



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 118952

(13) C2

(51) МПК

H02H 3/38 (2006.01)

H02H 3/42 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки:	a 2013 14200	(72) Винахідник(и):	Кюмюнель Паскаль (FR), Верно Гійом (FR)
(22) Дата подання заявки:	05.12.2013	(73) Власник(и):	ШНАЙДЕР ЕЛЕКТРИК ІНДАСТРІЗ САС, 35, rue Joseph Monier, 92500 Rueil- Malmaison, France (FR)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.04.2019	(74) Представник:	Шляховецький Ілля Олександрович, реєстр. №190
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	1261709, 1261712	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	FR 2058166 A1, 28.05.1971 WO 2005038474 A1, 28.04.2005 US 2008211511 A1, 04.09.2008 WO 2011029464 A1, 17.03.2011 EP 0573333 A1, 08.12.1993
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції:	06.12.2012, 06.12.2012		
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку:	FR, FR		
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.06.2014, Бюл.№ 11		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.04.2019, Бюл.№ 7		

(54) ВИЯВЛЕННЯ НАПРЯМКУ ЗАМИКАННЯ В МЕРЕЖІ, ЗОКРЕМА В ЗАЗЕМЛЕНІЙ СИСТЕМІ З КОМПЕНСОВАНОЮ АБО ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ**(57) Реферат:**

В енергетичній системі середньої напруги, зокрема з компенсованою нейтраллю та/або ізольованою нейтраллю, визначення місцезнаходження однофазного замикання за винаходом ґрунтується на:

виявленні замикання за зміною напруги (V_0) нульової послідовності;

визначенні спрямованості замикання на основі різниці фаз, зокрема за допомогою кута або знака добутку, між похідною (dl_0/dt) струму нульової послідовності та напругою (V_0) нульової послідовності у режимі тривалого замикання.

Це рішення, зокрема, уможливорює виявлення з невеликою частотою дискретизації.

UA 118952 C2

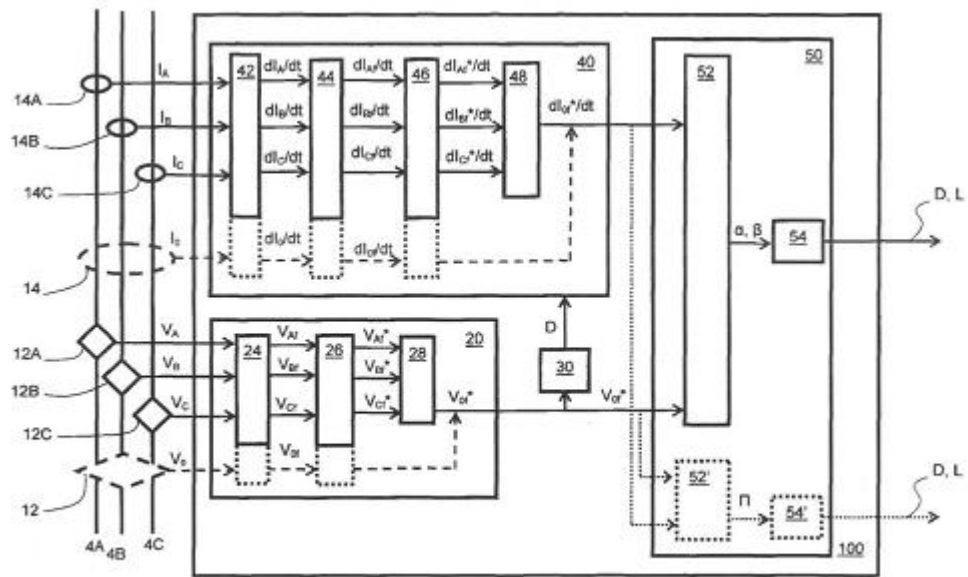


Fig. 4

Цей винахід стосується виявлення напрямку замикання на землю, зокрема, в енергетичній системі з компенсованою нейтраллю, та в окремому випадку - з ізолюваною нейтраллю. Зокрема, цей винахід стосується способу виявлення замикання на землю в енергетичній системі, який також уможливорює виявлення того чи замикання знаходиться з боку лінії, чи з боку навантаження відносно місця виявлення. Спосіб за винаходом ґрунтується на аналізі сигналу в сталому режимі роботи після трапляння замикання.

За іншим аспектом цей винахід стосується пристрою виявлення напрямку замикання на землю, здатного здійснити зазначений вище спосіб. Зокрема, цей пристрій виявлення напрямку замикання на землю включає в себе засоби для інтерпретації сигналів струму та напруги після перехідних процесів, викликаних замиканням, для виявлення відносного розташування замикання.

Нарешті, цей винахід стосується пристрою вказування замикання та реле відключення, які включають в себе датчики струму та напруги нульової послідовності енергетичної системи та надають згаданому вище пристрою виявлення напрямку замикання на землю сигнали, які забезпечують індикацію, наприклад за допомогою покажчика, або розмикання комутаційного пристрою енергетичної системи.

