систем накопичення електроенергії і працюють в режимі трифазних активних коректорів коефіцієнту потужності.

### Виклад основного матеріалу.

Розглянемо структурну схему можливої організації МСР з використанням концепції «*Microgrid Plus*», що наведена на рис.1. До шин низької напруги підключено сонячні електроустановки (СЕУ), вітроелектроустановки (ВЕУ), різні навантаження та СНЕ, що складається з двонаправленого перетворювача енергії та накопичувача електроенергії (НЕ), який виконаний на основі акумуляторної батареї (АКБ). Для оперативного зв'язку СНЕ з СЕП призначена система «*SCADA*» (*Supervisory Control And Data Acquisition*), яка використовується для спостереження та керування процесами в електроенергетичних системах, у т.ч. з відновлюваними джерелами енергії. Зазначимо, що особливістю системи є співставні встановлені потужності обладнання.

На рис.2 наведено структурну схему силової частини двонаправленого перетворювача електроенергії, що використовується в СНЕ, робота якого докладно описана в роботі [10]. ДПЕ складається з двонаправленого перетворювача постійної напруги (ДППН) та двонаправленого трифазного перетворювача напруги з мережевим фільтром. ДПЕ працює в двох режимах:

1. Передача електроенергії від накопичувача електроенергії до трифазної мережі. При цьому ДППН забезпечує необхідний рівень напруги батареї конденсаторів [13], а ДТПН працює в режимі інвертора напруги.

2. Передача енергії від мережі до накопичувача електроенергії. ДППН працює як регулятор струму

заряду АКБ, а ДТПН – в режимі активного коректора коефіцієнта потужності (АККП).

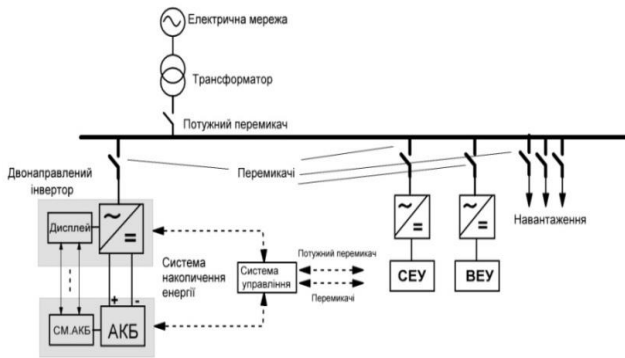


Рис. 1 – Структурна схема можливої організації МСР з використанням концепції «Microgrid Plus»

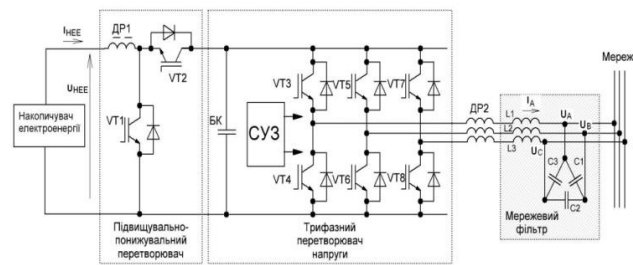


Рис. 2 – Структурна схема силової частини двонапрявного перетворювача електроенергії

Як було показано в [10] в обох режимах забезпечується значення СКГС струму (THDi) зі сторони мережі меншим за 2%.

При роботі в першому режимі по відношенню до мережі ДПЕ є генераторним обладнанням, тому його вихідні характеристики, якими в цьому режимі є напруга і струм зі сторони мережі, повинні задовольняти вимогам що до генераторного обладнання. Наприклад в [14] встановлюються норми проходження режимів КЗ, видачі реактивної потужності, тощо. Тому для режиму генерації електричної енергії технічні засоби реалізації наведених вище вимог досліджені і використовуються виробниками ДПЕ.

При роботі ДПЕ в другому режимі основними вимогами що до якості електроенергії, що споживається ДТПН, є вимоги по забезпеченню ЕМС з мережею, зокрема вимоги по обмеженню емісії в мережу вищих гармонік струму. Саме для відповідності цим вимогам ДТПН працює в режимі АККП. Традиційно у трифазних АККП при організації системи керування (СК) забезпечується пропорційне, однакове у трьох фазах керування рівнем еталонного сигналу струму, за рахунок чого досягається стабілізація рівня вихідної напруги [15].

