



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **113099** (13) **C2**
(51) МПК (2016.01)
H01F 30/12 (2006.01)
H02M 1/12 (2006.01)
H02J 3/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

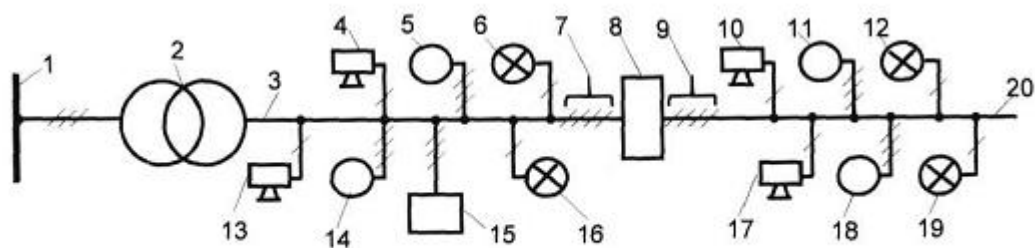
| | |
|---|---|
| (21) Номер заявки: а 2015 02285 | (72) Винахідник(и): Музиченко Олександр Дмитрович (UA), Музиченко Оксана Олександрівна (UA), Музиченко Юрій Олександрович (UA) |
| (22) Дата подання заявки: 16.03.2015 | |
| (24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 12.12.2016 | |
| (41) Публікація відомостей про заявку: 26.09.2016, Бюл.№ 18 | (73) Власник(и): Музиченко Олександр Дмитрович, вул. Незалежності, 64, с. Літки, Броварський р-н, Київська обл., 07411 (UA), Музиченко Оксана Олександрівна, вул. Незалежності, 64, с. Літки, Броварський р-н, Київська обл., 07411 (UA), Музиченко Юрій Олександрович, вул. Незалежності, 26, кв. 125, м. Нетішин, Хмельницька обл., 30100 (UA) |
| (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.12.2016, Бюл.№ 23 | (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 2004119571 A1, 24.06.2004 RU 2006135 C1, 15.01.1994 RU 2087965 C1, 20.08.1997 RU 2334298 C1, 20.09.2008 CA 2710705 A1, 16.01.2012 |

(54) СПОСІБ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ НЕСИМЕТРІЇ ТА НЕСИНУСОЇДНОСТІ СТРУМІВ ТА НАПРУГ РОЗПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ**(57) Реферат:**

Винахід належить до електроенергетики, а саме - до розподільних мереж і може бути використаний у розподільних мережах загального і спеціального користування: повітряні та кабельні розподільні мережі, розподільні мережі державних та ділових споруд, сільські та міські мережі, розподільні мережі металургійних комплексів, супермаркетів, автоматизованих комплексів, стадіонів та ін. Спосіб зменшення несиметрії та несинусоїдності струмів та напруг розподільної мережі полягає в тому, що навантаження мережі поділяють на приблизно рівні частини з врахуванням виду розгалуженості розподільної мережі шляхом виділення центрів концентрації навантажень кожної частини, за розташуванням центрів концентрації навантажень визначають пункти поділу розподільної мережі на дві або на декілька рівновеликих частин за потужністю або енергією навантажень, а у пунктах поділу розподільної мережі встановлюють пристрої для симетричного зміщення фаз трифазної системи напруг розподільної мережі. Пристрій для зменшення несиметрії та вищих гармонік струмів та напруг розподільної мережі, який виконаний на основі стабілізатора фаз і який містить послідовні з'єднання обмоток стабілізаторів фаз, обмотки яких ввімкнені за схемами зигзагу та піврогача, а також затискачі лінійних та нульової фаз входу та виходу пристрою, внесені три фазозміщуючі послідовні з'єднання обмоток, кожне з яких містить три обмотки з двома крайніми виводами та три електромагнітні подільники напруг з двома крайніми та одним проміжним виводами. Технічний результат полягає у зменшенні втрат електричної енергії в розподільній мережі та її трансформаторі при К-факторі струмів нелінійних електроприймачів, рівному 20-50,

UA 113099 C2

нормалізації режимів електропостачання, уникнення перенапруг у трифазній мережі при фазному короткому замиканні та при обриві нульової фази.



Фиг. 1

A2

Спосіб та пристрій для зменшення несиметрії та несинусоїдності струмів та напруг розподільної мережі належать до електроенергетики. Спосіб та пристрій призначені для виконання декількох функцій: по перше, для зменшення несиметрії струмів та напруг у розподільній мережі 220/380 В; по друге, для зменшення вищих гармонік струмів та напруг; по третє, для зменшення втрат електричної енергії в лінії та трансформаторі розподільної мережі; по четверте, для відновлення пропускної здатності лінії та трансформатора мережі при однофазних навантаженнях; по п'яте, для підвищення якості трифазних напруг в розподільній мережі; по шосте, для уникнення виникнення перенапруг при обриві проводу нульової фази; по сьоме, для усунення перенапруг при фазному короткому замиканні. Галузь застосування - розподільні електричні мережі.

Кількість і види нелінійних електроприймачів, які приєднуються до розподільної мережі у даний час, невпинно збільшуються. При збільшенні кількості та потужності однофазних та трифазних нелінійних приймачів розподільної мережі в її проводах збільшуються струми несиметрії та вищих гармонік. Такі гармоніки розкладаються на симетричні складові прямої, зворотної та нульової послідовності [2, 8].

Відомий трансформатор розподільної мережі [2, 5-9], обмотки якого з'єднані за схемами Y/Y_0 , Y/Y_0 , Δ/Y_0 , Δ/Δ_0 , Y/Z_0 [2, 5-9]. Первинні обмотки цих трансформаторів з'єднані за схемами зірки [1, 2, 8, 9] або трикутника [5, 6], а вторинні обмотки з'єднані між собою у зірку з нулем [2, 5], у зірку з узгоджуючою обмоткою [9], у трикутник [5], у лямбду [6], у зиг'заг [7, 8]. До позитивних характеристик трансформаторів слід віднести задовільний ступінь взаємної компенсації симетричних складових струмів нульової послідовності основної та вищих гармонік [7, 8]. Недолік трансформатора: принципова неможливість взаємної компенсації симетричних складових струмів зворотної послідовності основної та вищих гармонік, а також неможливість компенсації симетричних складових струмів прямої послідовності вищих гармонік.

Відомий спосіб паралельного з'єднання входів двох трансформаторів [2, розділ 49, фіг. 618, фіг. 630 - фіг. 633; 3, 15, 18], первинні обмотки яких ввімкнені у зірку та трикутник. На основі аналізу роботи трансформаторів одинадцятої та нульової груп з'єднання обмоток трансформаторів Рюдєнбергом Р. у 1904 році встановлено, що струми симетричних складових прямої та зворотної послідовностей вищих гармонік можуть бути взаємно компенсовані у високовольтній мережі, що послужило поштовхом для вивчення методів та засобів зменшення струмів вищих гармонік у розподільчій мережі. Недолік способу: спосіб не забезпечує секціонування низьковольтних виходів трансформаторів через неспівпадіння фаз напруг трифазних виходів.

Відомий спосіб зменшення струмів вищих гармонік несиметричних та нелінійних приймачів розподільної мережі, при якому збільшують кількість трифазних виходів одного трансформатора розподільної мережі удвічі, утричі, у чотири і більше разів [10-13, 13, 14, 16, 17, 18]. У таких трансформаторах вторинні обмотки ввімкнені в один або декілька багатокутників, зокрема шестикутників, або виконані за схемами рога. Трифазна система напруг кожного виходу трансформатора зсунута по фазі на кут 30° , 20° , або 15° і т. і. від трифазної системи напруг іншого виходу. Основний недолік способу: принципова неможливість зменшення струмів симетричних складових зворотної послідовності основної та вищих гармонік, а також неможливість компенсації симетричних складових струмів прямої послідовності вищих гармонік в одному фідері розподільної мережі, тобто в одній трифазній мережі. Крім того, вторинні обмотки мають велику встановлену потужність 1,24-1,30 при взаємній компенсації вищих гармонік струмів прямої та зворотної послідовності у двох фідерах, які живлять ідентичні нелінійні навантаження.

Серед пристроїв компенсації вищих гармонік струмів прямої та зворотної послідовностей двох фідерів найбільш досконалим на даний час є трансформатор або автотрансформатор розподільної мережі [18], який містить з'єднання вторинних обмоток у зиг'заг та піврогач. Недоліки аналога: недостатня кратність компенсації струмів вищих гармонік нульової послідовності, порядковий номер яких як кратний трьом, так і не кратний трьом, наприклад, виражений парним числом; незадовільна кратність компенсації струмів вищих гармонік прямої та зворотної послідовності, порядковий номер яких кратний $6N \pm 1$, де N - довільне ціле число; висока витрата міді та сталі на 1 кВА вихідної потужності; принципова неможливість взаємної компенсації симетричних складових струмів прямої та зворотної послідовностей струмів вищих гармонік в одному фідері розподільної мережі.

Врешті патентний пошук не виявив аналогів та прототипу способу та пристрою компенсації вищих гармонік струмів прямої та зворотної послідовностей одного фідера розподільної мережі.