Пристрої виявлення замикань у трифазних енергетичних системах забезпечують спрацьовування захисту навантаження та/або надання допомоги у місці замикання. Наприклад, Фіг. 1 являє собою електричну схему електророзподільної енергетичної системи 1 середньої напруги, яка включає в себе трифазний трансформатор 2 з вторинною обмоткою, яка може включати в себе спільний нульовий вивід, як правило, заземлений через опір 3 (у випадку енергетичної системи з ізолюваною нейтраллю фізичне з'єднання між нейтральною точкою енергетичної системи та землею відсутнє). Вторинна обмотка, крім того, з'єднана з основною розподільною лінією, яка забезпечує електроенергією лінії 4, 4', 4" живлення, деякі з яких можуть включати в себе розмикач ланцюга вхідної лінії або інший комутаційний пристрій 5, який здійснює їх захист.

Лінії 4, 4', 4" живлення, які складаються з повітряних ліній та/або підземних кабелів, можуть зазнавати дії різних замикань, які важливо виявити та визначити їх місцезнаходження для того, щоб подолати створені ними проблеми: переривання електроживлення, погіршення характеристик опору ізолювального обладнання, не кажучи вже про безпеку людей. Пристрій 6 виявлення замикань, встановлений на лінії 4' живлення або на ділянках лінії 4, може діяти як покажчик напрямку замикання, запалюючи, наприклад, світловий покажчик 7. Пристрій 6₁, крім того, може бути зв'язаним з реле 8 захисту (або вбудованим в нього), яке виконане з можливістю ініціювати розмикання контактів розмикача 5 ланцюга.

Серед таких замикань найчастішими є однофазні замикання, які трапляються за межами підстанції джерела живлення, та за яких має місце контакт фази з землею або обривання підвісного кабелю, зокрема, у випадку суворих погодних умов. Однак між лінійними проводами 4 та землею, зокрема, якщо лінії 4 живлення є підземними кабелями, можуть виникнути високі значення 9 ємності, що спричинює протікання великих струмів I₀ нульової послідовності у випадку замикання 10 на землю. Щоб уникнути помилкового виявлення замикання на землю пристроєм 6 виявлення замикань, викликаного несправною роботою сусідньої лінії живлення внаслідок ємнісного зв'язку 9, були розроблені пристрої та способи для розрізнення того, чи замикання 10 знаходиться з боку навантаження від пристрою 6_i виявлення замикань, чи з боку лінії від пристрою 6_{i+1}.

Крім того, заземлення 3 вторинної обмотки трансформатора 2 само по собі може мати здатність обмежувати амплітуду замикання 10 на землю. У розподільних енергетичних системах середньої напруги резистивним замиканням на землю (або чутливим замиканням на землю) називають випадок, коли рівень струму замикання є низьким (і тому складним для виявлення) або внаслідок того, що опір в місці замикання є високим, або тому, що заземлення 3 нейтралі на рівні трансформатора підстанції джерела живлення обмежує струм замикання (у випадку наявності, наприклад, компенсаційної котушки або ізолюваної нейтралі), або внаслідок резистивних властивостей самої землі. Для виявлення цих дуже резистивних замикань (чутливих замикань на землю) необхідно здійснювати тонкіші вимірювання струму.

В документах EP 1 475 874, EP 1 890 165, FR 2 936 319 або WO 2006/136520 запропоновані пристрої та способи для виявлення замикань на землю та визначення напрямку їх місцезнаходження, які, однак, покладаються на значну дискретизацію сигналів протягом перехідного періоду при замиканні. В документі FR 2 936 378, у свою чергу, запропонований спосіб визначення, що не застосовує значну дискретизацію, який, втім, є не придатним для триполюсних кабелів за умови, що значення сили струму кожної з фаз невідомі. Крім того, в усіх випадках визначення наявності замикання 10 ґрунтується на виявленні надмірних струмів у

щонайменше одній фазі енергетичної системи 1 протягом певної мінімальної тривалості замикання, і такий спосіб виявлення може бути непридатним для чутливих замикань на землю, або у випадку енергетичних систем з компенсованою або ізольованою нейтраллю. Таким чином, є потреба в оптимізації пристроїв виявлення замикань.

Серед інших переваг цей винахід має на меті зменшити недоліки існуючих пристроїв та способів виявлення напрямку замикання на землю. Зокрема, реалізований принцип виявлення напрямку ґрунтується на аналізі параметрів струму нульової послідовності в сталому режимі роботи після замикання, при цьому цей принцип залишається придатним для енергетичних систем з компенсованою та/або ізольованою нейтраллю та не потребує значної дискретизації відповідних сигналів (як правило, достатньою є частота дискретизації до 1 кГц, наприклад, приблизно 500 або 600 Гц), що уможливує його реалізацію в обладнанні, яке не має великих обсягів пам'яті на програмному та/або апаратному рівні.

