



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **19328** (13) **U**
(51) МПК (2006)
G01R 31/08МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ**ОПИС**
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ДО МІСЦЯ ЛОКАЛЬНОГО ДЕФЕКТУ ІЗОЛЯЦІЇ ТА ОПОРУ ЦЬОГО ДЕФЕКТУ У РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ**

1

2

(21) u200606235

(22) 05.06.2006

(24) 15.12.2006

(46) 15.12.2006, Бюл. № 12, 2006 р.

(72) Гребченко Микола Васильович, Сидоренко
Олексій Анатолійович(73) ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб визначення відстані до місця локального дефекту ізоляції та опору цього дефекту у розподільчих мережах, що включає визначення параметрів режиму мережі і виконання розрахунків в схемі заміщення мережі при послідовній зміні припустимого місця локального дефекту ізоляції вздовж усього приєднання, який **відрізняється** тим, що як контрольовані параметри режиму використовують значення амплітуди струму нульової послідовності приєднання з локальним дефектом ізоляції та значення кута між вектором струму нульової послідовності приєднання з локальним дефектом ізоляції та вектором напруги між двома фазами, контролюють амплітуду струму нульової послідовності приєднання з локальним дефектом ізоляції і при перевищенні амплітудою струму нульової послідовності приєднання з локальним де-

фектом ізоляції припустимого значення виконують порівняння значень контрольованих параметрів режиму, які отримані в результаті вимірювання, із значеннями цих параметрів, які визначаються на моделі розподільчої мережі унаслідок розрахунків при послідовній зміні кроками відстані до припустимого місця локального дефекту ізоляції та послідовній зміні на кожному кроці опору у місці локального дефекту, який моделюється, від нуля до максимально допустимого значення, і якщо на наступному кроці розрахунків виміряне значення величини амплітуди струму нульової послідовності дорівнюється розрахунковому значенню і виміряне значення кута між вектором струму нульової послідовності приєднання з локальним дефектом ізоляції та вектором напруги між двома фазами дорівнюється розрахунковому значенню кута, то видаються повідомлення про те, що розрахункова відстань до місця локального дефекту ізоляції на цьому кроці розрахунків дорівнюється дійсній відстані та розрахунковий опір ізоляції у місці локального дефекту на цьому кроці розрахунків дорівнюється дійсному значенню опору дефекту, при цьому в моделі розподільчої мережі автоматично враховуються зміни конфігурації мережі.

Корисна модель відноситься до електротехніки, зокрема до захисту електричних мереж змінного струму, в яких виникло однофазне замикання безпосередньо на землю або замикання через опір на землю, тобто виник локальний дефект ізоляції.

Відомий спосіб визначення відстані до місця замикання, згідно з яким вимірюють час від миті відправки в лінію зонduючого імпульсу до миті приходу у початок лінії імпульсу, який відбився від місця замикання на землю [Смирнов Л.П. Монтеркабельщик. М.: Высшая школа. 1972. 360с.]. Використання методу у робочому режимі мережі дуже важке з-за багатократного відбивання зонduючого імпульсу від непошкоджених приєднань та із-за складності отримання необхідної інформації, яке можливе тільки у той дуже короткий час, коли у

місці пошкодження існує електрична дуга.

У способі [Патент Російської Федерації №2216749 Способ определения расстояния до места однофазного замыкания на землю в распределительных сетях, G01R31/08, опубл. 20.11.2003] визначають у перехідному процесі замикання на землю частоту вільних коливань розряду фазної ємності, у залежності від визначеної частоти за допомогою попередньо розрахованих залежностей частоти від відстані до замикання визначають відстань до місця замикання. Спосіб має низьку точність, є складним з-за необхідності визначення струму з частотою вільних коливань і не може використовуватись при замиканні на землю через опір.

