

## КОРЕКЦІЯ АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАДАНОГО СТРУМУ СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФІЛЬТРА НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ФРІЗЕ В УМОВАХ НЕСИМЕТРІЇ

Забезпечення якості електричної енергії потребує комплексного підходу до проектування та вибору фільтрокомпенсуючих та симетруючих пристроїв. На підставі аналізу відомих робіт встановлено, що формування струму фільтру здійснюється за алгоритмом в основі якого закладені елементи теорії потужності. В ході моделювання на ЕОМ відзначено, що використання теорії потужності за Фрізе в трифазних системах доцільне, але потребує корекції. Шляхом використання методів теорії електротехніки та сучасних стандартів з визначення складових потужності, запропоновано корекцію алгоритму визначення заданого струму силового активного фільтру. При цьому, додатково визначаються складові напруги та струму прямої послідовності та еквівалентний кут зсуву. Моделюванням силового активного фільтру, із запропонованими змінами в системі керування, обґрунтовано ефективність запропонованого рішення. В результаті доведено, що виконувати формування струму силового активного фільтру з використанням теорії Фрізе введенням замість середнього значення активної потужності за фазами – активної потужності прямої послідовності, яка визначена відповідно до позицій стандарту IEEE 1459-2010.

**Ключові слова:** силовий активний фільтр, теорія потужності Фрізе, несиметричне навантаження, стандарт IEEE 1459-2010

### ВСТУП

Наразі актуальним є питання забезпечення якості електроенергії для електричних мереж. Наявність в промисловості великої кількості потужних асинхронних електродвигунів викликає потоки реактивної потужності в мережі між частинами постачання та споживання електричної енергії. Реактивна потужність супроводжує процеси перетворення активної потужності і пов'язана, зокрема, з роботою та режимами електричних машин. Процес циркуляції реактивної потужності призводить до збільшення втрат електроенергії в електричних мережах та електричних машинах [1], несприятливо впливає на рівень напруги в мережі, що призводить до зниження пропускної здатності системи передачі електроенергії.

Впровадження напівпровідникової техніки в електроенергетику загострило проблему якості появою вищих гармонік струму і напруги. Такі пристрої, як тиристорні регулятори напруги, керовані випрямлячі, перетворювачі частоти і автономні інвертори напруги генерують гармоніки частоти яких сягають 1–20 кГц. Спектральний склад вищих гармонік струму, який змінюється при зміні режиму керування перетворювачем, унеможливило правильне налаштування силових пасивних фільтрів, що суттєво зменшує ефективність їх використання [2].

Від електричних мереж з рівнем напруги до 1 кВ отримують електричну енергію однофазні споживачі із різним характером навантаження, які не тільки генерують реактивну потужність та вищі гармоніки, але і нерівномірно завантажують фази мережі, створюючи не-

симетрію. До таких навантажень відносять: в промисловому секторі – однофазні електрошлакові печі, зварювальні агрегати, однофазні двигуни; в побутовому секторі – комп'ютерні кластери, периферійні пристрої та інше. Несиметричні режими роботи негативно впливають на роботу генераторів, трансформаторів та самих споживачів електроенергії, і тим самим знижують час безвідмовної експлуатації зазначеного електрообладнання.

Для покращення показників електричної енергії та зменшення впливу описаних вище явищ все частіше використовують силові активні фільтри [3, 4]. Силовий активний фільтр (САФ) – керований напівпровідниковий пристрій виконаний за мостовою схемою з'єднання транзисторних елементів, призначений для зниження реактивної потужності та рівня вищих гармонік струму. Зважаючи на керованість перетворювача САФ можна припустити функціональну можливість – виконувати симетрування струмів навантаження [5], за умов наявності відповідного алгоритму формування струму.

В той же час ефективність роботи САФ значною частиною визначається алгоритмом формування заданого струму для кожної лінії вузла мережі, як правило це складові струму, що відповідають неактивним компонентам потужності. Для визначення неактивних компонент застосовують відповідні теорії потужності [4]. Реалізація алгоритму визначення заданого струму та формування імпульсів управління силовим перетворювачем, на його підставі, є складовими, які впливають на якість фільтрації та швидкодію роботи САФ.

## МЕТА РОБОТИ

Корекція алгоритму визначення заданого струму та дослідження ефективності трифазного силового активного фільтру при різних умовах несиметрії.

## АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ МАТЕРІАЛІВ

Побудова ефективних систем керування вимагає визначення адекватної оцінки складових струму, які зумовлюють неактивну потужність, вищі гармоніки та несиметрії. Виконати декомпозицію складових можливо при застосуванні теорій миттєвої потужності. Зокрема, використання перетворення Кларка та перехід від трифазної системи до фіктивної однофазної, забезпечує визначення активних та неактивних складових миттєвої потужності, відповідно до *pqr*-теорії [6, 7]. Остання знайшла застосування для трифазних трипровідних та чотирипровідних кіл, а для трифазних чотирипровідних кіл з несиметричними режимами чи навантаженнями отримала розвиток у вигляді *pqr*-теорії [8].