За одним зі своїх аспектів цей винахід стосується способу виявлення напрямку замикання на землю у багатофазній енергетичній системі, зокрема, з компенсованою або ізольованою нейтраллю, в якому використовують сигнали, які характеризують напругу та похідну струму нульової послідовності цієї енергетичної системи, та оцінюють різницю фаз між цими двома сигналами, зокрема, шляхом порівняння її з π , після того, як спосіб було ініційовано після отримання сигналу, який вказує на трапляння замикання на землю. Спосіб за винаходом за варіантом, якому віддається перевага, включає попередній етап генерування згаданого сигналу, який вказує на трапляння замикання, причому цей етап включає одержання сигналу, що характеризує напругу нульової послідовності енергетичної системи, та порівняння цього сигналу з певним граничним значенням. Якщо цей етап заплановано, то сигнал, що характеризує напругу нульової послідовності, після цього може також бути використаний для виявлення напрямку.

Таким чином, спосіб за цим винаходом включає одержання сигналів, які характеризують напругу нульової послідовності та, відповідно, похідну за часом струму нульової послідовності, які можуть бути отримані шляхом безпосередньої обробки відповідних сигналів, наданих передбаченими для цього датчиками, або за допомогою розрахунку згаданих сигналів зі значень напруги та, відповідно, струму, отриманих для кожної фази енергетичної системи. За варіантом, якому віддається перевага, ці сигнали фільтрують та/або виконують дискретизацію цих сигналів з частотою до 1 кГц, зокрема, з частотою приблизно 600 Гц.

Для оцінки різниці фаз зазначених двох сигналів спосіб може включати визначення кута між сигналами, які характеризують напругу та похідну струму нульової послідовності, та за варіантом, якому віддається перевага, визначення доповнювального кута, який доповнює цей кут між сигналами до 180° . Кут, визначений таким чином, порівнюють з фіксованим параметром, зокрема, з кутовим діапазоном з центром на 180° , що еквівалентно порівнянню доповнювального кута з певним граничним значенням. Залежно від результату порівняння, спосіб за цим варіантом здійснення винаходу вказує чи замикання знаходиться з боку лінії, чи з боку навантаження від місця, де отримують згадані сигнали; зокрема, якщо цей кут близький до 180° , то вважають, що замикання знаходиться з боку лінії.

У випадку системи з ізольованою нейтраллю, в якій різниця фаз сигналів, які представляють напругу та похідну струму нульової послідовності, становить 0° або 180° , спосіб за варіантом, якому віддається перевага, включає визначення знака добутку сигналів, які характеризують напругу та похідну струму нульової послідовності, для того, щоб вказати чи замикання знаходиться з боку лінії, чи з боку навантаження від місця, де отримують згадані сигнали. Зокрема, спосіб за цим варіантом здійснення винаходу включає обчислення добутку сигналів, які характеризують напругу та похідну струму нульової послідовності, та порівняння цього добутку з нулем: якщо добуток є негативним, то вважають, що замикання знаходиться з боку лінії.

За варіантом здійснення способу за винаходом, якому віддається перевага, згаданий спосіб виявлення напрямку пов'язаний з приведенням у дію комутаційного пристрою з метою ізолювання ділянку від місця, з боку навантаження від якого виявлено замикання.

Ще однією задачею цього винаходу є створення пристрою виявлення напрямку замикання на землю, який є придатним для багатофазної енергетичної системи середньої напруги та, зокрема, для випадків, коли енергетична система має компенсовану або ізольовану нейтраль. Пристрій виявлення напрямку замикання на землю за цим винаходом може бути зв'язаним з датчиками струму та напруги, до яких забезпечене надходження відповідних сигналів, що характеризують ці параметри. Пристрій виявлення напрямку замикання на землю також може утворювати частину покажчика напрямку замикання, наприклад, шляхом активації засобів попередження типу "світловий покажчик" у разі виявлення замикання з боку навантаження від

датчиків. У варіанті здійснення, якому віддається особлива перевага, пристрій виявлення напрямку замикання на землю за цим винаходом зв'язаний з реле захисту лінії, при цьому засоби попередження зумовлюють приведення у дію комутаційного пристрою лінії, забезпечуючи ізолювання ділянки, на якій виявлено замикання.

Пристрій за цим винаходом включає в себе перший модуль, виконаний з можливістю надавати сигнал, який характеризує напругу нульової послідовності енергетичної системи. Перший модуль за варіантом, якому віддається перевага, включає в себе засоби для прийому сигналу, який характеризує напругу кожної з фаз, та засоби підсумовування для надання згаданої напруги нульової послідовності. Перший модуль може включати в себе засоби дискретизації, зокрема, з частотою до 1 кГц, та/або засоби фільтрації, такі як аналоговий фільтр.