Найбільш близьким аналогом є спосіб [Welfonder T., Leitloff V., Fenillet R, Vitet S. Location

(13) **U**
(11) **19328**
(19) **UA**

strategies and evaluation of detection algorithms for earth faults in compensated MV distribution systems. - IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, vol.15, No.4, Oct.], згідно з яким визначають напругу на шинах джерела живлення і струм пошкодженого приєднання з частотою вільних коливань, далі визначені параметри режиму використовують у розрахунках в еквівалентній схемі заміщення мережі при послідовній зміні припустимого місця пошкодження вздовж усього приєднання, внаслідок чого отримують значення відстані до місця замикання як корені рівняння мережі. Визначення струму з частотою вільних коливань перехідного процесу важке із-за значного загашення, а при швидкому зникненню дуги повністю неможливе. При виникненні замикання на землю через опір, що виникає при місцевих дефектах ізоляції, цей спосіб не може забезпечити визначення відстані до місця дефекту.

Загальними ознаками прототипу та заявляємої корисної моделі є те, що в них виконується визначення параметрів режиму (напруга на шинах джерела живлення і струм пошкодженого приєднання) та використовуються розрахунки в схемі заміщення мережі при послідовній зміні припустимого місця пошкодження вздовж усього приєднання.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу визначення відстані до місця локального дефекту ізоляції та опору цього дефекту у розподільчих мережах, в якій нові операції та їх послідовність, дозволили б визначати відстань не тільки до замикань на землю, а й до локальних дефектів ізоляції, а також визначати опір локального дефекту ізоляції за рахунок визначення амплітуди струму нульової послідовності та кута між вектором цього струму та вектором напруги між двома фазами і порівняння визначених значень відповідно з значеннями цих параметрів, які отримуються на математичній моделі мережі в процесі послідовних розрахунків при зміні кроками місця припустимого пошкодження ізоляції вздовж пошкодженого приєднання та зміни на кожному кроці величини опору у місці дефекту ізоляції від нуля до максимально припустимого.

Поставлена задача вирішується тим, що в спосіб визначення відстані до місця локального дефекту ізоляції та опору цього дефекту у розподільчих мережах, який визначає параметри режиму мережі і виконує розрахунки в схемі заміщення мережі при послідовній зміні припустимого місця локального дефекту ізоляції вздовж усього приєднання, згідно корисної моделі, додатково як контролює параметри режиму використовує значення амплітуди струму нульової послідовності приєднання з локальним дефектом ізоляції та значення кута між вектором струму нульової послідовності приєднання з локальним дефектом ізоляції та вектором напруги між двома фазами, контролює амплітуду струму нульової послідовності приєднання з локальним дефектом ізоляції і при перевищенні амплітудою струму нульової послідовності приєднання з локальним дефектом ізоляції припустимого значення виконує порівняння значень контролюємих параметрів режиму, які отримані в результаті вимірювання, із значеннями цих параметрів, які визначаються на моделі роз-

подільчої мережі у наслідок розрахунків при послідовній зміні кроками відстані до припустимого місця локального дефекту ізоляції та послідовній зміні на кожному кроці опору у місці локального дефекту ізоляції, який моделюється, від нуля до максимально допустимого значення, і якщо на наступному кроці розрахунків виміряне значення величини амплітуди струму нульової послідовності дорівнюється розрахунковому значенню і виміряне значення кута між вектором струму нульової послідовності приєднання з локальним дефектом ізоляції та вектором напруги між двома фазами дорівнюється розрахунковому значенню кута, то видає повідомлення про те, що розрахункова відстань до місця локального дефекту ізоляції на цьому кроці розрахунків дорівнюється дійсній відстані та розрахунковий опір ізоляції у місці локального дефекту на цьому кроці розрахунків дорівнюється дійсному значенню опору дефекту, при цьому в моделі розподільчої мережі автоматично враховуються зміни конфігурації мережі.

Указані ознаки складають суть корисної моделі, так як являються необхідними та достатніми для досягнення технічного результату.

Використання в корисній моделі значення амплітуди вектору струму нульової послідовності приєднання з пошкодженням та значення кута між вектором струму нульової послідовності приєднання з пошкодженням та вектором міжфазної напруги для відомого режиму розподільчої мережі дозволяє однозначно визначати відстань до місцевого дефекту ізоляції та значення опору цього дефекту ізоляції.