В той же час, достатню популярність серед дослідників отримала теорія потужності, яка була запропонована в 1931 році польським вченим С. Фрізе. На момент створення теорія Фрізе не знайшла прихильників та практичних застосувань, і протягом 60 років залишалася відомою вузькому колу науковців [9]. Проте, ситуація різко змінилася в кінці ХХ століття. З розвитком напівпровідникової техніки та з проривом у виробництві транзисторів IGBT, MOSFET, науковцями та технічними фахівцями почали вивчатися силові активні фільтри. Для управління САФ отримала певне застосування теорія потужності Фрізе [6, 10]. Алгоритм визначення для компенсації неактивних складових струму, за теорією Фрізе, можливо реалізувати, як для однофазних, так і для трифазних споживачів з лінійним та нелінійним навантаженням. Проте в останньому випадку виникає необхідність визначення раціонального рівня симетрування [5].

Відповідно до теорії Фрізе [6, 9] струм розкладають на дві складові – активну  $i_A$  і пасивну  $i_{II}$  в часовій області:

$$i = i_A + i_{II}, \quad (1)$$

для визначення останніх додатково розраховують активну потужність  $P$  та квадрат середньоквадратичного значення напруги  $U_{RMS}^2$  за період  $T$ :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i dt, \quad (2)$$

$$U_{RMS}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt. \quad (3)$$

Тоді, активний струм за Фрізе, з використанням (2, 3):

$$i_A = \frac{P}{U_{RMS}^2} \cdot u. \quad (4)$$

Пасивну складову струму виділяють зі струму навантаження, і вважають, що цей струм САФ повинен компенсувати:

$$i_{II} = i - i_A = i_c^*. \quad (5)$$

Взаємну ортогональність складових підтверджується наступними співвідношеннями:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u \cdot i_A dt, \quad (6)$$

$$\int_0^T u \cdot i_{II} dt = 0; \quad \int_0^T i_A \cdot i_{II} dt = 0. \quad (7)$$

Оскільки пасивні складові не переносять активної енергії (7), то їх компенсують [8].

## КОРЕКЦІЯ АЛГОРИТМУ

Як показано в роботах [6, 10] алгоритм формування струму САФ за теорією Фрізе призводить до високих показників зниження реактивної потужності та вищих гармонік струму. Про те, як зазначено в роботі [5], при несиметричному струмі необхідно корегування алгоритму. Розглянемо можливі варіанти що вимагають корекції.

Варіант 1 – мережа із симетричною, синусоїдальною напругою – несиметричне, нелінійне навантаження (рис. 1).

Визначення активної потужності за формулою (2), замінюємо на визначення активної потужності прямої послідовності за основною гармонікою.

Згідно зі стандартом IEEE 1459-2010 рекомендується активну потужність прямої послідовності основної гармоніки визначати, як:

$$P_1^+ = U_1^+ \cdot I_1^+ \cdot \cos(\theta_u - \theta_i), \quad (8)$$

де  $U_1^+$  – напруга прямої послідовності основної гармоніки;  $I_1^+$  – струм прямої послідовності основної гармоніки;  $\theta_u$  – зсув по фазі основної гармоніки напруги прямої послідовності;  $\theta_i$  – зсув по фазі основної гармоніки струму прямої послідовності.

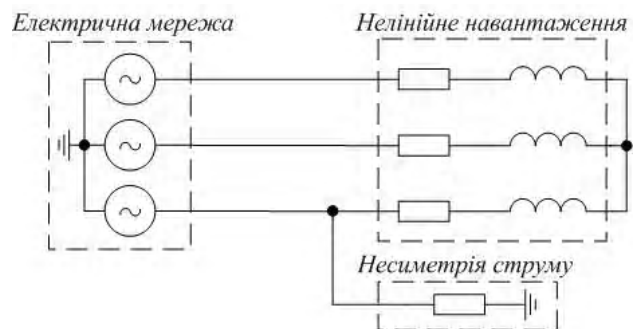


Рисунок 1 – Підключення навантаження до електричної мережі за варіантом 1

Таким чином, заданий струм САФ (4, 5) визначається активним струмом, який на відміну від виразів (6) та (7), пропонується визначати за активною потужністю прямої послідовності:

$$i_{APF}^* = i_L - i_{AF} = i_L - \left[ P_1^+ / U_{RMS}^2 \right] u_S, \quad (9)$$

де  $i_L$  – повний струм навантаження;  $i_{AF}$  – активний струм з врахуванням корекції за потужністю прямої послідовності;  $u_S$  – миттєве значення напруги мережі.