У зв'язку з указаними недоліками існуючого класу подібних способів та пристроїв були поставлені наступні задачі:

- розробити спосіб та пристрій компенсації вищих гармонік струмів прямої та зворотної послідовностей одного фідера;

- істотно зменшити витрати міді та електротехнічної сталі на 1 кВА встановленої потужності пристрою для взаємної компенсації вищих гармонік струмів прямої та зворотної послідовностей одного фідера;

- підвищити кратність компенсації вищих гармонік струмів нульової послідовності;

- знизити втрати енергії у трансформаторі розподільної мережі, обумовлені симетричними складовими струмів зворотної та нульової послідовностей основної гармоніки, а також обумовлені симетричними складовими струмів прямої, зворотної та нульової послідовностей вищих гармонік;

- стабілізувати потенціал нульової фази відносно потенціалу землі, що веде до покращення протипожежної ситуації та покращення техніки безпеки шляхом зменшення напруг дотику до захисних горючих, з'єднаних з нульовою фазою;

- покращити якість електричних напруг, зокрема обмежити перенапруги у розподільній мережі при обриві проводу нульової фази або при фазному короткому замиканні одного фідера розподільчої мережі.

Поставлені задачі вирішені шляхом виділення центрів концентрації нелінійних електроприймачів розподільної мережі, а саме тим, що: у способі зменшення несиметрії та несинусоїдності струмів та напруг у розподільній мережі, який включає поділ навантажень мережі на дві або декілька рівновеликих частин за потужністю, а також включає зміщення фази трифазної системи напруг відносно до системи трифазних напруг трансформатора розподільної мережі, навантаження приймачів розподільної мережі поділяють на приблизно рівні частини з врахуванням виду розгалуженості розподільної мережі шляхом виділення центрів концентрації навантажень кожної частини, за розташуванням центрів концентрації навантажень визначають пункти поділу розподільної мережі на дві або на декілька рівновеликих частин за потужністю навантажень, а у пунктах поділу розподільної мережі встановлюють пристрої для симетричного зміщення фаз трифазної системи напруг розподільчої мережі.

У центрі навантажень розташовують пристрій для взаємної компенсації струмів нульової послідовності перших та вищих гармонік, наприклад, за допомогою стабілізаторів фаз, зокрема, фільтрів струмів нульової послідовності.

Пристрій для взаємної компенсації струмів нульової послідовності перших та вищих гармонік розташовують у пунктах поділу розподільної мережі на дві або на декілька рівновеликих частин.

Пристрій для взаємної компенсації струмів нульової послідовності перших та вищих гармонік суміщають з пристроєм для симетричного зміщення фаз трифазної системи напруг і виконують його на основі стабілізатора фаз.

У нерозгалуженій розподільній мережі виділяють два центри навантажень, між якими визначають один пункт поділу навантажень мережі на дві рівновеликі (приблизно однакові) частини за встановленою потужністю, і в указаному пункті розміщують суміщений пристрій для взаємних компенсацій вищих гармонік струмів прямої, зворотної та нульової послідовностей, а також перших гармонік струмів зворотної та нульової послідовностей.

У нерозгалуженій розподільній мережі кільцевого типу виділяють два центри навантажень, між якими визначають один пункт поділу навантажень мережі на дві рівновеликі частини, у якому розміщують суміщений пристрій для взаємної компенсації струмів вищих гармонік прямої, зворотної та нульової послідовностей, а зсув фази системи трифазних напруг у пункті кільцювання узгоджують із системою напруг живлення другого трансформатора розподільної мережі.

В розгалуженій розподільній мережі яка містить магістральну частину та n радіальних частин, серед яких виділяють n_1 рівновеликих центрів навантажень ($n > n_1$), один центр розміщують в магістральній частині, а n_1 рівновеликих центрів розміщують в радіальних частинах, визначають один пункт поділу мережі на частини, розміщують його між магістральною та радіальними її частинами, причому у пункті поділу розміщують суміщений пристрій для взаємної компенсації струмів вищих гармонік прямої, зворотної та нульової послідовностей, а також перших гармонік струмів зворотної та нульової послідовностей.

До пристрою для зменшення несиметрії та вищих гармонік струмів та напруг розподільної мережі, який виконаний на основі стабілізатора фаз і містить послідовні з'єднання обмоток стабілізаторів фаз, обмотки яких ввімкнені за схемами зигзагу та піврогача, а також затискачі лінійних та нульової фаз входу та виходу пристрою, внесені три фазозміщуючі послідовні з'єднання обмоток, кожне з яких містить три обмотки з двома крайніми виводами, та три електромагнітні подільники напруг, кожен один з яких містить два крайні та одним проміжний

виводи, між кожним крайнім та проміжним виводом електромагнітного подільника ввімкнене послідовне з'єднання двох обмоток, причому перше та друге послідовні з'єднання двох обмоток подільника виконані у вигляді двох послідовно ввімкнених обмоток зигзагу, два послідовні з'єднання обмоток подільника приєднані однойменними виводами до проміжного виводу подільника, перший крайній вивід першого послідовного з'єднання двох обмоток подільника приєднаний до затискача лінійної фази входу, другий крайній вивід другого послідовного з'єднання двох обмоток подільника приєднаний до затискачів нульових фаз входу та виходу пристрою, кожне фазозмішуюче послідовне з'єднання обмоток, яке виконане у вигляді послідовного з'єднання обмоток рівнобічного або нерівнобічного піврогача, приєднане одним крайнім виводом до затискача лінійної фази виходу пристрою, а другий крайній вивід фазозмішуючого послідовного з'єднання обмоток приєднаний до проміжного виводу подільника напруг.

Вектори фазозміщеної системи напруг виходу пристрою випереджають вектори трифазної системи напруг входу пристрою на кут $+30^\circ$ ($+\pi/6$) або на кут -30° ($-\pi/6$).

До пристрою внесені три додаткові фазозмішуючі послідовні з'єднання трьох обмоток з двома крайніми виводами та додаткові чотири затискачі лінійних та нульової фаз додаткового виходу, кожне з шести фазозмішуючих послідовних з'єднань обмоток виконане у вигляді послідовного з'єднання обмоток нерівнобічного піврогача, кожен перший крайній вивід додаткового фазозмішуючого послідовного з'єднання трьох обмоток приєднаний по одному до затискача лінійної фази додаткового виходу, а кожен другий крайній вивід додаткового фазозмішуючого послідовного з'єднання трьох обмоток по одному приєднаний до проміжного виводу подільника напруг, а затискач нульової фази додаткового виходу приєднаний до затискача нульової фази входу.

Три вектори систем трифазних напруг першого виходу пристрою випереджають вектори системи трифазних напруг входу на кут $+20^\circ$ ($+2\pi/9$), а три вектори систем трифазних напруг додаткового виходу пристрою відстають від векторів системи трифазних напруг входу на кут мінус 20° ($-2\pi/9$).

До пристрою внесені $3 \cdot (n_{\text{ф}} - 1)$ фазозмішуючих послідовних з'єднань трьох обмоток з двома крайніми виводами та $4 \cdot (n_{\text{ф}} - 1)$ затискачів додаткових лінійних та нульової фаз, які утворюють $n_{\text{ф}} - 1$ додаткових трифазних виходів, кожен один перший крайній вивід фазозмішуючого послідовного з'єднання приєднаний по одному до додаткового затискача лінійної фази трифазного виходу пристрою, а кожен один другий крайній вивід додаткового фазозмішуючого послідовного з'єднання трьох обмоток приєднаний по одному до проміжного виводу подільника, а затискач нульової фази додаткового виходу приєднаний до затискача нульової фази входу.

Для пояснення суті винаходу на фіг. 1 - фіг. 7 дані відповідні креслення.

На фіг. 1 подана однолінійна блок-схема електропостачання нелінійних електроприймачів за допомогою поділу нерозгалуженої розподільної мережі на дві частини і зміщення векторів напруг лінійних фаз трифазної системи другої частини на кут 30° .

На фіг. 1а показаний варіант виконання простого електромагнітного змішувача фаз системи трифазних напруг.

На фіг. 2 подана однолінійна блок-схема електропостачання нелінійних електроприймачів за допомогою поділу розгалуженої розподільної мережі на три частини і зміщення векторів напруг лінійних фаз трифазної системи другої та третьої частин мережі на кути $+20^\circ$ та -20° відповідно.

На фіг. 3 дана блок-схема з'єднання двох частин розподільної мережі за допомогою змішувача фаз.

На фіг. 4 дана блок-схема з'єднання трьох частин розподільної мережі за допомогою змішувача фаз.

На фіг. 5 показане топографічне зображення принципової схеми стабілізатора фаз, суміщеного зі змішувачем фаз та електромагнітним подільником для узгодження режимів роботи першої та другої частин нерозгалуженої розподільної мережі.

На фіг. 6 показане топографічне зображення принципової схеми стабілізатора фаз, суміщеного з двома змішувачами фаз та електромагнітним подільником для узгодження режимів роботи першої, другої та третьої частин розгалуженої розподільної мережі.

На фіг. 7 поданий варіант виконання конструкції котушки стабілізатора фаз, суміщеного зі змішувачем фаз та електромагнітним подільником.