Розглянемо наприклад приєднання навантаження, схема заміщення якого наведена на Фіг.1. При складанні схеми заміщення (Фіг.1) приєднання навантаження (двигуна або трансформатора) у мережі з ізолюваною нейтраллю прийняті наступні припущення:

- елементи схеми заміщення симетричні, тобто відповідні повздовжні та поперечні опори різних фаз рівні між собою;

- ємності фаз по відношенню до землі усієї мережі, серед яких і ємності контролюємого приєднання, враховуються сумарною величиною, яка зосереджена на початку відповідних фаз приєднання;

- активні провідності ізоляції фаз по відношенню до землі не враховуються. При необхідності їх врахування не викликає труднощів і виконується шляхом підключення активного опору паралельно ємностям фаз мережі.

Найбільший вплив на точність визначення залежності струму нульової послідовності від відстані серед прийнятих припущень може викликати врахування ємності приєднання зосередженою на виводах приєднання, тобто відсутність урахування зміни двох частин приєднання (до точки дефекту та після точки дефекту) при переміщенні точки дефекту ізоляції. Оскільки ємність приєднання значно менша сумарної ємності мережі, то цим впливом можна знехтувати.

На схемі заміщення (Фіг.1) прийняті наступні позначення:

- \underline{Z} - повздовжній комплексний опір фази приєднання (лінії та навантаження);

X_C - поперечна провідність фази мережі по відношенню до землі;

$R_{ДЕФ}$ - активний опір локального дефекту ізоляції, який знаходиться на відстані $l_{ДЕФ}$ від початку приєднання;

I_{1c}, I_{2c}, I_{3c} - струми відповідно крізь поперечні провідності фаз 1, 2, 3 мережі по відношенню до землі;

I_1, I_2, I_3 - струми відповідно крізь повздовжні провідності фаз 1, 2, 3 навантаження приєднання;

I_0 - струм нульової послідовності, який проходить крізь місце дефекту ізоляції (замикання на землю).

Запишемо рівняння, які описують робочий режим приєднання у випадку виникнення дефекту ізоляції з опором $R_{ДЕФ}$ в одній з фаз.

$$-I_{1c} \cdot X_C + I_1 \cdot Z - I_3(1 - I_{ДЕФ}) \cdot Z + I_0 \cdot R_{ДЕФ} = 0$$

$$-I_{2c} \cdot X_C + I_2 \cdot Z - I_3(1 - I_{ДЕФ}) \cdot Z + I_0 \cdot R_{ДЕФ} = 0$$

$$-I_{3c} \cdot X_C + I_3 \cdot b \cdot Z - I_0 \cdot b \cdot Z + I_0 \cdot R_{ДЕФ} = 0$$

$$\dot{U}_{12} = I_1 \cdot Z - I_2 \cdot Z$$

$$\dot{U}_{23} = I_1 \cdot Z - I_0 \cdot b \cdot Z - I_0 \cdot b \cdot Z - I_3 \cdot Z$$

$$\dot{U}_{31} = I_0 \cdot b \cdot Z + I_3 \cdot Z - I_1 \cdot Z$$

$$I_{1c} + I_{2c} + I_{3c} + I_0 = 0,$$

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0.$$

Напруги між фазами \dot{U}_{12} , \dot{U}_{23} , \dot{U}_{31} не змінюються при виникненні дефекту ізоляції, а тому приймаються такими, що їх значення відомі і рівні напрузі джерела живлення.

Після перетворення системи рівнянь отримаємо:

$$I_0 = \frac{(-I_{ДЕФ})(\dot{U}_{31} - \dot{U}_{23})}{X_C + I_{ДЕФ}(-2I_{ДЕФ}) \cdot Z + 3R_{ДЕФ}}$$

Аналіз отриманого співвідношення показує, що вектор струму нульової послідовності I_0 (амплітуда та його фаза) залежить від відстані дефекту $l_{ДЕФ}$ та опору у місці дефекту $R_{ДЕФ}$. Повздовжній опір фази приєднання Z є незмінною величиною. Значення X_C залежить від режиму мережі, а тому для забезпечення відповідності результатів розрахунків та реальних вимірювань при зміні конфігурації мережі необхідно відповідним чином змінювати X_C (збільшувати або зменшувати у залежності від того чи вмикають або вимикають електричні приєднання).