Пристрій за цим винаходом включає в себе другий модуль, виконаний з можливістю надавати сигнал, який характеризує похідну за часом струму нульової послідовності. Другий модуль за варіантом, якому віддається перевага, включає в себе засоби для прийому сигналу, який характеризує струм нульової послідовності, та блок диференціювання. Засоби для прийому сигналу, який характеризує струм нульової послідовності, можуть включати в себе засоби для прийому сигналу, який представляє струм кожної з фаз, та засоби підсумовування для надання згаданого струму нульової послідовності. Другий модуль може включати в себе засоби дискретизації, зокрема, з частотою до 1 кГц, та/або засоби фільтрації, такі як аналоговий фільтр.

Пристрій за цим винаходом також включає в себе засоби для активації згаданого другого модуля за сигналом виявлення замикання. Пристрій за варіантом, якому віддається перевага, включає в себе засоби для надання згаданого сигналу виявлення замикання, з'єднані з першим модулем, які включають в себе блок порівняння сигналу, який характеризує напругу нульової послідовності, з певним граничним рівнем виявлення.

Нарешті, пристрій за цим винаходом включає в себе модуль визначення місцезнаходження, з'єднаний з першим та другим модулями, який включає в себе засоби для оцінки, відносно т, різниці фаз напруги нульової послідовності та похідної струму нульової послідовності. Зокрема, засоби для оцінки різниці фаз включають в себе засоби для визначення кута між напругою нульової послідовності та похідною струму нульової послідовності та засоби для порівняння згаданого кута з певним заданим параметром, який являє собою, зокрема, діапазон значень з центром на 180° . Цей пристрій за варіантом, якому віддається перевага, включає в себе засоби для визначення доповнювального кута, який доповнює згаданий кут до 180° , і засоби порівняння, які виконані з можливістю порівняння згаданого доповнювального кута з певним граничним значенням. У випадку, якщо енергетична система являє собою систему з ізолюваною нейтраллю, засоби для оцінки різниці фаз можуть бути спрощені та включати в себе засоби для визначення знака добутку напруги нульової послідовності та похідної струму нульової послідовності; за варіантом, якому віддається перевага - засоби для обчислення згаданого добутку та засоби для порівняння цього добутку з нулем.

Інші переваги та особливості винаходу стануть більш зрозумілими з наступного опису конкретних варіантів здійснення цього винаходу, наданих лише в ілюстративних цілях у вигляді прикладів, які жодним чином не обмежують обсяг цього винаходу, та представлених на фігурах, що додаються.

На Фіг. 1, яку було вже описано, показана електроенергетична система, в якій можуть бути застосовані пристрої виявлення замикання на землю.

На Фіг. 2А схематично показані відфільтровані сигнали, які характеризують силу струму, похідну струму нульової послідовності та значення напруги, а також відносний кут, коли трапляється замикання на землю, відповідно, з боку навантаження та з боку лінії від пристрою виявлення; на Фіг. 2В проілюстрований окремий випадок енергетичної системи з ізолюваною нейтраллю.

На Фіг. 3 проілюстрований спосіб виявлення за варіантом здійснення винаходу, якому віддається перевага.

На Фіг. 4 показана функціональна схема пристрою виявлення замикання на землю за варіантом здійснення винаходу, якому віддається перевага.

Винахід буде описаний для випадку збалансованої трифазної енергетичної системи 1 з компенсованою або ізолюваною нейтраллю, в якій кожна лінія 4, 4', 4" включає в себе три підземних фазних проводи 4_A, 4_B, 4_C, вторинна обмотка трансформатора 2 заземлена за допомогою котушки 3 Петерсена або не під'єднана до неї (відсутність опору 3 на Фіг. 1), і струм I_0 нульової послідовності дорівнює нулю при відсутності замикання. Під струмом I_0 нульової послідовності розуміють, в межах можливої трикратної величини, векторну суму струмів різних

фаз або струм, відповідний миттєвій результуючий фазних струмів, який іноді називають залишковим струмом та який може відповідати струму замикання на землю або струму витоку. Слід зазначити, що можливі відхилення від цієї ситуації, зокрема можлива наявність ненульових значень струму/напруги нульової послідовності, енергетична система може включати в себе іншу кількість фаз; крім того, система нейтралі може не бути компенсованою.

Коли на одній із фаз відбувається замикання 10 на землю, струм цієї фази в ідеальній ситуації стає нульовим з боку навантаження від замикання 10 та спостерігається збільшення його амплітуди з боку лінії: тому існує можливість появи струму I_0 та напруги V_0 нульової послідовності з боку навантаження від замикання 10. Однак, як показано на Фіг. 2А, через ємнісне з'єднання 9 може спостерігатися часта поява струму також з боку лінії від замикання. Крім того, після дуже короткого перехідного періоду тривалістю приблизно від 20 мс до 40 мс компенсаційна котушка 3 нейтральної точки швидко зменшує струм I_0 замикання до пікового значення менше 30 А, тобто до максимального синусоїдального значення (RMS) менше 20 А, виявлення цього значення може бути важкою задачею. Зокрема, якщо компенсація енергетичної системи є досить ефективною, то перехідний період є занадто коротким для надійного виявлення, та у сталому режимі роботи струм I_0 нульової послідовності залишається дуже незначним з боку лінії або з боку навантаження. Виявлення замикання 10 потребує порівняння з дуже низьким граничним значенням, що призводить до помилково-позитивних результатів, або замикання 10 просто не визначається захисними елементами 6, 8.