Варіант 2 – мережа із несиметричною, синусоїдальною напругою – нелінійне, несиметричне навантаження (рис. 2). При цьому, як показують попередні експерименти [5], є недостатнім симетрування активної потужності навантаження, визначенням її через пряму послідовність за основною гармонікою (8).

Зважаючи на несиметрію напруги, введемо середньоквадратичне значення напруги трифазної мережі:

$$U_{RMS}^2 = \left( \frac{U_{RMSa} + U_{RMSb} + U_{RMSc}}{3} \right)^2, \quad (10)$$

де  $U_{RMSa}$ ,  $U_{RMSb}$ ,  $U_{RMSc}$  – діюче значення напруги відповідно фази  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

З урахуванням (10), заданий струм САФ фактично буде більшим в тій фазі мережі, де більше значення напруги, що, ймовірно, призведе до перерозподілу завантаження фаз мережі. В підсумку, заданий струм САФ з урахуванням виразів (8), (10) дорівнює:

$$i_{APF}^* = i_L - i_{AF} = i_L - \frac{P_1^+ \cdot u_S}{\left( \frac{U_{RMSa} + U_{RMSb} + U_{RMSc}}{3} \right)^2}, \quad (11)$$

Варіант 3 – мережа із симетричною, несинусоїдальною напругою – нелінійне, несиметричне навантаження (рис. 3).

Вплив несинусоїдальної напруги живлення проаналізовано в роботі [11]. Щоб урахувати вплив несинусоїдальності напруги мережі з миттєвої напруги  $u$  виділяють

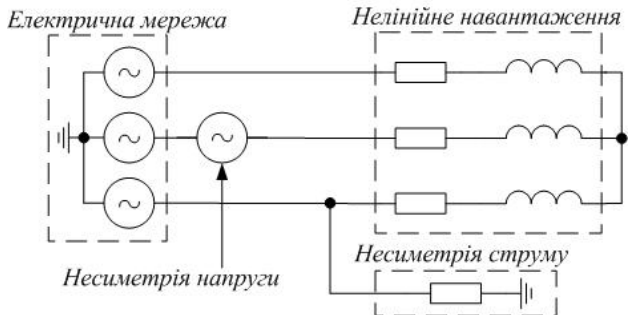


Рисунок 2 – Підключення навантаження до електричної мережі за варіантом 2

складову основної гармоніки  $u_1$ :

$$u_1 = \sqrt{A^2 + B^2} \sin \left( \omega t + \text{atan} \left( \frac{B}{A} \right) \right), \quad (12)$$

$$A = \frac{1}{T} \int_0^T u \cos(\omega t) dt; \quad B = \frac{1}{T} \int_0^T u \sin(\omega t) dt.$$

де  $\omega = 2\pi / T$ . Виходячи з (9) з урахуванням (12) заданий струм САФ:

$$i_{APF}^* = i_L - i_{AF} = i_L - \left( \frac{P_1^+ \cdot u_1}{U_{RMS}^2} \right). \quad (13)$$

Варіант 4 – мережа із несиметричною, несинусоїдальною напругою – несиметричне, нелінійне навантаження (рис. 4).

Заданий струм САФ знаходиться з урахуванням виразів (8), (10), (12):

$$i_{APF}^* = i_L - i_{AF} = i_L - \left[ \frac{P_1^+ \cdot u_1}{\left( \frac{U_{RMSa}^2 + U_{RMSb}^2 + U_{RMSc}^2}{3} \right)^2} \right], \quad (14)$$

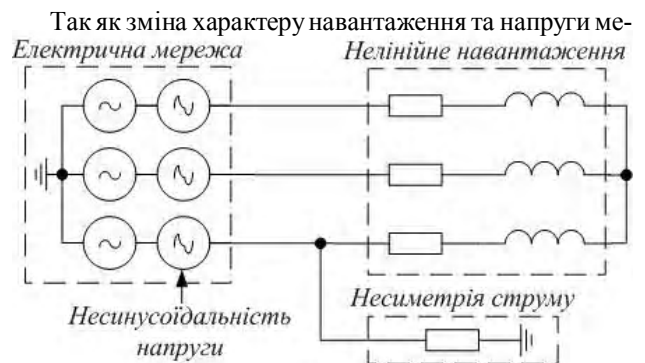


Рисунок 3 – Підключення навантаження до електричної мережі за варіантом 3

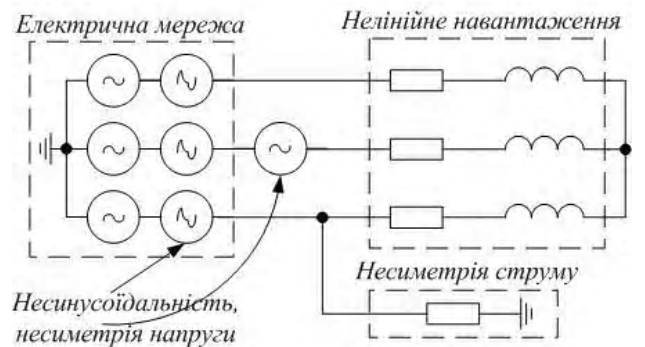


Рисунок 4 – Підключення навантаження до електричної мережі за варіантом 4

режі може відбуватися стохастично, використання кожного з варіантів формування струму стає нераціональним. Тому, в експериментальних дослідженнях, за умов формування струму САФ, використано вираз (14), який узагальнює попередні варіації.