За умови симетричних синусоїдальних вхідних напруг при такій організації СК АККП рівні потужностей, що споживаються від кожної з фаз мережі однакові, а сумарне значення вхідної потужності не залежить від часу. В такому випадку вихідна напруга

трифазного перетворювача не має змінних складових, що кратні частоті мережі. Але на жаль такі режими в практиці майже не зустрічаються. Тому розглянемо роботу ДТПН у другому режимі в умовах несиметричних вхідних напруг. Для скорочення викладок та підкреслення режиму роботи ДТПН, що розглядається, будемо перетворювач називати АККП, тим паче що отримані результати можна поширити і на перетворювачі, які працюють тільки в цьому режимі.

Розглянемо наведену на рис.3 схему заміщення мережі в точці підключення СНЕ та трифазного навантаження, на основі якої були створені розрахункові моделі для імітаційного моделювання. На схемі позначено:  $V_j, Z_{ej}$  – відповідно фазні джерела ЕРС та еквівалентні опори фаз мережі,  $Z_{nul}$  – опір нульового проводу,  $Z_{n_j}$  – комплексні опори навантаження кожної з фаз мережі,  $R_{shp_j}$  – шунтові резистори для вимірювання вхідних струмів АККП,  $C_n, R_n$  – еквівалентні параметри НЕ,  $j = a, b, c$  – індекси фаз.

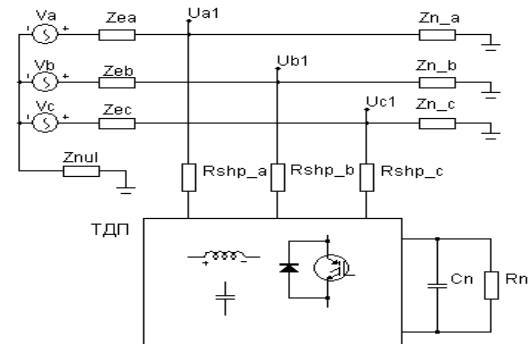


Рис. 3 – Схема заміщення мережі в точці підключення СНЕ

Вхідні струми АККП мають значення THDi менші за 3-5%. В такому разі, нехтуючи високочастотними складовими вхідних струмів, будемо вважати, що вхідний струм кожної з фаз  $i_{in_j}(t)$  ( $j = a, b, c$ ) рівний еталонному сигналу струму  $i_{e_j}(t)$ , тобто

$$i_{in_j}(t) = i_{e_j}(t). \quad (1)$$

Якщо еталонні сигнали струму прямо пропорційні напругам фаз мережі, то вони описуються виразами

$$i_{e_j}(t) = k_1 s u_{in_j}(t), \quad (2)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт перетворення вхідної напруги у еталонний сигнал, традиційно однаковий для кожної з фаз перетворювача і прямо пропорційний номінальній потужності АККП,  $s \in [0,1]$  – сигнал зворотного зв'язку по вихідній напрузі,  $u_{in_j}(t) = U_{m_j} \sin(\omega t + \varphi_j)$  – вхідні фазні напруги трифазної системи напруг.

Введемо поняття еквівалентного фазного вхідного опору перетворювача як

$$R_{ekv_j} = \frac{u_{in_j}(t)}{i_{in_j}(t)}. \quad (3)$$

Підставивши в (3) відповідні значення з (1) та (2) отримаємо:

$$R_{ekv-j} = \frac{1}{k_1 s}. \quad (4)$$

Як бачимо еквівалентний вхідний опір фаз перетворювача не залежить від значень вхідної напруги. Таким чином, за умов організації системи керування за наведеним принципом, трифазний перетворювач є по відношенню до мережі живлення еквівалентом симетричного активного навантаження. В такому випадку при несиметричній системі вхідних напруг використання симетричного активного навантаження сприяє зменшенню несиметрії напруг мережі за рахунок вирівнювання відносних опорів навантажень фаз.