Приклад, пояснюючий сутність способу, наведено на Фіг.2, де наведено пристрій для визначення відстані до локального дефекту ізоляції та визначення значення опору у місці пошкодження ізоляції. Пристрій складається з блоку 1 визначення амплітуди вектору струму нульової послідовності та кута δ між вектором струму нульової послідовності, та вектором напруги між двома фазами, перший вхід блоку 1 з'єднано з виходом трансформатору струму нульової послідовності 2, який встановлено на приєднанні з пошкодженням ізоляції, другий вхід блоку 1 з'єднано з виходом трансформатору напруги 4, який з'єднано з началом пошкодженого приєднання, вихід блоку 1 з'єднано з блоком порівняння 5 амплітуди вектора струму нульової послідовності з допустимим значенням, блоку 6 зміни кроками Δl відстані від початку приєднання до припустимого місця локального дефекту, блоку 7 виконання циклу зміни кроками ΔR ве-

личини опору у місці локального дефекту ізоляції від нуля до максимально припустимого значення, блоку 8 розрахунків на математичній моделі мережі вектора струму нульової послідовності та кута δ між цим вектором струму та вектором напруги між двома фазами, до другого входу блоку 8 приєднано вихід блоку 9 введення змін конфігурації мережі, до виходу блоку розрахунків 8 приєднані послідовно з'єднані блок 10 порівняння амплітуди розрахованого вектора струму нульової послідовності $I_{МАКС Р}$ з амплітудою виміряного вектора дійсного струму нульової послідовності $I_{МАКС Д}$, блок 11 порівняння між собою кутів δ розрахованого і виміряного векторів струму нульової послідовності по відношенню відповідно до розрахованого і виміряного векторів напруги між двома фазами, блок 12 індикації визначених значень відстані до місця локального дефекту ізоляції та значення опору у місці дефекту ізоляції, до другого виходу блоку 6 зміни кроками відстані підключено вхід блоку 1 визначення векторів струму та напруги.

Значення амплітуди вектора дійсного струму нульової послідовності $I_{МАКС Д}$ з виходу блоку 1 безперервно порівнюється у блоці 5 з його допустимим значенням $I_{МАКС ДОП}$. При відсутності дефектів ізоляції на приєднанні 3 амплітуда вектора струму нульової послідовності $I_{МАКС Д}$ має значення менше, ніж допустиме $I_{МАКС ДОП}$, а тому на виході "Так" 13 блоку 5 сигнал про перевищення буде відсутній, а на виході "Ні" 14 буде присутній сигнал про те, що амплітуда вектора струму нульової послідовності не перевищує допустиме значення. Сигнал з виходу "Ні" 14 надходить на вхід блоку 1, завдяки чому безперервно виконується визначення вектору дійсного струму нульової послідовності. Тому що з виходу "Так" 13 не надходить сигнал на вхід блоку 6, блоки 6, 7, 8, 10, 11, 12 не виконують ніяких дій і блок 12 індикації надає інформацію про відсутність дефектів ізоляції на цьому приєднанні. Блок 5 не змінює вихідних сигналів на виходах 13 і 14 поки не з'явиться дефект ізоляції. Блок 9 при зміні конфігурації мережі змінює значення поперечної провідності фази мережі по відношенню до землі X_C , яке використовується у математичній моделі мережі у блоці 8.

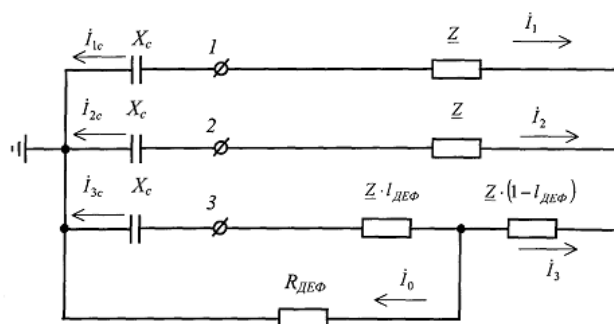
У разі виникнення локального дефекту ізоляції на приєднанні 3 струм нульової послідовності збільшується і значення амплітуди вектору цього струму перевищить допустиме значення $I_{МАКС ДОП}$, а тому на виході "Ні" 14 зникає сигнал, а на виході "Так" 13 з'являється сигнал про те, що амплітуда струму нульової послідовності перевищила допустиме значення. Значення амплітуди визначеного вектору дійсного струму нульової послідовності запам'ятовується і надходить у блок 10 і дійсне значення кута δ між цим вектором струму та вектором напруги між двома фазами запам'ятовується і надходить у блок 11. Поява сигналу на виході блоку 6 призводить до того, що з його виходу 15 надходить нульове значення відстані дефекту ізоляції, тобто приймається припущення про виникнення дефекту ізоляції у началі приєднання, у той же час з виходу блоку 7 надходить нульове значення опору у місці локального дефекту ізоляції, тобто приймається припущення про виникнення "металевого" замикання на землю у началі приєд-