На фіг. 1 позначені: 1 - трифазна високовольтна мережа, наприклад, 10 кВ; 2 - трансформатор розподільної мережі; 3 - перша частина нерозгалуженої розподільної мережі; 4, 10, 13, 17 - нелінійні електроприймачі типу комп'ютера; 5, 11, 14, 18 - нелінійні електроприймачі типу двигуна, який живиться від трифазної мережі через перетворювач частоти; 6, 12, 16, 19 - нелінійні електроприймачі типу світлодіодних ламп освітлювання; 8 - стабілізатор фаз,

суміщений із зміщувачем фаз та електромагнітним подільником; 7 - маркування проводів входу стабілізатора фаз 8, приєднаного до першої частини 3 розподільної мережі; 9 - маркування проводів виходу стабілізатора фаз 8, приєднаного до другої частини 20 розподільної мережі; 15 - стабілізатор фаз, зокрема фільтр струмів нульової послідовності. При встановленні центрів концентрації навантажень цифрами 4-14, 16-19 можуть позначатися окремі підприємства розподільної мережі.

На фіг. 1а позначені: A1, B1, C1, 0 - затискачі входу зміщувача фаз відповідно до маркування 7 (фіг. 1); A2, B2, C2, 0 - затискачі виходу зміщувача фаз відповідно до маркування 9 (фіг. 1); 3Ф - топографічне зображення простого варіанту виконання зміщувача фаз системи трифазних напруг.

На фіг. 2 позначені: 21, 32, 41 - перша, друга та третя частини розгалуженої розподільної мережі; 22-28, 33-39, 42-48 - пункти приєднання нелінійних електроприймачів до розподільної мережі; 30 - стабілізатор фаз, суміщений з двома зміщувачами фаз трифазних систем напруг та електромагнітним подільником; 29, 31 та 40 - маркування (позначення) затискачів входу, а також першого та другого виходу стабілізатора фаз 30, суміщеного із двома зміщувачами фаз та електромагнітним подільником; 0 - позначення проводу нульової фази мережі, з'єднаного з нейтраллю трансформатора та контуром заземлення. Решта позначень фіг. 2 співпадають з позначеннями фіг. 1. При встановленні центрів концентрації навантажень цифрами 22-28, 33-39 та 42-48 можуть позначатися окремі підприємства.

На фіг. 3 позначені: A1, B1, C1, 0 та A2, B2, C2, 0 - затискачі вхідних та вихідних лінійних та нульової фаз стабілізатора фаз, суміщеного зі зміщувачем фаз та електромагнітним подільником; 8 - стабілізатор фаз, суміщений зі зміщувачем фаз та електромагнітним подільником; 10 - одиночний фідер. Решта позначень фіг. 3 співпадають з позначеннями фіг. 1.

На фіг. 4а позначені: A1, B1, C1, 0 - затискачі лінійних та нульової фаз входу стабілізатора фаз; A2, B2, C2, 0 та A3, B3, C3, 0 - затискачі лінійних та нульової фаз першого та другого виходів стабілізатора фаз; 30 - стабілізатор фаз, суміщений із двома зміщувачами фаз та електромагнітним подільником; 21 - вхідний фідер кінця першої частини розподільної мережі; 29, 31 та 40 - маркери проводів одного входу та двох виходів стабілізатора фаз 30; 32 та 41 - фідери, які живлять другу та третю частини розподільної мережі.

На фіг. 5 позначені: +1 та +j - осі комплексної системи координат топографічного зображення принципової схеми стабілізатора фаз, суміщеного із зміщувачем фаз трифазної системи напруг; 49 та 50 - обмотки першої частини першого електромагнітного подільника, які розташовані на другому та першому стрижнях магнітопроводу і з'єднані однойменними виводами за схемою третини зигзагу відповідно; 52 та 53 - обмотки другої частини електромагнітного подільника, які розташовані на другому та першому стрижнях магнітопроводу і з'єднані однойменними виводами за схемою третини зигзагу; 51, 68 та 69 - обмотки фазозміщуючого послідовного з'єднання обмоток рівнобічного піврогача, які розміщені на першому, другому та третьому стрижнях магнітопроводу відповідно; 56 та 57 - обмотки першої частини другого електромагнітного подільника, які розташовані на третьому та другому стрижнях магнітопроводу і з'єднані однойменними виводами за схемою третини зигзагу відповідно; 59 та 60 - обмотки другої частини другого електромагнітного подільника, які розташовані на третьому та другому стрижнях магнітопроводу і з'єднані однойменними виводами за схемою третини зигзагу; 54, 55 та 58 - обмотки другого фазозміщуючого послідовного з'єднання обмоток другого рівнобічного піврогача, розміщені на першому, другому та третьому стрижнях магнітопроводу; 63 та 64 - обмотки першої частини третього електромагнітного подільника, які розташовані на першому та третьому стрижнях магнітопроводу і з'єднані однойменними виводами за схемою третини зигзагу відповідно; 66 та 67 - обмотки другої частини третього електромагнітного подільника, які розташовані на першому та третьому стрижнях магнітопроводу і з'єднані однойменними виводами за схемою третини зигзагу; 61, 62 та 65 - обмотки третього фазозміщуючого послідовного з'єднання обмоток рівнобічного піврогача, розміщені на першому, другому та третьому стрижнях магнітопроводу відповідно; A1, B1, C1, 0 та A2, B2, C2, 0 - вхідні та вихідні затискачі лінійних та нульової фаз входу та виходу стабілізатора фаз; "+30°" - кут зсуву вихідної трифазної системи напруг по фазі порівняно з вхідною трифазною системою напруг.

На фіг. 6 позначені: 70-а, 70-б, 71 та 79 - варіант виконання третього фазозміщуючого послідовного з'єднання; 74, 75 та 78 - варіант виконання четвертого фазозміщуючого послідовного з'єднання; 72 та 73 - перша частина другого електромагнітного подільника; 76 та 77 - друга частина другого електромагнітного подільника; A1, B1, C1, 0 - затискачі вхідних лінійних та нульової фаз входу; A2, B2, C2, 0 та A3, B3, C3, 0 - затискачі лінійних та нульової фаз першого та другого виходу стабілізатора фаз; "+20°" - кут зсуву вихідної трифазної системи

напруг (A2, B2, C2, 0) по фазі першого виходу порівняно з вхідною трифазною системою напруг (A1, B1, C1, 0); "-20°" - кут зсуву другої вихідної трифазної системи напруг (A3, B3, C3, 0) по фазі другого виходу порівняно із вхідною трифазною системою напруг (A1, B1, C1, 0).

На фіг. 7 позначені: 80 - тристрижневий магнітопровід; 81, 82, 83 - перший, другий та третій стрижні магнітопроводу; 84, 85, 86 - котушки, які розміщені на першому, другому та третьому стрижнях магнітопроводу; 54, 55, 58 - позначення обмоток другого рівнобічного піврогача, показаного на фіг. 5; 56 та 57 - позначення обмоток першої частини другого електромагнітного подільника, показаного на фіг. 5; 59 та 60 - позначення обмоток другої частини другого електромагнітного подільника, показаного на фіг. 5.

Операції способу зменшення несиметрії та несинусоїдності струмів та напруг у розподільній мережі.

Поділ навантажень на рівновеликі частини використовується фірмами Power Smits, Power AC, Mirus, Delta Transformer, Hammond Power Solution [18]. Операція полягає у формуванні двох груп навантажень для двох фідерів, фази векторів напруг яких зсунуті на кут 30°. Подібний зсув необхідний для компенсації вищих гармонік симетричних складових струмів прямої та зворотної послідовностей. Але необхідно умовою такої компенсації вищих гармонік є живлення двох рівних навантажень від двох фідерів, які паралельно приєднані або до двох трансформаторів одинадцятої та нульової груп з'єднання обмоток, або до одного автотрансформатора з двома виходами фідерів з кутом зсуву фаз систем трифазних напруг на 30°. Вказана умова компенсації вищих гармонік поширюється:

- на малу кількість нелінійних моторних навантажень з регульованою частотою обертання;
- на групи однакових навантажень, які живляться від одного розподільного пункту;
- тільки на групи однакових навантажень, які повинні включатись одночасно;
- тільки на групи однакових навантажень, потужності яких змінюються синхронно під час

виконання технологічного процесу.

Звідси випливає висновок про обмежене застосування існуючого способу зменшення несиметрії та несинусоїдності струмів у розподільній мережі, який не може бути широко впроваджений в розподільних мережах. Потенційні можливості застосування відомого способу за нашими оцінками не перевищують 0,2-0,3 % від необхідного об'єму застосування.

Запропонований спосіб включає такі операції:

- навантаження приймачів розподільної мережі поділяють приблизно на рівні (рівновеликі) частини з врахуванням виду розгалуженості розподільної мережі шляхом виділення центрів концентрації навантажень кожної частини;

- за розташуванням центрів концентрації навантажень визначають пункти поділу розподільної мережі на дві або на декілька рівновеликих частин за потужністю навантажень приймачів;

- у пунктах поділу розподільної мережі на частини встановлюють пристрої для симетричного зміщення фаз частин трифазної системи напруг розподільної мережі;

- зміщують фази трифазної системи напруг однієї або декількох частин приймачів розподільної мережі відносно до системи трифазних напруг трансформатора розподільної мережі;

- взаємно компенсують вищі гармоніки струмів прямої та зворотної послідовностей;
- взаємно компенсують струми зворотної та нульової послідовностей основної частоти;
- взаємно компенсують вищі гармоніки струмів нульової послідовності.