Подальшого симетрування фазних навантажень системи пропонується досягти за рахунок введення в АККП можливості формування фазних еталонних сигналів струмів обернено пропорційно до несиметрії фазних RL-навантажень. Отримання інформації про несиметрію навантажень можливо реалізувати в різні способи. Наприклад за рахунок безпосереднього вимірювання струмів навантажень в точці підключення СНЕ до мережі, аналогічно принципам організації зворотного зв'язку в активних фільтрах, або за допомогою існуючої в МСР ситеми «SCADA», або при вимірюванні несиметрії напруг в точці підключення, вважаючи, що вона викликана сумарною несиметрією навантажень фаз системи. Інформація про несиметрію навантажень повинна обробитися в СК, і в результаті так впливати на рівні фазних еталонних сигналів струму, щоб викликати додаткове (зрозуміло, що з урахуванням струмових обмежень) «підвантаження» найменш навантаженої фази мережі та, відповідно, "розвантаження" найбільш навантаженої фази.

Для визначеності розглянемо останній з наведених вище способів отримання інформації про несиметрію навантажень. Введемо величину «коефіцієнт відхилення фазної напруги»  $K_{uf-j}$  як відношення відхилення значення фазної напруги від середнього значення суми фазних напруг до середнього значення суми фазних напруг

$$K_{uf-j} = \left( \frac{U_{in-j}}{\frac{1}{3} \sum_j U_{in-j}} - 1 \right) \times 100\%. \quad (5)$$

Прийmemo вимогу, щоб формування еталонних сигналів струмів  $i_{e-j}^*(t)$  відбувалось у відповідності до виразу

$$i_{e-j}^*(t) = K_j^* \times i_{e-j}(t) = K_j^* k_1 s u_{in-j}(t), \quad (6)$$

де  $K_j^* = (1 + K_{uf-j}/100)$  – коефіцієнт несиметрії фазних навантажень АККП. Підставивши як і раніше відповідні величини з виразів (6) та (1) в (3) отримаємо значення еквівалентного фазного вхідного опору перетворювача у вигляді

$$R_{ekv-j}^* = \frac{1}{K_j^* k_1 s}. \quad (7)$$

Як видно з аналізу виразу (5) для найбільш навантаженої фази значення  $K_{uf-j}$  буде від'ємним. При

цьому з (6) виходить, що  $i_{e-j}^*(t)$  для цієї фази буде найменшим, а відповідно  $R_{ekv-j}^*$  з виразу (7) – найбільшим. Тобто для фази з найбільшим навантаженням забезпечується найменше значення еквівалентного фазного опору АККП та навпаки, для фази з найменшим навантаженням – найбільше, що призводить до вирівнювання навантажень фаз мережі та відповідного зменшення коефіцієнтів несиметрії напруг в мережі. Запропонований спосіб формування еталонних сигналів струмів може бути відносно просто інтегрований в СК АККП у вигляді підсистеми автоматичного регулювання, що зменшує несиметрію вхідних напруг, при збереженні способів формування вхідних струмів і стабілізації вихідної напруги АККП, що використовуються.

Проілюструємо сказане за допомогою розрахунків. На основі схеми з рис.3 та моделі трифазної чотирипровідної мережі низької напруги, що наведена в [16], у пакеті схемотехнічного моделювання МС9 була розроблена імітаційна модель, яка дозволяє проводити аналіз електромагнітних процесів в мережі при лінійних навантаженнях у несиметричних режимах. Параметри елементів моделі, що еквівалентні мережі та лінії відповідали параметрам трансформатора ТМ-40/10/0,4, схема з'єднання обмоток «зірка – зірка з нулем», підключеного до навантаження кабельною лінією, що має довжину 0,2км та переріз  $3 \times 25 + 1 \times 10 \text{ мм}^2$ .