нання. Обидва значення надходять на вхід блоку 8, який виконує розрахунок вектора струму нульової послідовності та розрахунок кута δ між цим вектором та вектором напруги між двома фазами на математичній моделі. У моделі враховуються параметри припустимого локального дефекту ізоляції та реальна конфігурація розподільчої мережі, яка враховується завдяки інформації з блоку 9. Результат розрахунку амплітуди вектора струму нульової послідовності з виходу 17 блоку 8 надходить на вхід блоку 10, який виконує порівняння амплітуди вектора розрахованого струму нульової послідовності $I_{\text{МАКС Р}}$ з значенням амплітуди визначеного у блоці 1 дійсного вектора струму нульової послідовності $I_{\text{МАКС Д}}$, яке було запам'ятовано. Якщо амплітуди розрахованого та дійсного векторів відрізняються, то на виході "Ні" 18 блоку порівняння 10 з'являється сигнал, який надходить на вхід 19 блоку 7, завдяки чому на виході 16 блоку 7 збільшується на один крок ΔR значення опору у припустимому місці локального дефекту ізоляції. У блоці 8 виконується розрахунок вектору струму нульової послідовності та кута δ між цим вектором та вектором напруги між двома фазами при новому значенні опору припустимого локального дефекту ізоляції. Нове значення вектору розрахованого струму нульової послідовності з виходу 17 надходить на вхід блоку порівняння 10. Таким чином продовжуються розрахунки при покроковому збільшенні з кроком ΔR блоком 7 значення опору у місці припустимого локального дефекту ізоляції на початку приєднання поки не зрівняються амплітуди розрахованого і дійсного векторів нульової послідовності, про що буде свідчить поява сигналу на виході "Так" 20 блоку 10. Якщо внаслідок покрокової зміни у блоці 7 буде досягнуте максимальне значення опору, а при цьому на виході "Так" 20 сигнал не з'явився, то на виході 21 блоку 7 з'являється сигнал, який надходить на вхід 22 блоку 6. Завдяки цьому у блоці 6 збільшується на один крок ΔI відстань $I_{\text{ДЕФ}}$ від початку приєднання до припустимого місця локального дефекту ізоляції, а у блоці 7 встановлюється нульовий опір припустимого локального дефекту ізоляції. На моделі 8 виконується новий розрахунок амплітуди вектора та кута струму нульової послідовності при $I_{\text{ДЕФ}} = \Delta I$, $R_{\text{ДЕФ}} = 0$. Якщо на виході "Так" 20 з'являється сигнал, який свідчить про те, що амплітуди розрахованого та дійсного векторів струму нульової послідовності рівні між собою, то цей сигнал надходить на вхід блоку 11. Блок 11 порівнює значення кута δ , розрахованого на моделі 8, та значення дійсного