Розглянемо ці операції більш детально (фіг. 1). Перш за все вкажемо, що запатентований спосіб поширюється на всю розподільну мережу, тобто охоплює всі нелінійні та несиметричні приймачі електричної енергії, позначені цифрами 4-6, 10-14 та 16-19. Як зазначалось раніше, при встановленні центрів концентрації навантажень цифрами 4-6, 10-14 та 16-19 можуть позначатися окремі підприємства. За першою операцією способу навантаження приймачів розподільної мережі поділяють наближено на рівновеликі частини з врахуванням виду розгалуженості розподільної мережі шляхом виділення центрів концентрації навантажень кожної частини. Перед цією операцією об'єкти 7-9 та 15 відсутні. При розгляді концентрації навантажень у першому наближенні приймемо (фіг. 1): лінія (3 та 20) мережі не є розгалуженою; перший центр концентрації навантажень знаходиться поблизу приєднання підприємства 5, а другий центр концентрації навантажень знаходиться поблизу приєднання підприємства 11. В центрах концентрації навантажень, зокрема несиметричних встановлюють пристрої 15 для взаємної компенсації симетричних складових струмів нульової послідовності, наприклад, у пункті поблизу підприємства 5. Виділення центрів концентрації навантажень стосується як нерозгалужених сільських, так і розгалужених міських розподільчих мереж, включаючи мережі висотних будинків і ділові споруди державних та комерційних установ. Більш точне виділення

центрів концентрації навантажень проводиться з врахуванням добового та сезонного графіка навантажень мережі. З метою одержання об'єктивних даних такі графіки одержують шляхом вимірювання потужності, енергії та параметрів якості електричної енергії відповідно до діючих міжнародних стандартів.

Встановлення центрів концентрації навантажень розподільної мережі дозволяє кваліфіковано поділити трасу мережі в загальному випадку розгалуженої розподільної мережі за потужністю на дві або декілька рівновеликих частин за потужністю з врахуванням обліку споживання добової, місячної та/або річної енергії. При поділі лінії мережі на частини також враховуються: карта пролягання траси, добові максимуми та мінімуми навантаження частин мережі, перспективи розвитку мережі та ступінь насичення нелінійними та несиметричними навантаженнями. Поділ лінії мережі на частини закінчується встановленням оптимальних меж цих частин та визначенням пунктів поділу мережі на частини. Для блок-схеми фіг. 1 пункт поділу мережі на дві частини є пункт маркування 7.

У пунктах поділу розподільної мережі на частини встановлюють пристрої 8 (фіг. 1) та 30 (фіг. 2) для симетричного зміщення фаз трифазної системи напруг частин розподільної мережі. На фіг. 1а показаний найпростіший варіант такого зміщувача лінійних фаз, але через значну встановлену потужність такий зміщувач рідко використовується. Як правило, першу частину мережі розміщують між трансформатором 2 розподільної мережі та пунктом 29 розгалуження мережі на декілька частин (фіг. 2). В нерозгалужених мережах її поділяють на дві рівновеликі частини. У вказаних пунктах поділу встановлюють пристрій 8 (фіг. 1) зсуву фаз напруг трифазної системи на кут у межах від 5° до 30° . Величина цього кута залежить від кількості частин поділу розподільної мережі. При більшій кількості частин мережі (фіг. 2) величина кута зсуву зменшується. Одночасно із зменшенням цього кута зростає кількість фідерів, кожен з яких живить окрему частину мережі. Збільшення кількості частин мережі приводить до більшого зменшення струмів вищих гармонік, до кращого симетрування режиму та до зменшення струмів трансформатора розподільної мережі. Але одночасно з цим збільшується складність виконання засобу зсуву фази напруг трифазних систем: фазозсуваючого послідовного з'єднання обмоток електромагнітного подільника, стабілізатора фаз, зокрема фільтра струмів нульової послідовності. Тому при застосуванні способу розглядають декілька варіантів реалізації і вибирають оптимальний.

Найбільш оптимальним є варіант суміщення стабілізатора фаз, наприклад фільтра струмів нульової послідовності з електромагнітним подільником напруги та фазозсуваючим послідовним з'єднанням обмоток. Спосіб приєднання такого суміщеного стабілізатора фаз до обох частин мережі показаний на фіг. 3. Отже у пункті поділу лінію мережі поділяють на дві частини. До входу зміщувача фаз 8 приєднаний вихід першої частини мережі A1, B1, C1, 0, а вихід зміщувача фаз 8 приєднаний до входу другої частини мережі A2, B2, C2, 0 у пункті маркування проводів 9. Вихід зміщувача фаз 8 з'єднано з другою частиною мережі через фідер 20.

На фіг. 2 та фіг. 4 подано варіант способу зменшення несинусоїдності та несиметрії струмів в розгалужених розподільних мережах. Розгалужена лінія мережі 21, 32 та 41 поділена за навантаженнями на три рівновеликі частини. Центр концентрації навантажень першої частини мережі знаходиться поблизу приєднання підприємства 23; центр концентрації навантажень другої частини мережі знаходиться поблизу пункту приєднання підприємства 34, а центр концентрації навантажень третьої частини мережі знаходиться поблизу пункту приєднання підприємства 46 (фіг. 2). Поділ мережі на частини відбувся поблизу пункту 29 маркування проводів. За цим варіантом до затискачів входу фазозміщувача 30, суміщеного із стабілізатором фаз, приєднаний вихід першої частини лінії мережі з проводами A1, B1, C1, 0. До першого виходу фазозміщувача 30, суміщеного із стабілізатором фаз, через затискачі A2, B2, C2, 0 приєднаний перший вхід другої частини лінії мережі, а через затискачі A3, B3, C3, 0 фазозміщувач 30, суміщений із стабілізатором фаз, приєднаний до другого входу третьої частини лінії мережі. Порядок приєднання зміщувача фаз 30, суміщеного із стабілізатором фаз, між першою 21 (фази A1, B1, C1, 0), другою 31 (фази A2, B2, C2, 0) та третьою 40 (фази A3, B3, C3, 0) частинами розподільної мережі показаний на фіг. 4. Виходи 31 та 40 суміщеного зміщувача фаз 30 приєднані до фідерів 32 та 41, які живлять електроприймачі другої та третьої частин розподільної мережі.

Причиною виникнення несиметрії напруг основної частоти або напруг вищих гармонік є імпульсні струми навантажень споживачів. За даним способом виконується взаємна компенсація шкідливих складових струмів основної частоти та струмів вищих гармонік. Тому, усунувши шкідливі складові струмів, досягають зменшення несиметрії напруг основної частоти або напруг вищих гармонік.

За одним із варіантів у центрі навантажень розташовують пристрій для взаємної компенсації струмів нульової послідовності перших та вищих гармонік, наприклад, з допомогою стабілізаторів фаз, зокрема з допомогою фільтрів струмів нульової послідовності. За другим із варіантів пристрій для взаємної компенсації струмів нульової послідовності перших та вищих гармонік розташовують у пунктах поділу розподільної мережі на дві або на декілька рівновеликих частин. За третім із варіантів пристрої для взаємної компенсації струмів нульової послідовності перших та вищих гармонік суміщають з пристроєм для симетричного зміщення фаз трифазної системи напруг і виконують його на основі стабілізатора фаз. За четвертим варіантом в нерозгалуженій розподільній мережі виділяють два центри навантажень, між якими визначають один пункт поділу навантажень мережі на дві рівновеликі (приблизно однакові) частини за встановленою потужністю, і в указаному пункті розміщують суміщений пристрій для взаємних компенсацій вищих гармонік струмів прямої, зворотної та нульової послідовностей, а також перших гармонік струмів зворотної та нульової послідовностей. У п'ятому варіанті в нерозгалуженій розподільчій мережі кільцевого типу виділяють два центри навантажень, між якими визначають один пункт поділу навантажень мережі на дві рівновеликі частини, у якому розміщують суміщений пристрій для взаємної компенсації струмів вищих гармонік прямої, зворотної та нульової послідовностей, а також перших гармонік струмів зворотної та нульової послідовностей, а зсув фази системи трифазних напруг у пункті кільцювання узгоджують із системою напруг живлення другого трансформатора розподільної мережі. В шостому варіанті в розгалуженій розподільній мережі, яка містить магістральну частину та n радіальних частин, серед яких виділяють n_i рівновеликих центрів навантажень ($n \geq n_i$), один центр розміщують в магістральній частині, а n_i рівновеликих центрів розміщують в радіальних частинах, визначають один пункт поділу мережі на частини, розміщують його між магістральною та радіальними n_i частинами, причому у пункті поділу розміщують суміщений пристрій для взаємної компенсації струмів вищих гармонік прямої, зворотної та нульової послідовностей, а також перших гармонік струмів зворотної та нульової послідовностей.

Склад і будова пристрою для зменшення несиметрії та вищих гармонік струмів та напруг у розподільній мережі. Суміщений пристрій (фіг. 5) містить дев'ять стабілізаторів фаз, розміщених по три на кожну фазу живлення, і затискачі лінійних та нульової фаз. У плані структури пристрій містить: три фазозміщуючі послідовні з'єднання обмоток (по одному на кожну фазу живлення), три перші частини (плечі) електромагнітного подільника (по одній на кожну фазу живлення) та три другі частини (плечі) електромагнітного подільника (по одній на кожну фазу живлення).