Розрахунки проводились для сумарних номінальних потужностей трифазних RL- навантажень та АККП, що дорівнювали 25кВт та значення індуктивної складової RL- навантаження з  $\text{tg}\phi=0,48$ . Обирались такі параметри елементів моделі, які забезпечували 20%-у несиметрію фазних RL-навантажень, що відповідає середньостатистичному значенню розподілу навантажень у мережах низької напруги. Вказана несиметрія RL- навантажень вводилась за рахунок вибору відповідних коефіцієнтів несиметрії навантажень  $K_{nsz-j} = Z_{n-j}/Z_{nom}$ ,  $j=a,b,c$ , у відношенні 0,8/1/1,2.

На рис.4 представлені результати трьох варіантів розрахунків фазних напруг: перший – при підключенні до мережі лише несиметричного RL-навантаження (криві 1); другий – при підключенні несиметричного RL-навантаження і еквівалентного опору АККП при рівних номінальних потужностях навантаження і перетворювача та традиційному виконанні СК (тобто при рівних еквівалентних опорах фаз) (криві 2); третій – при підключенні несиметричного RL-навантаження та АККП при різних фазних еквівалентних опорах АККП (криві 3), тобто при використанні запропонованого вище способу симетрування навантажень мережі. В останньому випадку за рахунок дії описаної вище підсистеми автоматичного регулювання у сталому режимі значення коефіцієнтів  $K_j^*$ ,  $j=a,b,c$  знаходились у відношенні

0,87/0,974/1,155. Для вказаних варіантів розрахунків коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю дорівнював відповідно значенням 4,1%, 2,1% та 0,59%.

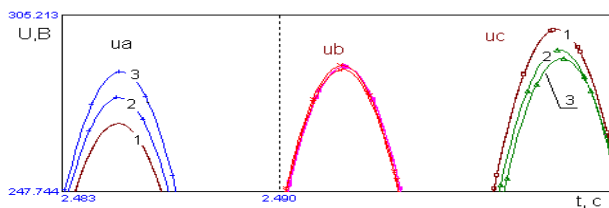


Рис. 4 – Результати розрахунків фазних напруг

На рис.5 наведені розраховані фазні струми мережі, тобто струми опорів  $Z_{e_i}$  на рис.3. Пунктиром позначені струми при підключенні лише несиметричного RL-навантаження, а суцільними лініями – струми при підключенні RL-навантаження і АККП із симетруванням навантаження мережі. Як видно з рисунку, крім симетрування струмів можна спостерігати зменшення індуктивної складової сумарного навантаження мережі, так як в наведеному прикладі при збереженні  $\text{tg}(\varphi_{n_i})$  навантаження в два рази зменшується його номінальна потужність. Так як в АККП відбувається формування еталонного сигналу струму без фазового зсуву від вхідної напруги, то забезпечується збільшення споживання сумарної активної потужності при відносному зменшенні реактивної складової.

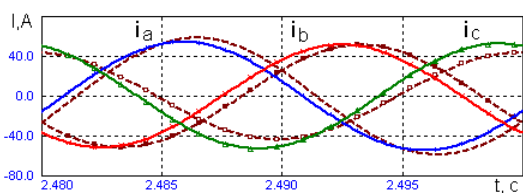


Рис. 5 – Розраховані фазні струми мережі

Дослідимо можливість компенсації реактивного струму навантаження в точці приєднання АККП до мережі. Для цього пропонується використовувати спосіб відповідної зміни фазового кута еталонних сигналів вхідних струмів АККП. Як і в випадку симетрування навантажень мережі, можливі різні підходи в отриманні інформації для побудови замкненої підсистеми автоматичного керування в СК АККП. Розглянемо можливість використання інформації, що забезпечує система «SCADA», а саме інформації про рівні активної та реактивної складових потужності, що споживає навантаження. Наприклад для наведеного вище третього варіанту розрахунків фазовий зсув струмів навантаження становив 26 ел.град. Використовуючи цю інформацію введемо в еталонні сигнали струму, що формується СК АККП, такий же за модулем і протилежний за знаком фазовий зсув, одночасно ввівши оберненопропорційну залежність рівнів еталонних сигналів від величини косинусу фазового кута струму навантаження  $\cos(\varphi_{n_i})$ . Для такого варіанту параметрів елементів моделі результати розрахунків струмів фази А у вузлі підключення до мережі навантаження та АККП наве-

дено на рис. 6. Як видно досягається майже повна компенсація реактивної складової струмів навантаження. При цьому відхилення значення напруги у точці приєднання навантаження і перетворювача становило -7%, що на 0,8% менше, ніж спостерігалось в третьому з наведених вище варіантів розрахунків та на 1% менше, ніж при підключенні лише RL-навантаження.