У показаному на Фіг. 2В випадку ізолюваної нейтралі відбувається те саме явище, з перехідним струмом, який зміг досягти пікового значення 170 А, але протягом занадто короткого для надійного виявлення часу. Тільки ємнісні струми, які протікають потім внаслідок ємності проводів, тобто які становлять приблизно від 2 А/км до 4 А/км для підземних кабелів та 0,08 А/км для повітряних ліній, створюють струм I_0 нульової послідовності, пікове значення якого також становить менше 30 А.

Слід зазначити, що в обох випадках напруга V , в свою чергу, після замикання 10 залишається значною, оскільки компенсація, яку забезпечує котушка 3, не є досконалою, а ізоляція нейтралі не впливає на напругу V . На практиці, після закінчення перехідного періоду та перед спрацьовуванням захисту 8 з боку лінії від лінії 4 живлення, ця напруга залишається на рівні приблизно декількох кіловольт (щонайменше 20 % лінійної напруги), тобто достатньою для виявлення в сталому режимі роботи. Таким чином, у винаході пропонується використовувати вимірювання напруги V_0 нульової послідовності для виявлення D замикання на землю шляхом порівняння значення цієї напруги з граничним значенням S_0 . Напруга V_0 нульової послідовності може бути виміряна безпосередньо, за допомогою відповідного датчика 12, або розрахована за результатами вимірювання фазних напруг V_A , V_B , V_C , яке при цьому виконують за допомогою пристрою захисту типу VPIS (система вказування наявності напруги), розташованого на трансформаторі 2.

Крім того, хоча після замикання 10 у сталому режимі роботи струм I_0 нульової послідовності є дуже незначним, у винаході пропонується використовувати цей етап для визначення відносного місцезнаходження замикання 10. На фігурах 2 фактично також показано, що після перехідних явищ різниця фаз між напругою та струмом відрізняється в залежності від того, чи замикання знаходиться з боку лінії, чи з боку навантаження від місця виявлення. I_0 випереджає по фазі V_0 на $\pi/2$ з боку навантаження від замикання 10, тоді як з боку лінії різниця фаз відрізняється від $\pi/2$. Відповідно до цього винаходу застосовують обробку даних, які мають відношення до напруги V_0 та струму I_0 нульової послідовності, виявлених відповідними датчиками 14 у сталому режимі роботи.

Зокрема, у винаході використовують сигнал, який відповідає похідній dI_0/dt струму нульової послідовності у після перехідному режимі роботи, що уможливлює:

- "збільшення" сигналу I_0 , який має малу амплітуду (внаслідок компенсації котушкою 3 нейтральної точки, або створеного лише протіканням ємнісних струмів внаслідок системи ізолюваної нейтралі), шляхом множення його на кільцевий імпульс енергетичної системи 1, для кращого сприйняття;

- визначення положення цього сигналу dI_0/dt безпосередньо по відношенню до осі напруги V_0 нульової послідовності: лише у випадку замикання з боку лінії ці два значення знаходяться на тій же осі; похибки різниці фаз, внесені датчиками 12, 14, не враховують.

Для випадку ізолюваної нейтралі на Фіг. 2В також показано, що I_0 відстає по фазі на $\pi/2$ з боку лінії від замикання 10. Тоді стає можливим визначити положення сигналу dI_0/dt безпосередньо по відношенню до напруги V_0 нульової послідовності: внаслідок зсуву на 90° , внесеного диференціюванням, в залежності від того чи замикання знаходиться з боку лінії, чи з боку навантаження, два сигнали dI_0/dt та V_0 знаходяться у фазі або у протифазі. З урахуванням

для цього випадку невеликого зсуву фаз, зумовленого датчиками або неточностями ланцюгів вимірювання, ця ситуація відповідає зміні знака добутку $\Pi = V_0 \times \frac{dl_0}{dt}$ двох сигналів, що можна легко визначити на практиці.

Завдяки здійсненню виявлення у сталому режимі роботи уможливорюється застосування дискретизації з більш низькою частотою, зокрема, з частотою до 1 кГц, наприклад, 12 точок на період (що відповідає частоті дискретизації $f_{ech}=600$ Гц для енергетичної системи 1 з частотою $F=50$ Гц), що полегшує обчислення та зменшує вартість устаткування порівняно з високочастотною дискретизацією (як правило, від 2500 Гц до 3000 Гц), яка необхідна для вимірювань у перехідному режимі роботи на початку замикання 10.