### МОДЕЛЬ МЕРЕЖІ ІЗ СИЛОВИМ АКТИВНИМ ФІЛЬТРОМ

Модель трифазного САФ в електроенергетичній системі [5, 9] (рис. 5) включає: електричну мережу (*Three-Phase source*) з еквівалентним активним та індуктивним опорами; з'єднане з електричною мережею через трифазний реактор (*Reactor1*) нелінійне навантаження – тиристорний перетворювач (*Thyristor converter*) з активно-індуктивним навантаженням (*RL-load*); трифазний транзисторний перетворювач (*Transistor converter*); блок формування заданого струму САФ (*Current generation block*); блок формування імпульсів (*Pulse shaping block*).

Система формування імпульсів управління (*Pulse shaping block*) реалізована на основі методу адаптивно-релейного регулювання струму (АРРС) [10].

Параметри елементів схеми розраховані з наступних міркувань: нелінійне навантаження має розрахункову потужність  $P=30 \text{ кВт}$ ,  $Q=66 \text{ кВАр}$  – тиристорний перетворювач (*Thyristor converter*) з активно-індуктивним навантаженням (*RL-load*)  $R_{ld}=2 \text{ Ом}$ ;  $L_{ld}=0,0116 \text{ Гн}$ . Електропостачання здійснюється від трифазної електричної мережі (*Three-Phase source*) з номінальною напругою  $U_s=380 \text{ В}$ , частотою  $50 \text{ Гц}$ . Еквівалентні активний та реактивний опори мережі розраховані виходячи з допустимої втрати напруги на них 7%, та складають відповідно  $R_s=0,1 \text{ Ом}$ ;  $L_s=1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$ .

За відомою методикою [12] визначені електричні параметри реактивних елементів САФ та частота комутації вентилів перетворювача  $f_c$ . Елементи САФ мають наступні параметри: індуктивність реактору САФ  $L=0,0054 \text{ Гн}$ ; конденсатори ємністю  $C1=C2=40 \cdot 10^{-3} \text{ Ф}$ ; напруга конденсатору  $U_{dc1}=U_{dc2}=1000 \text{ В}$ .

### РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Проведено дослідження роботи трифазного САФ з різними режимами несиметрії та несинусоїдальності напруги мережі та струму навантаження. Дослідження системи «електрична мережа – силовий активний фільтр – навантаження» виконано при наступних умовах:

- №1. Синусоїдальна симетрична напруга мережі живлення – фазна несиметрія навантаження;
- №2. Синусоїдальна симетрична напруга мережі живлення – міжфазна несиметрія навантаження;
- №3. Синусоїдальна несиметрична напруга мережі живлення – фазна несиметрія навантаження;
- №4. Синусоїдальна несиметрична напруга мережі живлення – міжфазна несиметрія навантаження;
- №5. Несинусоїдальна симетрична напруга мережі живлення – фазна несиметрія навантаження;
- №6. Несинусоїдальна симетрична напруга мережі живлення – міжфазна несиметрія навантаження;
- №7. Несинусоїдальна несиметрична напруга мережі живлення – фазна несиметрія навантаження;
- №8. Несинусоїдальна несиметрична напруга мережі живлення – міжфазна несиметрія навантаження.

Несинусоїдальність, несиметрія напруги мережі живлення та несиметрія навантаження створювались у середі візуального програмування «MATLAB/ Simulink» з використанням джерела напруги, активного і реактивного навантаження з такими параметрами:

- несиметрія амплітудна (активне навантаження)  $P=3 \text{ кВт}$  підключене до фази *A*, фазна несиметрія (реактивне навантаження)  $Q=3 \text{ кВАр}$  підключене до фази *B*;
- міжфазна несиметрія активно-індуктивне навантаження  $P=6 \text{ кВт}$ ,  $Q=6 \text{ кВАр}$  підключене між фазами *A-B*;
- несиметрія напруги мережі живлення введенням джерела напруги фази *B*, що рівна  $u_b=38 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t - 2\pi/3)$ ;
- несинусоїдальність напруги мережі живлення введенням в кожену фазу джерел живлення,  $u_a=u_b=u_c=30 \cdot \sin(2\pi \cdot 150 \cdot t)$ .