Наведені приклади ілюструють можливість реалізації запропонованих підходів до комплексного покращення якості електроенергії в локальних системах електропостачання, зокрема в МСР, при роботі ДПЕ в режимах заряду накопичувача енергії СНЕ.

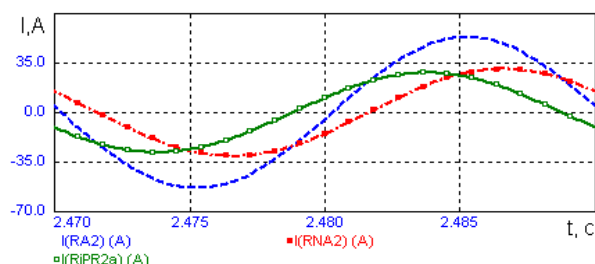


Рис. 6 – Результати розрахунків струмів фази А

Слід зазначити, що позитивний результат досягається лише за рахунок модернізації системи керування ДТПН, без використання додаткового обладнання.

## Висновки

1. Запропоновано способи комплексного покращення якості електроенергії в точці приєднання до локальних систем електропостачання несиметричних фазних навантажень та двонапрявленого трифазного перетворювача напруги, який працює в режимі активного коректора коефіцієнта потужності, що дозволяють одночасно зменшувати несиметрію напруг та компенсацію реактивної складової струмів навантаження за рахунок використання можливостей двонапрявлених трифазних перетворювачів по примусовому формуванню мережевих струмів.

2. Показано, що при співставних встановленій потужності мережі та номінальних потужностях навантаження і перетворювача можливо досягти зменшення несиметрії напруг за нульовою послідовністю в 7 разів у порівнянні з тільки несиметричним навантаженням та в 3,4 рази у порівнянні з використанням традиційного підходу до організації системи керування двонапрявленого трифазного перетворювача, що працює в режимі активного коректора коефіцієнта потужності.

3. Показано, що окрім зазначеного досягається також одночасне забезпечення практично повної компенсації реактивної складової струмів активно-індуктивного навантаження, що дозволяє зменшити відхилення напруги в точці підключення двонапрявленого трифазного перетворювача до мережі з 8% до 7%, тобто на 12%.