Таким чином, у схематично показаному на Фіг. 3 способі за варіантом здійснення цього винаходу, якому віддається перевага, на першому етапі отримують сигнал, який характеризує напругу V_0 нульової послідовності та за варіантом, якому віддається перевага, являє собою відфільтрований сигнал V_{of} . Отримання цього сигналу може здійснюватись безпосередньо через призначений для цього датчик 12 або засобами підсумовування трьох значень фазних напруг V_A , V_B , V_C , сигнали V_{Af}^* , V_{Bf}^* , V_{Cf}^* яких за варіантом, якому віддається перевага, також є відфільтрованими та підданими дискретизації. Сигнал напруги нульової послідовності порівнюють з граничним значенням S_0 . Якщо це граничне значення не перевищене, то вважають, що замикання 10 відсутнє на лінії 4, та не приводять у дію спосіб визначення місцезнаходження; в іншому випадку замикання 10 вважають виявленим ("D").

Крім того, що будь-які прийнятні засоби можуть забезпечити індикацію виявлення замикання, після виявлення замикання 10 визначають похідну за часом сигналів, які характеризують фазні струми I_A , I_B , I_C , наприклад, шляхом програмного або апаратного диференціювання сигналів, наданих датчиками 14A, 14B, 14C струму. За варіантом, якому віддається перевага, сигнали, які характеризують похідні струмів, відфільтровують та піддають дискретизації, порядок виконання цих етапів може відрізнитися від зазначеного (наприклад, фільтрування може бути здійснене перед дискретизацією). Ці три сигнали підсумовують так, щоб отримати сигнал, який характеризує похідну dl_{of}^*/dt відфільтрованого струму I_0 нульової послідовності. Як альтернатива, струм I_0 нульової послідовності може бути виміряний безпосередньо за допомогою призначеної для цього котушки 14, та потім підданий дискретизації, фільтруванню та диференціюванню. Таке пряме вимірювання струму нульової послідовності є більш точним та уможливорює уникнення адитивних похибок датчиків при підсумовуванні результатів вимірювання струму кожної лінії.

Для отримання надійних результатів вимірювання перевагу віддають вимірюванню сигналу протягом двох періодів. За варіантом, якому віддається перевага, таку ж тривалість використовують для отримання напруги нульової послідовності, але це не є необхідним.

З урахуванням зсуву, внесеного диференціюванням струму I_0 нульової послідовності, сигнал dl_0/dt знаходиться у протифазі (180°) з напругою V_0 у випадку замикання, яке знаходиться з боку лінії від пристрою виявлення, оскільки в цьому випадку струм має ємнісне (9) походження. Таким чином, спосіб включає етап визначення різниці фаз між похідною dl_0/dt струму нульової послідовності та напругою V_0 нульової послідовності для того, щоб визначити, дорівнює вона 180° чи ні.

Точніше кажучи, етап визначення різниці фаз зазвичай включає етап визначення кута β між похідною dl_0/dt струму нульової послідовності та напругою V_0 нульової послідовності або його доповнювального кута $\alpha=180-\beta$. Це визначення може бути виконане будь-яким способом: графічним, програмним або розрахунковим вимірюванням переходу через нуль цих сигналів відповідно у максимумі та у мінімумі, або еліптичним представленням, або навіть за допомогою векторних розрахунків тощо, або будь-якою їх комбінацією. Після цього доповнювальний кут α кута β між похідною dl_0/dt струму нульової послідовності та напругою V_0 нульової послідовності порівнюють з граничним кутом S_α . Якщо кут α менше граничного кута S_α , він може вважатися рівним нулю, таким чином не зважають на можливі внесені датчиками похибки, та місцезнаходження L замикання визначають як розташоване з боку лінії від місця вимірювання. Якщо кут α є більшим, ніж граничний кут, то місцезнаходження L вказуватиме на розташування замикання з боку навантаження від місця вимірювання.

Граничний кут S_α може бути визначений відповідно до точності P_c застосовуваних датчиків 12, 14 та вибраної частоти f_{ech} , дискретизації. По суті, у випадку дискретизації з X точками на період, кожне дискретне значення охоплює кутовий сектор $360^\circ/X$, що відповідає точності $\pm 360^\circ/2X$. Амплітуда кутового сектора близько 180° між сигналами, що розглядаються, може,

таким чином, розглядатись як $\theta \leq \max\left(P_C, \frac{360 \times F}{2 \times f_{ech}}\right) = S_\alpha$, де F являє собою частоту енергетичної системи 1, тобто замикання з боку лінії відповідає $\beta \in [180 - S_\alpha, 180 + S_\alpha]$, або $|\alpha| \leq \theta_{\max}$.

Датчики 14 струму та датчики 12 напруги можуть бути такого типу, що зумовлює внесення ними самими зсувів фази (які у випадку застосування індуктивних або ємнісних мостів становлять, як правило, $\pm 90^\circ$), або зсув фази також може бути внесений у сигнали I та V іншим обладнанням, за допомогою якого отримують ці сигнали. Описаний вище принцип може бути легко модифікований шляхом відповідного коригування способу визначення граничного кута S_α .