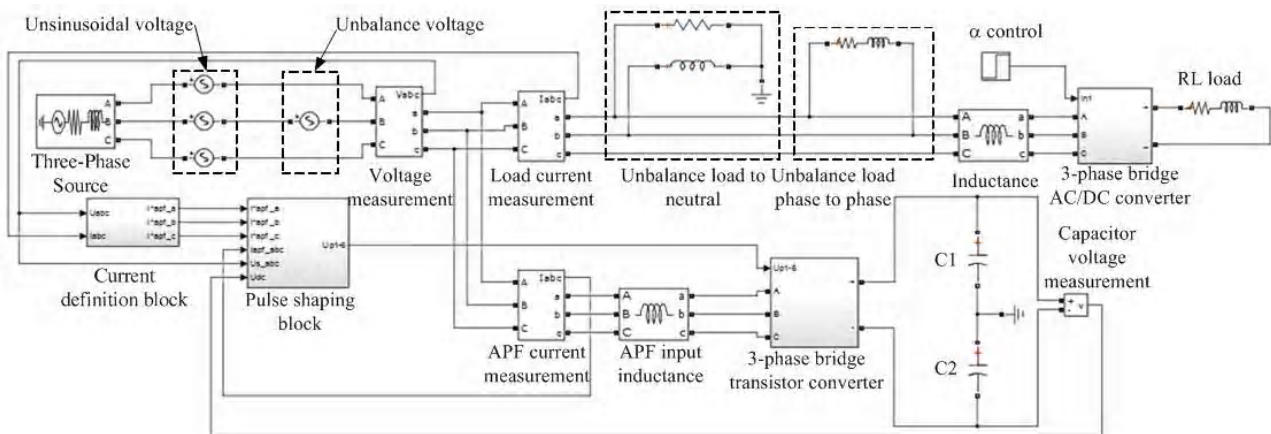


Рисунок 5 – Модель трифазного силового активного фільтра в електроенергетичній системі

В ході виконаного дослідження отримані осцилограми напруги і струму мережі, струму навантаження, струму САФ в нульовому проводі. Зважаючи на обмеження за обсягом та незначну інформативність, в роботі не приведені осцилограми для варіантів 1–6. На рис. 6 наведені осцилограми напруги мережі  $u$  та струму навантаження  $i$  за 2 періоди для варіанту експерименту №7.

Як видно з осцилограми рис. 6 струм полігармонійний та має небаланс за фазами ліній електропередачі, напруга теж спотворена.

Як видно з осцилограми рис. 6 струм полігармонійний та має небаланс за фазами ліній електропередачі, напруга теж спотворена.

На рис. 7 наведені осцилограми струму мережі (після компенсації) за 2 періоди для варіанту №7. Зазначимо, що САФ, з використанням пропонованого алгоритму, виконує симетрування струму в мережі, при зазначених вище умовах. В кривій струму мережі присутні пульсації (виділені пунктиром), які викликані високою швидкістю зміни струму, тобто крутим фронтом, імпульсів струму навантаження.

Кількісна оцінка якості та ефективності роботи трифазного САФ, при його роботі з несиметричними напругою та струмом, проведено з використанням показників стандарту IEEE 1459-2010. Стандарт IEEE 1459-2010 має критерій для оцінки енергетичних та електричних показників в умовах несиметрії [5].

Для оцінки роботи САФ введений ряд показників, причому параметри мережі позначені індексом « $s$ », а навантаження « $ld$ »:

– коефіцієнт потужності (табл. 1):

$$PF = P / S_e$$

де  $S_e$  – повна ефективна потужність, що знаходиться за стандартом IEEE 1459-2010 [5].

– ефективність зниження реактивної потужності прямої послідовності за основною гармонікою (табл. 1, рис. 9):

$$e_Q = ((Q_{1ld}^+ - Q_{1s}^+) / Q_{1ld}^+) \cdot 100\%;$$

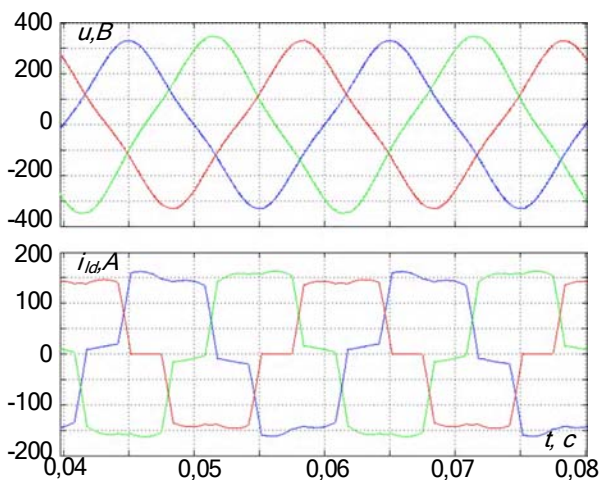


Рисунок 6 – Осцилограми напруги мережі  $u$  та струму навантаження  $i$  за 2 періоди для варіанту №7

– коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму (табл. 1):

$$THD_{eI} = I_H / I_{e1};$$

– ефективність зниження коефіцієнту спотворення синусоїдальності кривої струму (рис. 9):

$$e_{THD} = ((THD_{eI,ld} - THD_{eI,s}) / THD_{eI,ld}) \cdot 100\%;$$

– ефективність зниження повної потужності небалансу (рис. 9):

$$e_{SUI} = ((S_{UI,ld} - S_{UI,s}) / S_{UI,ld}) \cdot 100\%;$$

– коефіцієнт несиметрії навантаження (табл. 1):

$$K_{AL} = (S_{UI} / S_{UI}^+) \cdot 100\%$$

– ефективність зниження коефіцієнту несиметричного навантаження (рис. 9):

$$\varepsilon_{KAL} = ((K_{AL,ld} - K_{AL,s}) / K_{AL,ld}) \cdot 100\%.$$

Аналізуючи табл. 1, можна відзначити, що відбувається компенсація реактивної потужності і відповідно коефіцієнт потужності рівний близько 1 для всіх випадків. Зниження реактивної потужності складає близько 97 % для 8-ми варіантів експерименту. Коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої струму навантаження складає в середньому 0,22 в.о., тоді як в мережі не перевищує 0,06 в.о.

Ефективність зниження коефіцієнту спотворення синусоїдальності кривої струму  $e_{THD}$  складає 85–70 %. Крива ефективності зниження коефіцієнту несиметричного навантаження  $e_{KAL}$ , на графіку рис. 9, схожа за аналогією до кривої  $e_{THD}$ . При наявності несиметрії напруги (вар. №3–4, №7–8) ефективність зниження повної потужності небалансу  $e_{SUI}$  складає 50–60 %, тоді як в інших випадках близько 98 %.

## ВИСНОВКИ

1. Алгоритм визначення струму САФ за Фрізе для однофазного кола успішно використовується в трифазних колах, але його використання унеможливується в умовах несиметрії. Запропонована корекція алгоритму визначення заданого струму САФ враховує несиметрію струму навантаження та напруги мережі, введенням активної потужності прямої послідовності, що підвищує ефективність роботи САФ в умовах несиметрії.

2. Використання запропонованого алгоритму дозволяє утримати ефективність компенсації реактивної потужності за першою гармонікою на рівні 97%, при цьому за умов несиметрії відбувається зниження повної потужності небалансу практично на 50%.

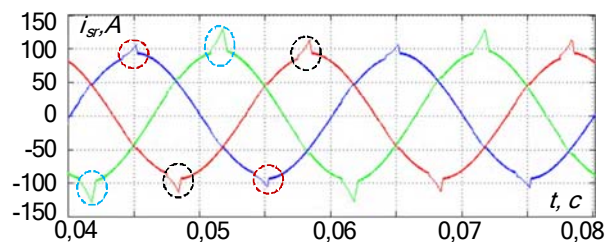


Рисунок 7 – Осцилограма струму мережі за 2 періоди для варіанту №7



Таблиця 1 – Показники оцінки ефективності роботи САФ для 8-ми варіантів експерименту

№ експ.	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8
$PF_{ld}$ , в.о.	0,5744	0,5806	0,5518	0,5615	0,5747	0,5806	0,5525	0,5619
$PF_{ss}$ , в.о.	0,994	0,995	0,993	0,994	0,994	0,995	0,993	0,994
$\varepsilon_{Q+1}$ , %	97,42	97,54	97,44	97,54	97,39	97,51	97,4	97,5
$THD_{ld}$ , в.о.	0,2138	0,2025	0,2172	0,2067	0,2139	0,2025	0,2173	0,2067
$THD_{ss}$ , в.о.	0,0285	0,0303	0,0489	0,0489	0,0394	0,0394	0,0628	0,0615
$\varepsilon_{THD}$ , %	86,64	85,04	77,47	76,29	81,56	80,51	71,06	70,23
$\varepsilon_{SU1}$ , %	98,66	97,59	48,18	59,53	97,28	97,28	48,07	59,32
$K_{AL_{ld}}$ , в.о.	0,2139	0,202	0,2173	0,206	0,214	0,2027	0,2174	0,2067
$K_{AL_{ss}}$ , в.о.	0,0296	0,0313	0,0495	0,0496	0,0402	0,0403	0,0633	0,0621
$\varepsilon_{KAL}$ , %	86,13	77,76	62,91	62,82	65,61	72,57	65,91	65,75