## Список літератури

1. КОДЕКС СИСТЕМ РОЗПОДІЛУ / Затверджений Постановою НКРЕКП 14.03.2018 № 310/ Урядовий кур'єр, 18.04.2018, № 75.- 123 с.
2. ABB Microgrids & Distributed Generation, January 28, 2019. *Advanced microgrids Concept sandex perience*. [http://www.itccanarias.org/tilos/files/Presentacion4\\_Pablo\\_Astorga\\_ABB.pdf](http://www.itccanarias.org/tilos/files/Presentacion4_Pablo_Astorga_ABB.pdf)
3. ABB Microgrid Plus Control System <https://new.abb.com/distributed-energy-microgrids/our-offering/microgrid-plus-system>
4. Wang, Y. Coordinated Control of Distributed Energy Storage Systems for Voltage Regulation in Distribution Networks Power Delivery / Wang Y., Tan, K.T., Peng, X.Y., So P.L. // *IEEE Transactions on Year: 2015, Volume: PP, Issue: 99* . – P. 1 – 15. – doi: 10.1109/TPWRD.2015.2462723.
5. Zhimin, Wang. Distributed storage capacity reservations for residential PV generation utilization and LV network operation / Zhimin Wang ,Lihan Qin, Chenghong Gu, Furong Li // *Power & Energy Society General Meeting*. – 2015. – IEEE Year: 2015. – P. 1 – 12. doi: 10.1109/PESGM.2015.7286114.
6. Xinwei, Shen. Active distribution network expansion planning integrated with centralized and distributed Energy Storage System / Xinwei Shen, Shouzhen Zhu, Jinghong Zheng, Yingduo Han, Qingsheng Li, Jing Nong // *Power & Energy Society General Meeting*. – 2015. – IEEE Year: 2015. – P. 1 – 10. – doi: 10.1109/PESGM.2015.7286069.
7. Zhou Jinghua. Energy Storage Power Conversion System in the Micro-grid / Zhou Jinghua1, Yang Zheng, Zhang Xiaowei // *International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy*. – 2015. – pp. 261-266. doi: 10.2991/icismme-15.2015.51
8. Tsai M.-T. Analysis and design of three-phase AC-to-DC converters with high power factor and near-optimum feedforward / M.-T. Tsai, W. I. Tsai. // *IEEE Trans. Ind. Electron.* – vol. – 46. – 1999. – P. 535–543. – doi: 10.1109/41.767060.
9. Qian, H. High-Efficiency Bidirectional AC-DC Converter for Energy Storage Systems / H. Qian, J.-S. Lai, J. Zhang, W. Yu. // *Proc. IEEE ECCE*. - Atlanta, GA. – 2010. Sep. – P. 3224-3229. – doi: 10.1109/ECCE.2010.5618283.
10. Жаркін А.Ф. Системи накопичення енергії на основі застосування потужних двонапрямлених перетворювачів / А.Ф. Жаркін, В.О. Новський, В.В. Мартинов, А.Г. Пазєєв, С.О. Палачов, Ю.В. Руденко // *Вісник НТУ «ХПИ»*. – 2018. – №26 (1302), Том 1. – С 25 – 33 doi:10.20998/2413-4295.2018.26.04
11. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. / Київ: Мінекономрозвитку України. – 2014. – 27 с.
12. Жаркін А.Ф. Комплексне покращення якості електроенергії та забезпечення електробезпеки в локальних системах електропостачання при застосуванні гібридних фільтрокомпенсуючих перетворювачів / А.Ф. Жаркін, В. О. Новський, Д.О. Малахатка // *Технічна електродинаміка*. – 2018. – №1. – С. 69–78. – doi:10.15407/techned 2018.01.069
13. Жаркін А.Ф. Дослідження двонапрямленого перетворювача постійної напруги уніфікованого інверторного модуля для застосування в системах накопичення енергії / А.Ф. Жаркін, В.О. Новський, А.Г. Пазєєв // *Технічна електродинаміка*. – 2018. – № 5. – С. 31 – 34. doi:10.15407/techned2018.05.031
14. КОДЕКС СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ / Затверджений Постановою НКРЕКП 14.03.2018 № 309/ Урядовий кур'єр, 18.04.2018, № 75.- 123 с.
15. Жаркін, А.Ф. Качество выходного напряжения трехфазных активных корректоров коэффициента мощности / А.Ф. Жаркин, А.Г. Пазеев, В.А. Новский, Д.А. Малахатка // *Вісник НТУ «ХПИ». Зб.наук.праць. – Харків: НТУ «ХПИ»*. – 2017. – №27 (1249). – С.354 – 359.
16. Шидловский А.К., Новский В.А., Капльчный Н.Н. Стабилизация параметров электрической энергии в распределительных сетях. / –Киев: наук. думка, – 1989. – 312 с. ISBN 5-12-000930-1.