В окремому випадку системи з ізольованою нейтраллю, проілюстрованому пунктирними лініями на Фіг. 3, внаслідок зсуву, внесеного диференціюванням струму I_0 нульової послідовності, сигнал dI_0/dt знаходиться у протифазі (180°) з напругою V_0 у випадку замикання, яке знаходиться з боку лінії від пристрою виявлення, оскільки в цьому випадку струм має ємнісне 9 походження, але залишається у фазі (зсув становить 0°), коли замикання 10 знаходиться з боку навантаження від пристрою 6₁ виявлення. Спосіб може бути спрощений у тому, що етап визначення різниці фаз включає етап обчислення добутку Π похідної dI_0/dt струму нульової послідовності та напруги V_0 нульової послідовності, це обчислення може бути виконане будь-яким відомим способом: за допомогою операційного підсилювача/помножувача, призначеної для цього інтегральної схеми або множенням із застосуванням програмного забезпечення. Після цього обчислений таким чином добуток Π порівнюють з нулем: він більше нуля у випадку замикання з боку навантаження та менше нуля у випадку замикання з боку лінії. Як альтернатива, може прийматися до уваги лише знак добутку Π : якщо добуток позитивний, то місцезнаходження L вказуватиме, що замикання знаходиться з боку навантаження від точки вимірювання. Для цього простого тесту визначення його знака добуток Π може обчислюватися у "постійно оновлюваний" спосіб, тобто для всіх дискретних значень, отриманих від попередніх етапів, або може братися до уваги середнє значення добутку протягом певного періоду часу, який за варіантом, якому віддається перевага, більше періоду енергетичної системи 1, наприклад, протягом приблизно 20 мс. У випадку, коли датчики самі вносять зсув фаз, зазвичай $\pm 90^\circ$ у випадку застосування індуктивних або ємнісних мостів, корекцію відповідного сигналу виконують у першому або другому модулі.

Спосіб за цим винаходом може бути реалізований у реле 8 захисту, у показчику 6 замикання з системою 7 попередження шляхом реалізації у відповідному пристрої 100 виявлення напрямку замикання на землю.

Пристрій 100 за варіантом здійснення винаходу, якому віддається перевага, схематично показаний на Фіг. 4. Він включає в себе перший модуль 20, який забезпечує отримання сигналу, який характеризує напругу V_0 нульової послідовності, що визначається інформацією, наданою відповідними датчиками 12A, 12B, 12C напруги, наприклад, типу VPIS. Перший модуль 20 за варіантом, якому віддається перевага, включає в себе (порядок перелічення не має значення) засоби 24 фільтрування сигналів V_A , V_B , V_C , такі як аналоговий фільтр та засоби 26 дискретизації, які за варіантом, якому віддається перевага, працюють на частоті до 1 кГц. Відфільтровані дискретизовані сигнали V_{Af}^* , V_{Bf}^* , V_{Cf}^* обробляються засобами 28 підсумовування, які забезпечують визначення напруги V_{of}^* нульової послідовності. Як альтернатива, засоби 28 підсумовування можуть бути виконані з можливістю безпосередньої обробки сигналів, отриманих за допомогою датчиків 12A, 12B, 12C, після чого виконують фільтрування та дискретизацію.

Як альтернатива, якщо енергетична система забезпечена відповідним датчиком 12, сигнал, який характеризує напругу V_0 нульової послідовності, може бути отриманий безпосередньо першим модулем 20 пристрою 100, модулі 24 фільтрування та 26 дискретизації якого у такому випадку виконані з можливістю обробки цього сигналу.

Отже, перший модуль 20 виконаний з можливістю надавати значення V_0 напруги нульової послідовності, і пристрій включає в себе засоби 30 виявлення замикання, зокрема модуль, який виконує порівняння напруги V_0 нульової послідовності, визначеної першим модулем 20, з граничним значенням S_0 . Якщо це граничне значення перевищене, то виявлено (D) замикання. Пристрій 100 може мати засоби для вказування замикання, такими як, наприклад, світловий або звуковий показчик, контактні реле або лінія зв'язку.

Крім того, засоби 30 виявлення замикання виконані з можливістю активації другого модуля 40 пристрою 100 за цим винаходом, який забезпечує отримання сигналу, який характеризує похідну за часом струму I_0 нульової послідовності. Другий модуль 40 включає в себе блок 42 диференціювання, призначений для визначення похідної за часом сигналів, які характеризують

фазні струми I_A , I_B , I_C , надані придатними для цього датчиками 14A, 14B, 14C, наприклад котушками виявлення. У показаному варіанті здійснення похідні dl_A/dt , dl_B/dt , dl_C/dt фільтрують за допомогою придатних для цього засобів 44, таких як аналоговий фільтр, і після цього відфільтровані сигнали dl_A/dt , dl_B/dt , dl_C/dt піддають дискретизації за допомогою засобів 46 дискретизації, які за варіантом, якому віддається перевага, працюють на частоті до 1 кГц. Відфільтровані дискретизовані сигнали обробляються засобами 48 підсумовування другого модуля 40 з метою визначити похідну dl_{of}^*/dt струму нульової послідовності.