У фазі А1 живильної мережі містяться три стабілізатори фаз: перший із них виконує функцію фазозміщуючого послідовного з'єднання обмоток і утворений трьома обмотками 51, 68, 69, які ввімкнені за схемою рівнобічний піврогач; другий із них виконує функцію першої частини (плеча) електромагнітного подільника і утворений двома обмотками 49 та 50, ввімкненими за схемою третини зигзагу; третій стабілізатор фаз виконує функцію другої частини (плеча) електромагнітного подільника і утворений двома обмотками 52 та 53, ввімкненими за схемою третини зигзагу.

У фазі В1 живильної мережі містяться три стабілізатори фаз: перший із них виконує функцію фазозміщуючого послідовного з'єднання обмоток і утворений трьома обмотками 54, 55, 58, які ввімкнені за схемою рівнобічний піврогач; другий із них виконує функцію першої частини (плеча) електромагнітного подільника і утворений двома обмотками 56 та 57, ввімкненими за схемою третини зигзагу; третій стабілізатор фаз виконує функцію другої частини (плеча) електромагнітного подільника і утворений двома обмотками 59 та 60, ввімкненими за схемою третини зигзагу.

У фазі С1 живильної мережі містяться також три стабілізатори фаз: перший із них виконує функцію фазозміщуючого послідовного з'єднання обмоток і утворений трьома обмотками 61, 62, 65, які ввімкнені за схемою рівнобічний піврогач; другий із них виконує функцію першої частини (плеча) електромагнітного подільника і утворений двома обмотками 63 та 64, ввімкненими за схемою третини зигзагу; третій стабілізатор фаз виконує функцію другої частини (плеча) електромагнітного подільника і утворений двома обмотками 66 та 67, ввімкненими за схемою третини зигзагу.

Обмотки 52, 53, 59, 60, 66 та 67 ввімкнені за схемою повний зигзаг, а обмотки 49, 50, 56, 57, 63 та 64 ввімкнені у гальванічно розімкнений, але електромагнітно зв'язаний зигзаг.

Вхідні затискачі лінійних фаз А1, В1, С1 і вхідний затискач нульової фази 0 пристрою приєднані до першої частини мережі 7 (фіг. 1 та фіг. 3). Вихідні затискачі лінійних фаз А2, В2, С2 і вихідний затискач нульової фази 0 пристрою приєднані до входу другої частини мережі 9 (фіг. 1 та фіг. 3).

Аналогічно влаштований пристрій для зменшення несиметрії та вищих гармонік струмів та напруг у розподільній мережі, показаний на фіг. 6. Пристрій має один трифазний вхід (затискачі A1, B1, C1, 0) та два трифазні виходи (затискачі A2, B2, C2, 0 та A3, B3, C3, 0). Суміщений пристрій (фіг. 6) містить дванадцять стабілізаторів фаз, розміщених по чотири на кожен фазу живлення, а також затискачі лінійних та нульової фаз. У плані структури пристрій містить: шість фазозміщуючих послідовних з'єднань обмоток (по два на кожен фазу живлення), три перші частини (плечі) електромагнітного подільника (по одній на кожен фазу живлення) та три другі частини (плечі) електромагнітного подільника (по одній на кожен фазу живлення). Так, у фазі B1 живильної мережі містяться чотири стабілізатори фаз:

- перший із них виконує функцію першого фазозміщуючого послідовного з'єднання обмоток і утворений чотирма обмотками 70-а, 70-б, 71 та 79, які ввімкнені за схемою рівнобічний піврогач;
- другий стабілізатор фаз виконує функцію другого фазозміщуючого послідовного з'єднання обмоток і утворений трьома обмотками 74, 75 та 78, які ввімкнені за схемою рівнобічний піврогач;

- третій стабілізатор фаз виконує функцію першої частини (плеча) електромагнітного подільника і утворений двома обмотками 72 та 73, ввімкненими за схемою третини зіг'ягу;

- четвертий стабілізатор фаз виконує функцію другої частини (плеча) електромагнітного подільника і утворений двома обмотками 76 та 77, ввімкненими за схемою третини зіг'ягу.

Особливістю схеми топографічного зображення пристрою фіг. 6 є багатоваріантність виконання. У фазах A2, A3, B2, B3, C2, C3 показані різні варіанти одного і того ж стабілізатора фаз, який виконує функцію фазозміщуючого послідовного з'єднання обмоток. Подібні варіанти, які полягають у перестановці обмоток послідовного з'єднання, можна було б привести для стабілізаторів фаз частин подільника, виконаних за схемою третин зіг'ягу. У фазоперетворювальній техніці, зокрема, у заявленому пристрої подібні варіанти мають велике значення, оскільки істотно впливають на ізоляцію обмоток та на конструкцію котушок.

Далі розглянемо конструкцію котушки та спосіб укладки обмоточних проводів у котушку (фіг. 7). Кількість котушок пристрою дорівнює кількості стрижнів магнітопроводу. При безкаркасному виконанні котушки першими укладаються обмотки, які мають менший потенціал відносно потенціалу землі. Один з варіантів конструкції котушки пристрою показаний на фіг. 7. Котушки 84-86 розташовані по одній на стрижнях 81-83 магнітопроводу 80. Котушки 84-86 показані у перерізі. Кожна котушка містить 7 (фіг. 5) або 10 (фіг. 6) обмоток. Кожна з котушок 84-86, показаних на фіг. 7, містить сім обмоток, позначених числами 54-60.

У варіанті конструкції котушки, показаному на фіг. 7, проводи або групи проводів обмоток для наочності зображені фігурами, близькими до кола. Так, поперечний переріз проводів обмотки 54 показаний у вигляді сонечка, а поперечний переріз проводів обмотки 60 показаний у вигляді кола (фіг. 5). Щільність укладки проводів тієї чи іншої обмотки можна оцінити частотою появи та ступеню переміжності (почерговості) однакових фігур проводів. Так, у найближчому до стрижня 81 шарі провідників котушки 84 поперечні перерізи проводів двох обмоток зображені колом (обмотка 60) та шестикутником (обмотка 59). Отже у найближчому шарі проводи або групи проводів обмоток 59 та 60 перемежаються між собою з постійною циклічністю. У середньому шарі котушки 84 обмотки 56 (фігура обличчя) та 57 (фігура десятикутня зірка) також перемежаються між собою з постійною циклічністю. У зовнішньому шарі котушки 84 розміщені провідники трьох обмоток 54, 55 та 58 (фіг. 5) з рідшою переміжністю порівняно з провідниками різних обмоток внутрішнього та середнього шару. Варіант конструкції котушки 84 повторюється у котушках 85 та 86. Розглянутий варіант має ілюстраційний характер і не претендує на застосування. У цій конструкції закладено декілька основних принципів побудови котушки обмоток пристрою.

Найбільш універсальним пристроєм для взаємної компенсації вищих гармонік та несиметрії є пристрій, до якого внесені $3 \cdot (n_f - 1)$ фазозміщуючих послідовних з'єднань трьох обмоток з двома крайніми виводами та $4 \cdot (n_f - 1)$ затискачів додаткових лінійних та нульової фаз, які утворюють $n_f - 1$ додаткових трифазних виходів, кожен один перший крайній вивід фазозміщуючого послідовного з'єднання приєднаний по одному до додаткового затискача лінійної фази трифазного виходу пристрою, а кожен один другий крайній вивід додаткового фазозміщуючого послідовного з'єднання трьох обмоток приєднаний по одному до проміжного виводу подільника, а затискач нульової фази додаткового виходу приєднаний до затискача нульової фази входу.

Робота пристрою для зменшення несиметрії та несинусоїдності струмів та напруг у розподільній мережі.

Користь від використання пристрою для зменшення несиметрії та вищих гармонік струмів та напруг у розподільній мережі полягає у компенсації вищих гармонік струмів прямої, зворотної та

нульової послідовностей, генерованих всіма нелінійними та несиметричними електроприймачами розподільної мережі, що досягнуте вперше. Раніше за допомогою відомих пристроїв виконувалась подібна компенсація для двох або трьох нелінійних паралельно ввімкнених двигунів, які живляться від розподільної мережі через трифазні інвертори частоти.

Робота пристрою полягає у наступному. Енергія трифазної системи напруг подається із високовольтної мережі 1 і через трансформатор 2 надходить у розподільну мережу (3 та 20, фіг. 1) Найбільш економним варіантом передачі енергії від джерела до споживача є передача тільки за допомогою симетричних складових напруг та струмів прямої послідовності першої (основної) гармоніки. При цьому режим споживання електричної енергії має бути симетричним та синусоїдним, отже економічним.

Але у наш побут та виробництво увірвались несиметричні та нелінійні приймачі, які генерують симетричні складові зворотної та нульової послідовностей основних та вищих гармонік, а також симетричні складові прямої послідовності вищих гармонік. Вказані складові не тільки не переносять корисну енергію, а спричиняють значні втрати електричної енергії та погіршення якості електричних напруг та енергії. Все це приводить до виникнення несиметричних та несинусоїдних режимів, які загрожують колапсу трифазної системи електропередачі.

Даний спосіб та пристрій дає можливість компенсувати несиметрію та вищі гармоніки струмів розподільної мережі, покращити режим передачі енергії високовольтними мережами та покращити якість енергії на затискачах споживачів. Основною особливістю способу та пристрою, заявлених у даному патенті, є застосування пристрою до всіх електроприймачів, приєднаних до розподільної мережі.