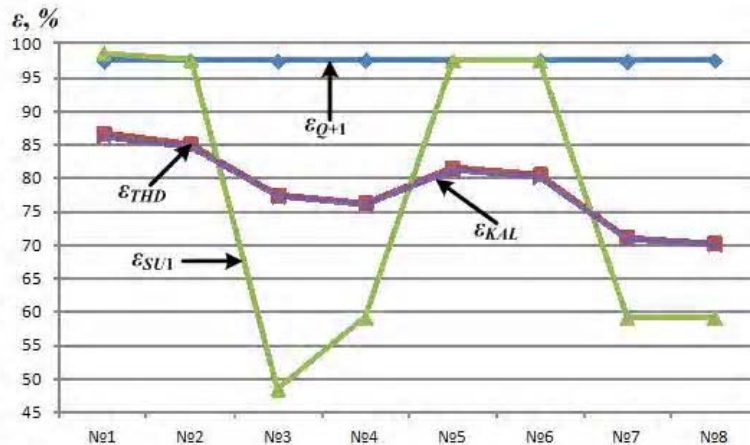


Рисунок 9 – Показники оцінки роботи САФ для 8-ми варіантів експерименту

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Глушков В. М. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий / В. М. Глушков, В. П. Грибин – М. : Энергия, 1975. – 104 с.
2. Шидловский А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов – К. : Наукова думка, 1985. – 268 с.
3. Давидов О. Ю. Анализ засобів компенсації реактивної потужності в електротехнічних системах / О. Ю. Давидов, О. В. Бялобржеський // Вісник КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – №3. – ч.1 – С. 132–136.
4. Мирошніченко О. Г. Компенсация реактивной мощности в узлах энергосистемы с учетом фактических графиков нагрузок / О. Г. Мирошніченко // Електротехніка та електроенергетика. – 2007. – №2. – С. 76–82.
5. Власенко Р. В. Оцінка складових потужності електричної мережі при роботі силового активного фільтру за стандартом IEEE 1459-2010 / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Інтелектуальні енергетичні системи – ESS'15 «Енергетика: економіка, технології, екологія», Київ. – 2015. – №4. – С. 57–62.
6. Власенко Р. В. Порівняння методів компенсації неактивної потужності трифазним силовим активним фільтром з адаптивним релейним регулятором струму / Р.В. Власенко, О.В. Бялобржеський // Електротехніка та електроенергетика. – 2014. – №2. – С. 20–27.
7. Сінолиций А. П. P-Q теорія миттєвої потужності для пристроїв активної фільтрації обмеження застосування // А. П. Сінолиций, В. А. Кольсун, В. С. Козлов // Електротехніка та електроенергетика. – 2013. – №2. – С. 34–39.
8. Власенко Р. В. Застосування силового активного фільтру при компенсації компонент струму несиметричного нелінійного навантаження в чотирипровідній мережі / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський // Вісник ПДТУ, серія «Технічні науки». – 2015. – №31. – С. 156–165.
9. Лохов С. М. Энергетические составляющие мощности вентиляльных преобразователей / С. М. Лохов – Ч. : ЮУрГУ, 1999. – ч.1. – 106 с.
10. Власенко Р. В. Дослідження характеристик трифазного силового активного фільтру з адаптивним регулятором при компенсації неактивних складових потужності / Р. В. Власенко, О. В. Бялобржеський, В. Ю. Качалка // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – 2015. – №3 – С. 118–125.
11. Vlasenko R. V. Study of three-phase active power operation using non-sinusoidal voltage / R. V. Vlasenko, O. V. Bialobrzzeski // Праці ОПУ. – 2016. – №1. – С. 58–64.
12. Zakis J. Comparison of flexible systems of reactive power compensation / J. Zakis, I. Rankis // 5th International symposium «Topical problems in the field of electrical and power engineering», doctoral school of energy and geotechnology kuressaare, Estonia, January 14–19, 2008. – P. 99–102.

Власенко Р.В.<sup>1</sup>, Бялобржеский А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Аспирант, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Украина

<sup>2</sup>Канд. техн. наук, доцент, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, Украина

**КОРРЕКЦИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАННОГО ТОКА СИЛОВОГО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ФРИЗЕ В УСЛОВИЯХ НЕСИММЕТРИИ**

*Обеспечение качества электрической энергии требует комплексного подхода к проектированию и выбору фильтрокомпенсирующих и симметрирующих устройств. На основании анализа установлено, что формирование тока фильтра осуществляется по алгоритму, в основе которого заложены элементы теории мощности. В ходе моделирования на ЭВМ установлено, что использование теории мощности по Фризе в трехфазных системах целесообразно, но нуждается в коррекции. Путем использования методов теории электротехники и современных стандартов по определению составляющих мощности, предложено коррекцию алгоритма определения заданного тока силового активного фильтра. При этом дополнительно определяются составляющие напряжения и тока прямой последовательности и эквивалентный угол сдвига между ними. Моделированием силового активного фильтра с предложенными изменениями в системе управления доказана эффективность предлагаемого решения. В результате предложено выполнять формирования тока силового активного фильтра с использованием теории Фризе и введением вместо среднего значения активной мощности по фазам, активную мощность прямой последовательности, которая определена в соответствии с позициями стандарта IEEE 1459-2010.*