## References (transliterated)

1. Kodeks system rozpodilu [code of distribution systems]. Zatverdzhenyi Postanovoiu NKREKP 14.03.2018 № 310/ *Uriadovyi kurier*, 18.04.2018, № 75.- 123 p.
2. ABB Microgrids & Distributed Generation, January 28, 2019 *Advanced microgrids Concept sandex perience*. [http://www.itccanarias.org/tilos/files/Presentacion4\\_Pablo\\_Astorga\\_ABB.pdf](http://www.itccanarias.org/tilos/files/Presentacion4_Pablo_Astorga_ABB.pdf)
3. ABB Microgrid Plus Control System. <https://new.abb.com/distributed-energy-microgrids/our-offering/microgrid-plus-system>
4. Wang Y., Tan, K.T., Peng, X.Y., So P.L. Coordinated Control of Distributed Energy Storage Systems for Voltage Regulation in Distribution Networks Power Delivery. *IEEE Transactions on Year: 2015, Volume: PP, Issue: 99*. P. 1 – 15. doi: 10.1109/TPWRD.2015.2462723.
5. Zhimin Wang ,Lihan Qin, Chenghong Gu, Furong Li. Distributed storage capacity reservations for residential PV generation utilization and LV network operation. *Power & Energy Society General Meeting*. 2015. IEEE Year: 2015. P. 1 – 12. doi: 10.1109/PESGM.2015.7286114.
6. Xinwei Shen, Shouzhen Zhu, Jinghong Zheng, Yingduo Han, Qingsheng Li, Jing Nong. Active distribution network expansion planning integrated with centralized and distributed Energy Storage System. *Power & Energy Society General Meeting*. – 2015. IEEE Year: 2015. P. 1 – 10. doi: 10.1109/PESGM.2015.7286069.
7. Zhou Jinghua, Yang Zheng, Zhang Xiaowei. Energy Storage Power Conversion System in the Micro-grid. *International Conference on Information Sciences, Machinery, Materials and Energy*. 2015. pp. 261-266. doi: 10.2991/icismme-15.2015.51
8. Tsai M.-T., Tsai W. I. Analysis and design of three-phase AC-to-DC converters with high power factor and near-optimum feedforward. *IEEE Trans. Ind. Electron.* vol. 46. 1999. P. 535–543. doi: 10.1109/41.767060.
9. Qian H., Lai J.-S., Zhang J., Yu W. High-Efficiency Bidirectional AC-DC Converter for Energy Storage Systems. // *Proc. IEEE ECCE*. Atlanta, GA. 2010. Sep. P. 3224-3229. doi: 10.1109/ECCE.2010.5618283.
10. Zharkin A.F., Novskiy V.O., Martynov V.V., Paziiev A.H., Palachov S.O., Rudenko Yu.V. Systemy nakopychennia enerhii na osnovi zastosuvannia potuzhnykh dvonapriamlenykh peretvoriuvachiv [Electric storage systems based on the use of powerful bi-directional converters]. *Visnyk NTU «KhPI»*. 2018. №26 (1302), Vol 1. P. 25 – 33. doi:10.20998/2413-4295.2018.26.04

11. **DSTU EN 50160:2014.** Kharakterystyky napruhy elektro-postachannia v elektrychnykh merezhakh zahalnoi pryznachennosti. [Characteristics of electric supply voltage in electric networks of general purpose]. Kyiv; Minekonomrozvytku Ukrainy, 2014, 27 p.
12. **Zharkin A.F., Novskiy V. O., Malakhatka D.O.** Kompleksne pokrashchennia yakosti elektroenerhii ta zabezpechennia elektrobezpeky v lokalnykh systemakh elektropostachannia pry zastosuvanni hibrydnykh filtrokompensuiuchykh peretvoriuvachiv [Comprehensive improvement of electric power quality and electrical safety in local power systems in the use of hybrid filter-compensating converters]. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. №1. pp. 69 – 78. doi:10.15407/techned 2018.01.069
13. **Zharkin A.F., Novskiy V.O., Paziiev A.H.** Doslidzhennia dvonapriamlenoho peretvoriuvacha postiinoi napruhy unifikovanoho invertornoho modulia dlia zastosuvannia v systemakh nakopychennia enerhii [Research of a bi-directional DC-DC converter of unified inverter module for application in energy accumulation systems]. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. № 5. pp. 31 – 34. doi:10.15407/techned2018.05.031
14. **KODEKS SYSTEM PEREDACHI [CODE OF TRANSMISSION SYSTEMS].** Zatverdzhenyi Postanovoiu NKREKP 14.03.2018 № 310/ *Uriadovyi kurier*, 18.04.2018, № 75.- 123 p.
15. **Zharkin,, A.F., Pazeyev, A.G., Novskiy, V.A., Malakhatka, D.A.** Kachestvo vykhodnogo napryazheniya trekhfaznykh aktivnykh korrektorov koeffitsiyenta moshchnosti [The quality of the output voltage three-phase active power factor correction], *Visnyk NTU «KhPI». Zb.nauk.prats, Kharkiv: NTU «KhPI», 2017, 27 (1249), - pp. 354 – 359.*
16. **Shidlovskiy A.K., Novskiy V.A., Kaplychnyy N.N.** Stabilizatsiya parametrov elektricheskoy energii v raspredelitel'nykh setyakh. *Kiyev: Nauk. Dumka*. 1989. 312 p. ISBN 5-12-000930-1.