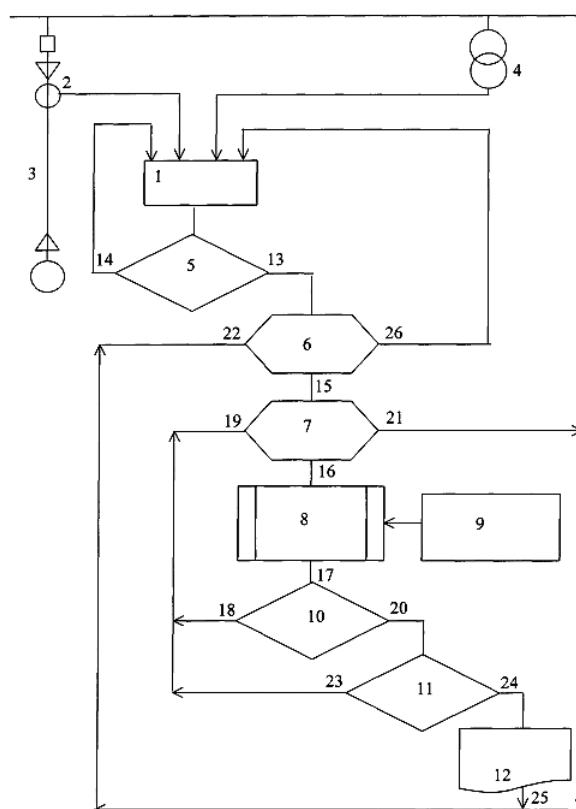
кута δ , яке було запам'ятовано. Якщо вказані кути не рівні між собою, то на виході "Ні" 23 блоку 11 з'являється сигнал, який надходить на вхід 19 блоку 7 і на виході 16 з'являється значення опору на ΔR більше попереднього значення. У блоці 8 знов виконується розрахунок. Якщо порівняння нових розрахованих значень амплітуди та кута вектора струму нульової послідовності з дійсними значеннями у блоках 10 та 11 не приводить до одночасної появи сигналів на виході "Так" 20 та виході "Так" 24 блоку 11, то сигнали "Ні" на виходах 18 та (або) 23 призводять до зміни на виході 16 припустимого значення опору дефекту ізоляції на величину ΔR . Виконується розрахунок на моделі 8 при $I_{\text{ДЕФ}} = \Delta I$, $R_{\text{ДЕФ}} = \Delta R$ і так далі виконуються нові розрахунки при збільшенні кроками $R_{\text{ДЕФ}}$ до тих пір, поки не з'являться одночасно сигнали "Так" на виходах 20 і 24, або поки на виході 16 не буде досягнуте максимально допустиме значення $R_{\text{ДЕФ}} = R_{\text{МАКС}}$.

При появі сигналу "Так" одночасно на виходах 20 і 24 робиться висновок про те, що розрахункові значення $I_{\text{ДЕФ}}$ та $R_{\text{ДЕФ}}$ на цьому кроці розрахунків збіглися з їх дійсними значеннями, а тому у блоці 12 виконується індикація цих значень.

Якщо сигнал "Так" не з'явився на виході 24, а значення опору припустимого дефекту досягло максимального значення $R_{\text{ДЕФ}} = R_{\text{МАКС}}$, то сигнал з виходу 21 надходить на вхід 22, завдяки чому на виході 15 з'являється сигнал про збільшення відстані припустимого локального дефекту на ΔI , тобто приймається $I_{\text{ДЕФ}} = 2 \cdot \Delta I$. Виконується новий цикл розрахунків амплітуди та кута струму нульової послідовності при постійному значенні $I_{\text{ДЕФ}} = 2 \cdot \Delta I$ зміні $R_{\text{ДЕФ}}$ від нуля до максимального значення $R_{\text{МАКС}}$. При цьому виконується виявлення появи сигналу "Так" на виході 24, що можливе тільки при наявності сигналу "Так" на виході 20 і однакових значеннях розрахункового та дійсного кутів. При відсутності сигналу "Так" на виході 24 відстань $I_{\text{ДЕФ}}$ змінюється до $3 \cdot \Delta I$ і так далі покроково змінюється відстань $I_{\text{ДЕФ}}$ і при кожному новому значенні $I_{\text{ДЕФ}}$ змінюється R від нуля до $R_{\text{МАКС}}$. При одночасній появі сигналу "Так" на виходах 20 і 24 блок 12 надає інформацію про відстань та опір локального дефекту ізоляції і на його виході 25 з'являється сигнал, який надходить у блок 6, завдяки чому з виходу 26 у блок 1 надходить сигнал і пристрій переходить у стан готовності до нової дії при його автоматичному підключенню до другого приєднання навантаження.



Фиг. 1



Фиг. 2