Розподіл всієї розподільної мережі на два або декілька частин дає можливість змістити моменти максимумів у загальному випадку імпульсного навантаження і тим взаємно компенсувати у розподільній мережі:

- вищі гармоніки струмів прямої, зворотної та нульової послідовностей;
- симетричні складові струмів зворотної та нульової послідовностей основної частоти;
- несиметрію струмів та напруг основної частоти;
- усунути несинусоїдність форми кривої напруг.

Ці позитивні якості способу та пристрою виконуються при умовах рознесення по часу моментів максимумів імпульсних струмів навантажень. З цією метою навантаження розподільної мережі поділяють на приблизно рівні частини з врахуванням виду розгалуженості розподільної мережі шляхом виділення центрів концентрації навантажень кожної частини. За розташуванням центрів концентрації навантажень визначають пункти поділу розподільної мережі на дві або на декілька рівновеликих частин за потужністю навантажень. У пунктах поділу розподільної мережі встановлюють пристрої для симетричного зміщення фаз трифазної системи напруг розподільної мережі. Зміщення фаз трифазної системи напруг кожної частини навантажень приводить до рознесення по часу моментів максимумів імпульсних струмів навантажень.

Компенсація несиметрії струмів основної частоти та струмів вищих гармонік має місце при умовах:

1. Кожна частина розподільної мережі повинна викликати однакові потужності P або однакові струми I k -х гармонік у розподільній мережі, наприклад, на затискачах фаз A_1, A_2, A_3, \dots , і т. і., де k - порядковий номер гармонік струму. У пристроях при поділі розподільної мережі навпіл за потужністю або струмами наближено виконуються рівності (1), (2):

$$P(k, A_1) \approx P(k, A_2) \quad (1),$$

$$I(k-1, A_1) \approx I(k-1, A_2) \quad (2).$$

У пристроях при поділі розподільної мережі на три частини за потужністю або струмами наближено виконуються рівності (3), (4):

$$P(k, A_1) = P(k, A_2) \approx P(k, A_3) \quad (3),$$

$$I(k, A_1) = I(k, A_2) \approx I(k, A_3) \quad (4).$$

2. Для компенсації симетричних складових прямої послідовності струмів вищих гармонік у пристроях при поділі розподільної мережі на рівновеликі частини за потужністю або струмами має бути дотримана умова (5):

$$(k-1) \cdot \alpha = G \cdot \pi \quad (5),$$

де: G - ціле довільне непарне число; α - фазний кут зсуву напруг трифазної системи. У варіанті пристрою, показаному на фіг. 5, $\alpha = +30^\circ$ або -30° ; а у варіанті пристрою, показаному на

фіг. 6, $\alpha = +20^\circ$ та -20° .
3. Для компенсації симетричних складових зворотної послідовності струмів вищих гармонік у пристроях при поділі розподільної мережі на рівновеликі частини за потужністю або струмами має бути дотримана умова (6):

$$(k+1) \cdot \alpha = G \cdot \pi \quad (6).$$

4. Для компенсації симетричних складових нульової послідовності струмів вищих гармонік у пристроях при поділі розподільної мережі на рівновеликі частини за потужністю або струмами має бути дотримана умова (7):

$$K_{кр} = 1 + Z_o(\pi) / Z_n(\pi) \quad (7),$$

де: $K_{кр}$ - коефіцієнт кратності взаємної компенсації струмів нульової послідовності вищих гармонік; $Z_o(\pi)$ - опір нульової послідовності трансформатора розподільної мережі; $Z_o(\pi)$ - опір нульової послідовності пристрою (n) для зменшення несиметрії та вищих гармонік у трифазній мережі.

Нагадаємо, для компенсації вищих гармонік струму у розподільних мережах, поділених надвоє, кут $\alpha = 30^\circ$ (фіг. 5). Для компенсації вищих гармонік струму у розподільних мережах, поділених натроє, кут $\alpha = 20^\circ$ (фіг. 6). При збільшенні кількості частин поділу кут α зменшується.

Ефективність використання. Застосування цих умов дає можливість різко зменшити вищі гармоніки струмів та напруг прямої, зворотної та нульової послідовностей, а також зменшити симетричні складові струмів та напруг зворотної та нульової послідовностей основної гармоніки.

Ефективність застосування пристрою, показаного на фіг. 5, можна оцінити за даними таблиці 1, де наведені значення кратності компенсації (заглушення вищих гармонік струмів прямої, зворотної та нульової послідовностей з порядковим номером k при поділі розподільної мережі надвоє та виконанні пристрою за принциповою схемою фіг. 5. Через ймовірний характер появи кожної з вищих гармонік струму реальні кратності компенсації (заглушення) вищих гармонік можуть бути меншими або більшими від розрахункових.

Таблиця 1

| Номер k | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 |
|-----------------------|----------|----------|-------|----------|----|----|----------|-------|-------|----------|----|----|
| Кратність компенсації | ≥ 8 | ≥ 6 | > 5 | ≥ 5 | 1 | 1 | ≥ 5 | > 4 | > 3 | ≥ 4 | 1 | 1 |

Як вказувалось раніше, ефективність пристрою залежить від кількості частин, на які поділяють розподільну мережу і від кількості вихідних фідерів пристрою. У таблиці 2 наведені значення кратності компенсації вищих гармонік прямої, зворотної та нульової послідовностей з порядковим номером k для пристрою фіг. 6, який має два вихідні фідери зсуву фази напруг трифазної системи на кут $\alpha = 20^\circ$.

Таблиця 2

| Номер k | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 |
|-----------------------|-----------|----------|-------|----------|----------|-------|----------|----|----|----------|-------|-------|
| Кратність компенсації | ≥ 10 | ≥ 7 | > 5 | ≥ 7 | ≥ 5 | > 4 | ≥ 5 | 1 | 1 | ≥ 4 | > 3 | > 3 |

Порівняння даних таблиць 1 та 2 показує, що збільшення кількості частин поділу розподільної мережі дає можливість розширити кількісний склад компенсованих гармонік, особливо у нижньому діапазоні спектра.

Крім покращення спектрального складу форми напруг та струмів мережі і трансформатора запропоновані спосіб та пристрій дають можливість:

- зменшити втрати електричної енергії в розподільній мережі та її трансформаторі при K -факторі нелінійних приймачів у межах 4-50.

- нормалізувати режими електропостачання;

- збільшити термін служби побутового, промислового та спеціального устаткування;
 - уникнути перенапруг у трифазній мережі, які при фазному короткому замиканні досягають 40-70 %, і захистити від виходу з ладу практично всі електроприймачі розподільної мережі;
 - уникнути перенапруг у трифазній мережі, які при обриві нульової фази досягають 73 % і
 5 також виводять з ладу практично всі електроприймачі розподільної мережі;
 - істотно (на 20-30 %) збільшити пропускну здатність трифазної розподільної мережі та її трансформатора.

До числа переваг даного пристрою за фіг. 5 слід віднести меншу встановлену потужність, яка рівна 0,80. У пристроях, описаних в [18], встановлена потужність дорівнює 1,12. Позитивний
 10 ефект за встановленою потужністю складає 29 %. Це означає, що запропонований спосіб та пристрій при їх застосуванні забезпечують економію електротехнічної сталі та міді до 29 %. При застосуванні пристрою, виготовленого за фіг. 6, економія електротехнічної сталі та міді досягає 26 %.

Основний позитивний ефект від впровадження полягає в універсальності способу та
 15 пристрою і придатності його до використання у всіх відомих видах розподільних мереж: магістральних, кільцевих, радіальних та магістрально-радіальних тощо.

Галузь використання - розподільні мережі загального і спеціального користування: повітряні та кабельні розподільні мережі, розподільні мережі державних та ділових споруд, сільські та міські мережі, розподільні мережі металургічних комплексів, супермаркетів, автоматизованих
 20 комплексів, стадіонів, і т. ін.

Джерела інформації:

1. Compagnie Generale D'electricite de Crell. Systeme d'enroulement pour transformateurs et bobines a courant triphase: Патент Франції № 352129, XII.5, 1905.

2. Rudenberg R. Uber die Erzeugung reiner Sinusstrbme // Elektrotechnische zeitschrift (ETZ),
 25 S.252, 1904.

3. Патент Угорщини № 184986, H02M 7/02. Публікований 1987. Установка для випрямлення трифазної напруги з двома трансформаторами.

4. Zhou D., Guskov N.N., Skibinski G.L Twelve-phase transformer configuration: Патент США № 6,198,647. МПК H02M 5/06; публіковано 2001.

5. Электротехнический справочник. Т.1 / Под ред. Грудинского. - М., "Энергия", 1975. - С.381.

6. Музиченко Ю.О., Музиченко О.Д. Трансформатор розподільчої трифазної мережі: Патент України на винахід №44488: МПК H01F 30/12; публіковано 15.02.2002, Бюл. №2.

7. Menke W.W., Croft F.B., Nay J.J. Power distribution transformer for non-linear loads: Патент
 35 США № 5416458, МПК H01F 33/00; публіковано 16.05.1995.

8. Левин М.С. Анализ несимметричных режимов сельских сетей 0,38 кВ / Левин М.С, Лещинская Т.Б. // Электричество. - 1999.- № 5. - С. 18-22.

9. Трансформаторы типа ТМ, ТМГ со специальным встроенным симметрирующим устройством, Республика Беларусь [Электронный ресурс]. - Режим доступа:
 40 metz.by/publication/library//36.html.