### Інформація про авторів (About authors)

**Жаркін Андрій Федорович** – докт. техн. наук, проф., чл.-кор. НАН України, заступник директора з наукової роботи, зав. відділу стабілізації параметрів електромагнітної енергії, Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ, Україна.

**Andrii Zharkin** – doctor of engineering sciences, prof, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Deputy Director for Science, head of department of stabilization of electromagnetic energy parameters, The Institute of Electrodynamics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

**Пазєєв Андрій Георгійович** - кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, відділ стабілізації параметрів електромагнітної енергії, Інститут електродинаміки НАН України, м. Київ, Україна

**Paziiev Andrii** - candidate of technical sciences, senior researcher, department of stabilization of electromagnetic energy parameters, The Institute of Electrodynamics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

*Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Жаркін, А. Ф.** Покращення якості електроенергії в локальних системах електропостачання шляхом управління режимами роботи двонаправлених трифазних перетворювачів напруги / **А. Ф. Жаркін, А. Г. Пазєєв** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2019. – № 20 (1345). – С. 122-128. – doi:10.20998/2409-9295.2019.20.17.

*Please cite this article as:*

**Zharkin, A., Paziiev, A.** Improving the quality of electricity in local supply systems by managing operating mode bidirectional three-phase voltage converter. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Electric machines and electromechanical energy conversion.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2019, **20** (1345), 122-128, doi:10.20998/2409-9295.2019.20.17.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Жаркин, А. Ф.** Улучшение качества электроэнергии в локальных системах электроснабжения путем управления режимами работы двонаправленных трехфазных преобразователей напряжения / **А. Ф. Жаркин, А. Г. Пазеев** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2019. – № 20 (1345). – С. 122-128. – doi:10.20998/2409-9295.2019.20.17.

**АННОТАЦІЯ.** Исследована возможность комплексного улучшения качества электроэнергии в локальных системах электроснабжения, в частности в малых системах распределения, построенных на основе концепции «Microgrid Plus» за счет использования возможностей трехфазных двонаправленных полупроводниковых преобразователей, работающих в режиме трехфазных активных корректоров коэффициента мощности, по принудительному формированию входных токов. Показано, что использование предложенных способов формирования эталонного сигнала входных токов указанных преобразователей позволяет, при сохранении низких значений коэффициентов гармонических искажений синусоидальности входных токов, что характерно для активных корректоров коэффициента мощности, реализовать возможность поддержания уровня напряжения локальной системы в установленных пределах за счет компенсации индуктивной составляющей токов групп нагрузок и одновременно обеспечить симметрирование фазных нагрузок локальной системы электроснабжения. Реализация указанной возможности в системах «Microgrid Plus» облегчается благодаря наличию в них разветвленной системы контроля параметров потребления и генерации электроэнергии и передачи полученных данных между пользователями локальной системы, что позволяет сформировать задачи на поддержание качества напряжения в установленных нормативными документами пределах. Реализация такой возможности становится особенно актуальной в указанных локальных системах при интеграции в них накопителей электроэнергии на базе использования двонаправленных преобразователей электроэнергии, принимая во внимание сравнимую с установленной мощностью локальной системы номинальную мощность накопителей электроэнергии и возможность работы выходных двонаправленных преобразователей систем накопления в указанных режимах.

**Ключевые слова:** система накопления энергии; двонаправленный преобразователь; двонаправленный трехфазный инвертор; источник возобновляемой энергии.

Надійшла (received) 22.06.2019