**Ключевые слова:** силовой активный фильтр, теория мощности Фризе, несимметрическая нагрузка, стандарт IEEE 1459-2010.

Vlasenko R.V.<sup>1</sup>, Bialobrzeski O.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Postgraduate Kremenchuk Myhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine

<sup>2</sup>Candidate of Science, Associate Professor, Kremenchuk Myhailo Ostrohradskiy National University, Ukraine

**CORRECTION ALGORITHM FOR DETERMINING THE GIVEN CURRENT ACTIVE POWER FILTER BASED ON THE THEORY POWER FRYZE IN TERMS OF ASYMMETRY**

*Quality assurance of electrical energy requires an integrated approach to the design and selection of filtering and balancing device. An analysis revealed that the formation of the current filter is performed by the algorithm, based on the power theory laid. In the course of a computer simulation found that the use of the theory of power by Fryze's in three-phase systems, it is advisable, but in need of correction. By using the methods of electrical engineering theory and modern standards to determine the components of the power correction algorithm is proposed to determine the specified current active power filter. This additional component, are determined by the voltage and current equivalent to a direct sequence and phase angle between them. Modeling power active filter with the proposed changes in the management system proved the efficiency of the proposed solutions. As a result, it proposed to carry out the formation of the active power filter using current theory Fryze and introduction instead of the average values of active power per phase, active power direct sequence, as determined in accordance with the provisions of the standard IEEE 1459-2010.*

**Keywords:** active power filter, theory power Fryze, asymmetry load, standard IEEE 1459-2010.

**REFERENCES**

1. Glushkov V. M., Gribin V. P. Kompensaciya reaktivnoj moshhnosti v elektroustanovkax promy'shlenny'x predpriyatij. Moscow, Energiya, 1975, 104 p.
2. Shidlovskij A. K., Kuznecov V. G. Povy'shenie kachestva elektroenergii v elektricheskix setyax. Kyiv, Naukova dumka, 1985, 268 p.
3. Davydov O. Y., Bialobrzeski O. V. Analiz zasobiv kompensaciyi potuzhnosti v elektrotexnichyx systemax, *Visnyk KDU Ostrograds'kogo*, 2010, No 3, p.1, pp. 132–136.
4. Miroshnichenko O. G. Kompensatchiya reaktivnoy moshhnosti v uzlax energosistemy s uchetom fakticheskix grafikov nagruzok. *Elektrotexnika ta elektroenergetyka*, 2007, No 2, pp. 76–82.
5. Vlasenko R. V., Bialobrzeski O. V. Ocinka skladovyx potugnosti elektrichnoy meregi pry roboti sylovogo aktyvnogo fil'tru za standartom IEEE 1459-2010, *Energetyka: ekonomika, texnologiya, ekologiya*, 2015, No 4, pp. 57–62.
6. Vlasenko R. V., Bialobrzeski O. V. Porivnyannya metodiv kompensaciyi neaktyvnoyi potugnosti tryfaznym sylovym aktyvnym fil'trom z adaptivnym releynym regulyatorom strumu, *Elektrotexnika ta elektroenergetyka*, 2014, No 2, pp. 20–27.
7. Sinolitsyy A. F., Kolsun V. A., Kozlov V. S. Irip p-q theory for active power filters. limitation of application. *Elektrotexnika ta elektroenergetyka*, 2013, No 2, pp. 34–39.
8. Vlasenko R. V., Bialobrzeski O. V. Zastosuvannya sylovogo aktyvnogo fil'tru pry kompensaciyi component strumu nesymetrychnogo navantagennya v chotyryprovidnij meregi. *Visnyk PDTU*, 2015, No 31, pp. 156–165.
9. Loxov S. M. Energetichesie sostavlyayushhie moshhnosti preobrazovately, Chelyabinsk, YUUrGU, 1999, part 1, 106 p.
10. Vlasenko R. V., Bialobrzeski O. V., Kachalka V. Yu. Doslidzhennya karakterystyk tryfaznogo sylovogo aktyvnogo fil'tru z adaptivnym regulyatorom pry kompensaciyi neaktyvnyx skladovyx potugnosti. *Elektromexanichni I energozberigayuchi systemy*, 2015, No 3, pp. 118–125.
11. Vlasenko R. V., Bialobrzeski O. V. Study of three-phase active power operation using non-sinusoidal voltage, *Praci OPU*, 2016, No 1, pp. 58–64.
12. Zakis J., Rankis I. Comparison of flexible systems of reactive power compensation. 5th International symposium «Topical problems in the field of electrical and power engineering», doctoral school of energy and geotechnology kuressaare, Estonia, January 14-19, 2008, P. 99–102.