10. Levin M.I. Phase shifting transformer or autotransformer: Patent USA No 5543771: H01F 33/00, 6.08.1996.

11. Levin M.I. Phase shifting transformer with low zero phase sequence impedance: Patent USA No 5801610: H01F 33/00, 1.08.1998.

12. Пентегов И.В. Устройства для подавления высших гармоник тока / Пентегов И.В., Волков И.В., Levin M.I. // Технічна електродинаміка. Проблеми сучасної електротехніки. - Частина 1. - Київ, 2002. - С. 13-22.

13. Музиченко Ю.О., Музиченко О.Д. Фільтр вищих гармонік струмів трифазної мережі (варіанти): Патент України на винахід № 74671: МПК H02M 1/12, H02M 7/53, H02H 7/08; публ.
 50 16.01.2006 Бюл. № 1.

14. Музиченко Ю.О., Музиченко О.Д. Фільтр струмів вищих гармонік трифазної мережі (варіанти). Патент України на винахід № 74703: МПК H01F 30/12; H02M 7/53, H02H 7/08; публ. 16.01.2006 Бюл. № 1.

15. Owen D.W. Transformer, system and method to control harmonic distortion: Patent USA, No 6169674: МПК H02M 5/10; H02M 7/17; 7/12; 5/02; 363/64 007/00; публ. 2.01.2001

16. Kammeter J.B. Harmonic cancellation system: Patent USA No 5343080: МПК H01F 27/38; 30/14; 27/34; H02J 3/01; 307/105; публ. 30.08.1994.

17. Kammeter J.B. Harmonic cancellation system: Patent USA No 5434455: МПК H02J 3/01; 307/105; публ. 30.08.1994.

18. Thibault Y., Boudrias J.-G., Broulette S., Pregent G. Field-adjustable phase shifting transformer: Патент США № 6930578: МПК H01F 30/12; публіковано 16.08.2005.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

5

1. Спосіб зменшення несиметрії та вищих гармонік струмів та напруг у розподільній мережі, який включає поділ навантажень мережі на дві або декілька рівновеликих частин за потужністю, а також включає зміщення фази трифазної системи напруг відносно до системи трифазних напруг трансформатора розподільної мережі, який **відрізняється** тим, що навантаження приймачів розподільної мережі поділяють на приблизно рівні частини з врахуванням виду розгалуженості розподільної мережі шляхом виділення центрів концентрації навантажень кожної частини, за розташуванням центрів концентрації навантажень визначають пункти поділу розподільної мережі на дві або на декілька рівновеликих частин за потужністю навантажень, а у пунктах поділу розподільної мережі встановлюють пристрої для симетричного зміщення фаз трифазної системи напруг розподільної мережі.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що в центрі навантажень розташовують пристрій для взаємної компенсації струмів нульової послідовності перших та вищих гармонік, наприклад, за допомогою стабілізаторів фаз, зокрема за допомогою фільтрів струмів нульової послідовності.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що пристрій для взаємної компенсації струмів нульової послідовності перших та вищих гармонік розташовують у пунктах поділу розподільної мережі на дві або на декілька рівновеликих частин.

4. Спосіб за пп. 1 та 3, який **відрізняється** тим, що пристрої для взаємної компенсації струмів нульової послідовності перших та вищих гармонік суміщають з пристроєм для симетричного зміщення фаз трифазної системи напруг і виконують його на основі стабілізатора фаз.

5. Спосіб за пп. 1, 3 та 4, який **відрізняється** тим, що в нерозгалуженій розподільній мережі виділяють два центри навантажень, між якими визначають один пункт поділу навантажень мережі на дві рівновеликі (приблизно однакові) частини за встановленою потужністю, і в указаному пункті розміщують суміщений пристрій для взаємних компенсацій вищих гармонік струмів прямої, зворотної та нульової послідовностей, а також перших гармонік струмів зворотної та нульової послідовностей.

6. Спосіб за пп. 1, 3 та 4, який **відрізняється** тим, що в нерозгалуженій розподільній мережі кільцевого типу виділяють два центри навантажень, між якими визначають один пункт поділу навантажень мережі на дві рівновеликі частини, у якому розміщують суміщений пристрій для взаємної компенсації струмів вищих гармонік прямої, зворотної та нульової послідовностей, а також перших гармонік струмів зворотної та нульової послідовностей, а зсув фази системи трифазних напруг у пункті кільцювання узгоджують із системою напруг живлення другого трансформатора розподільної мережі.

7. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що в розгалуженій розподільній мережі, яка містить магістральну частину та n радіальних частин, серед яких виділяють n_1 рівновеликих центрів навантажень ($n \geq n_1$), один центр розміщують в магістральній частині, а n_1 рівновеликих центрів розміщують в радіальних частинах, визначають один пункт поділу мережі на частини, розміщують його між магістральною та радіальними n_1 частинами, причому у пункті поділу розміщують суміщений пристрій для взаємної компенсації струмів вищих гармонік прямої, зворотної та нульової послідовностей, а також перших гармонік струмів зворотної та нульової послідовностей.

8. Пристрій для зменшення несиметрії та вищих гармонік струмів та напруг розподільної мережі, який виконаний на основі стабілізатора фаз і містить послідовні з'єднання обмоток стабілізаторів фаз, обмотки яких ввімкнені за схемами зигзагу та піврогача, а також затискачі лінійних та нульової фаз входу та виходу пристрою, який **відрізняється** тим, що до пристрою внесені три фазозміщуючі послідовні з'єднання обмоток, кожне з яких містить три обмотки з двома крайніми виводами та три електромагнітні подільники напруг, кожен один з яких містить два крайні та один проміжний виводи, між кожним крайнім та проміжним виводом електромагнітного подільника ввімкнене послідовне з'єднання двох обмоток, причому перше та друге послідовні з'єднання двох обмоток подільника виконані у вигляді двох послідовно ввімкнених обмоток зигзагу, два послідовні з'єднання обмоток подільника приєднані однойменними виводами до проміжного виводу подільника, перший крайній вивід першого послідовного з'єднання двох обмоток подільника приєднаний до затискача лінійної фази входу, другий крайній вивід другого послідовного з'єднання двох обмоток подільника приєднаний до

затискачів нульових фаз входу та виходу пристрою, кожне фазозмішуюче послідовне з'єднання обмоток, яке виконане у вигляді послідовного з'єднання обмоток рівнобічного або нерівнобічного піврогача, приєднане одним крайнім виводом до затискача лінійної фази виходу пристрою, а другий крайній вивід фазозмішуючого послідовного з'єднання обмоток приєднаний до проміжного виводу подільника напруг.

9. Пристрій за п. 8, який **відрізняється** тим, що вектори фазозміщеної системи напруг виходу пристрою випереджають вектори трифазної системи напруг входу пристрою на кут $+30^\circ(+\pi/6)$ або на кут $-30^\circ(-\pi/6)$.

10. Пристрій за п. 8, який **відрізняється** тим, що до пристрою внесені три додаткові фазозмішуючі послідовні з'єднання трьох обмоток з двома крайніми виводами та додаткові чотири затискачі лінійних та нульової фаз додаткового виходу, кожне з шести фазозмішуючих послідовних з'єднань обмоток виконане у вигляді послідовного з'єднання обмоток нерівнобічного піврогача, кожен перший крайній вивід додаткового фазозмішуючого послідовного з'єднання трьох обмоток приєднаний по одному до затискача лінійної фази додаткового виходу, а кожен другий крайній вивід додаткового фазозмішуючого послідовного з'єднання трьох обмоток по одному приєднаний до проміжного виводу подільника напруг, а затискач нульової фази додаткового виходу приєднаний до затискача нульової фази входу.

11. Пристрій за пп. 8 та 10, який **відрізняється** тим, що три вектори систем трифазних напруг першого виходу пристрою випереджають вектори системи трифазних напруг входу на кут $+20^\circ(+2\pi/9)$, а три вектори систем трифазних напруг додаткового виходу пристрою відстають від векторів системи трифазних напруг входу на кут $-20^\circ(-2\pi/9)$.

12. Пристрій за п. 8, який **відрізняється** тим, що до пристрою внесені $3 \cdot (n\phi - 1)$ фазозмішуючих послідовних з'єднань трьох обмоток з двома крайніми виводами та $4 \cdot (n\phi - 1)$ затискачів додаткових лінійних та нульової фаз, які утворюють $n\phi - 1$ додаткових трифазних виходів, кожен один перший крайній вивід фазозмішуючого послідовного з'єднання приєднаний по одному до додаткового затискача лінійної фази трифазного виходу пристрою, а кожен один другий крайній вивід додаткового фазозмішуючого послідовного з'єднання трьох обмоток приєднаний по одному до проміжного виводу подільника, а затискач нульової фази додаткового виходу приєднаний до затискача нульової фази входу.

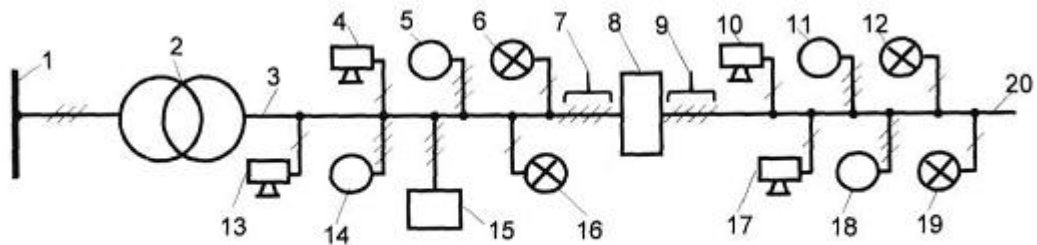
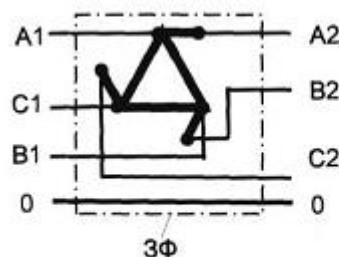


Fig. 1

A2



Варіант
виконання
змішувача
лінійних фаз

Fig. 1a

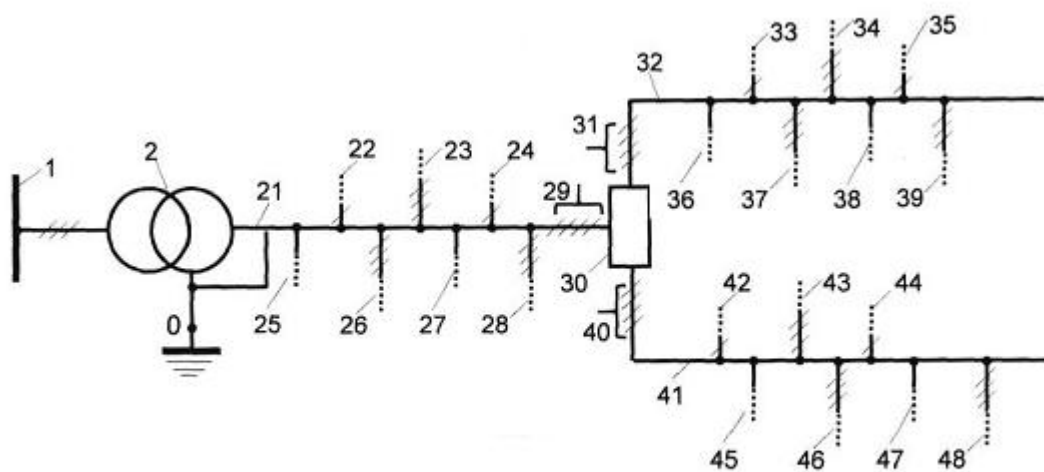


Fig. 2

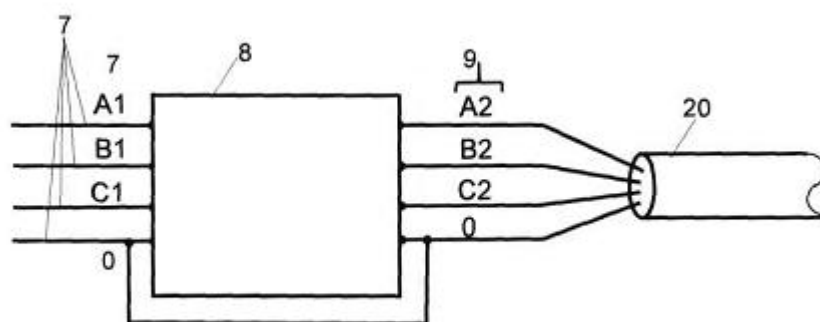


Fig. 3

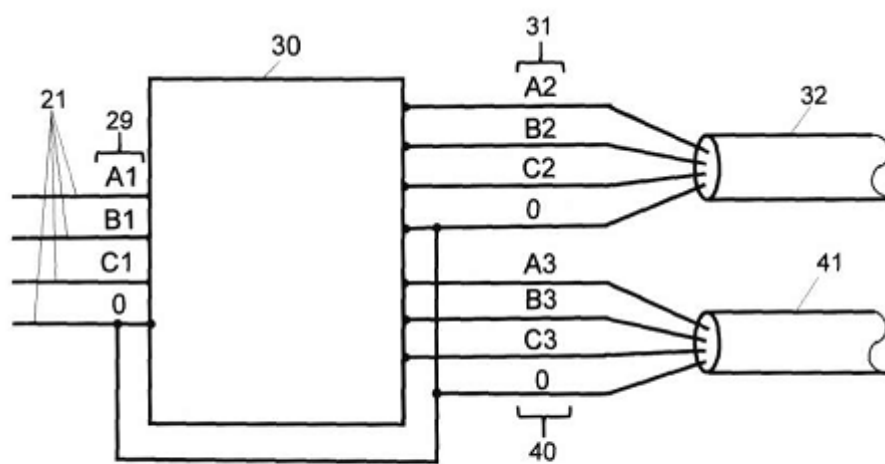


Fig. 4

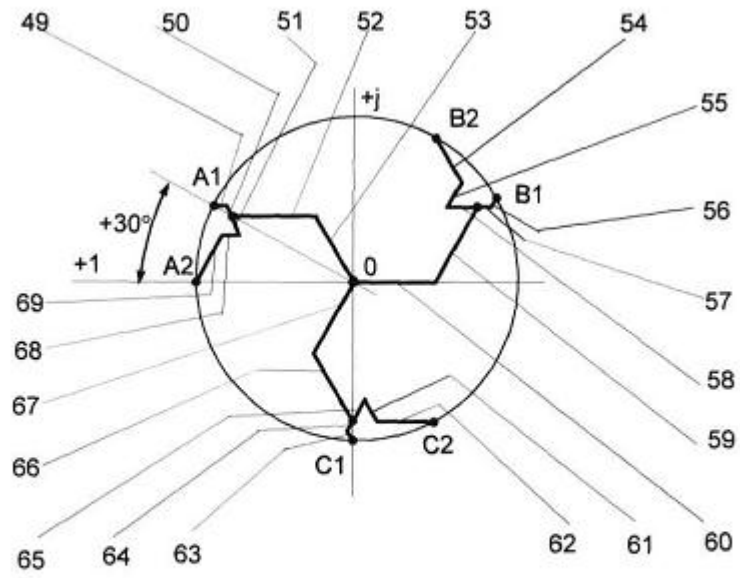


Fig. 5

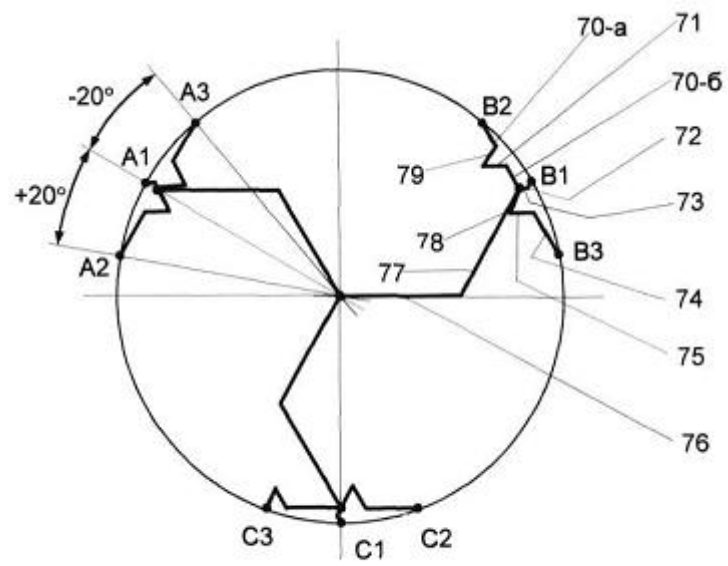


Fig. 6

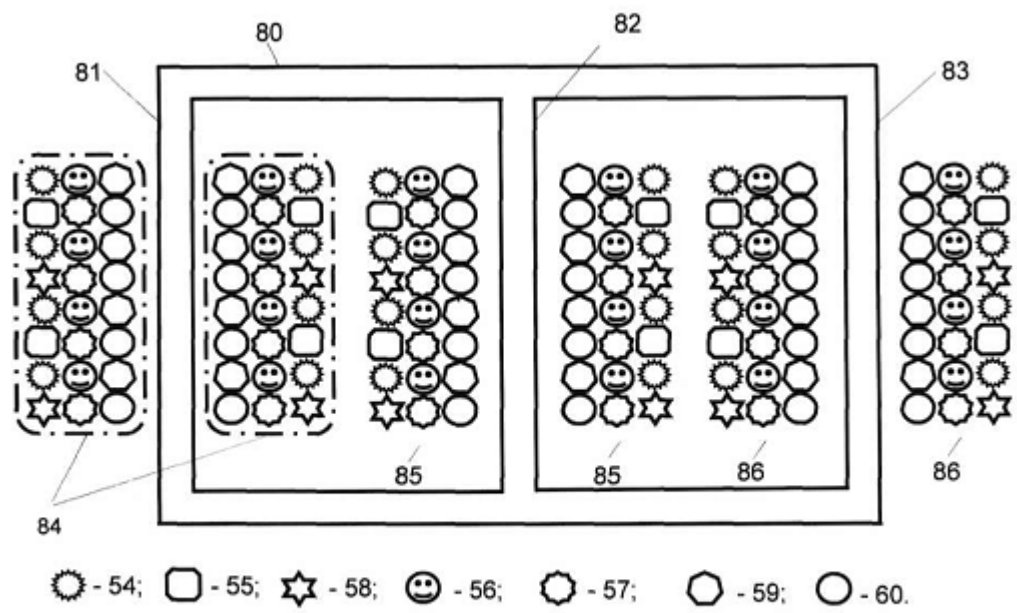


Fig. 7

Комп'ютерна верстка Т. Вахричева

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601