Слід зазначити, що засоби обробки другого модуля 40 можуть бути організовані по-іншому: зокрема засоби 48 підсумовування можуть бути виконані з можливістю безпосередньої обробки сигналів, отриманих від датчиків 14A, 14C, 14B, після чого, у свою чергу, може вступати в дію блок 42 диференціювання. Також можуть бути по-іншому організовані фільтрування та дискретизація.

Як альтернатива, якщо енергетична система забезпечена належним датчиком 14, сигнал, який характеризує безпосередньо струм I_0 нульової послідовності, може бути отриманий другим модулем 40 пристрою 100, засоби 42 диференціювання, 44 фільтрування та 46 дискретизації якого використовуються у такому випадку для обробки безпосередньо сигналу, який характеризує струм I_0 нульової послідовності.

Результати операцій обробки від першого 20 та другого 40 модулів передають у модуль 50 визначення відносного місцезнаходження замикання 10. Модуль 50 визначення місцезнаходження включає в себе засоби для оцінки різниці фаз та, зокрема, перші засоби 52 для розрахунку кута β між двома наданими значеннями, тобто між напругою V_0 нульової послідовності та похідною dl_0/dt струму нульової послідовності. За варіантом, якому віддається перевага, ці перші засоби виконані з можливістю обчислення доповнювального до згаданого кута β кута α , тобто різниці між π та β . Далі модуль 50 включає в себе засоби 54 порівняння для визначення відносного місцезнаходження замикання, наприклад засоби для порівняння значення додаткового кута α з граничним значенням S_α , та для передачі відповідної інформації.

Якщо пристрій за винаходом призначається для застосування в енергетичній системі з компенсованою нейтраллю, засоби для оцінки різниці фаз модуля 50 визначення місцезнаходження альтернативно можуть включати в себе другі засоби 52' для обчислення добутку Π двох наданих значень, тобто напруги V_0 нульової послідовності та похідної dl_0/dt струму нульової послідовності, та засоби 54' порівняння для визначення відносного місцезнаходження замикання, наприклад засоби для порівняння значення згаданого добутку з нулем, та для передачі відповідної інформації.

При бажанні в одному модулі 50 того ж самого пристрою 100 можна виконати два різних альтернативних варіанти визначення різниці фаз, наприклад, з механізмом для вибору одного або іншого з каналів відповідно до кінцевого призначення пристрою 100 при його застосуванні на практиці.

Показаний на Фіг. 4 пристрій 100 за варіантом, якому віддається перевага, може бути пов'язаний з реле 8 захисту для електроенергетичних систем або з показником напрямку замикання для підземних або повітряних ліній 4 середньої напруги, з'єднаних в енергетичну систему 1, в такому випадку вихід модуля 50 визначення місцезнаходження ініціює спрацювання розмикача 5 ланцюга, запалювання світлового показника або приведення у дію інших засобів безпеки та/або попередження.

Отже, спосіб та пристрій за цим винаходом забезпечують:

- виявлення напрямку замикання на землю в енергетичній системі 1 середньої напруги, в тому числі з компенсованою нейтраллю та з ізольованою нейтраллю, на основі інформації про напругу нульової послідовності та струм нульової послідовності;

- виявлення напрямку замикання на землю без необхідності у застосуванні високої частоти дискретизації, завдяки використанню характеристик енергетичної системи 1 у сталому режимі роботи після замикання, а не в перехідному режимі роботи;

- виявлення напрямку замикання на землю, яке не залежить від проблем регулювання граничного значення та проблем рівня ємнісних струмів в залежності від ліній 4 живлення, та запобігає "пропусканню" замикань у випадку точної компенсації енергетичної системи 1, завдяки його ініціюванню по граничному значенню напруги нульової послідовності, а не струму нульової послідовності;

- виявлення напрямку замикання на землю, яке уможливорює підсилення даних, які передаються зі струмом, шляхом використання похідної струму нульової послідовності, а не самого цього струму;

- виявлення напрямку замикання на землю, яке уможливорює спрощення розрахунків та обробки сигналів завдяки використанню похідної струму нульової послідовності, що

уможливлює вирівнювання цієї величини безпосередньо по осі напруги нульової послідовності у випадку замикання з боку лінії від пристрою, уникаючи вдавання до розрахунків векторів струму та напруги або кута поляризації для визначення схеми спрацьовування захисту з боку лінії/навантаження;

- 5 - виявлення напрямку замикання на землю, яке є ще простішим в реалізації у випадку системи з ізолюваною нейтраллю завдяки використанню виключно добутку похідної струму нульової послідовності та напруги нульової послідовності, та перевірки його знака.

Хоча у своєму загальному варіанті здійснення цей винахід був описаний для випадку трифазної системи розподілення електроенергії, в якій нейтраль заземлена за допомогою компенсованого опору, винахід не обмежується цією конфігурацією. Винахід може використовуватися і в інших типах багатофазних енергетичних систем: зокрема, з будь-якою системою нейтралі.

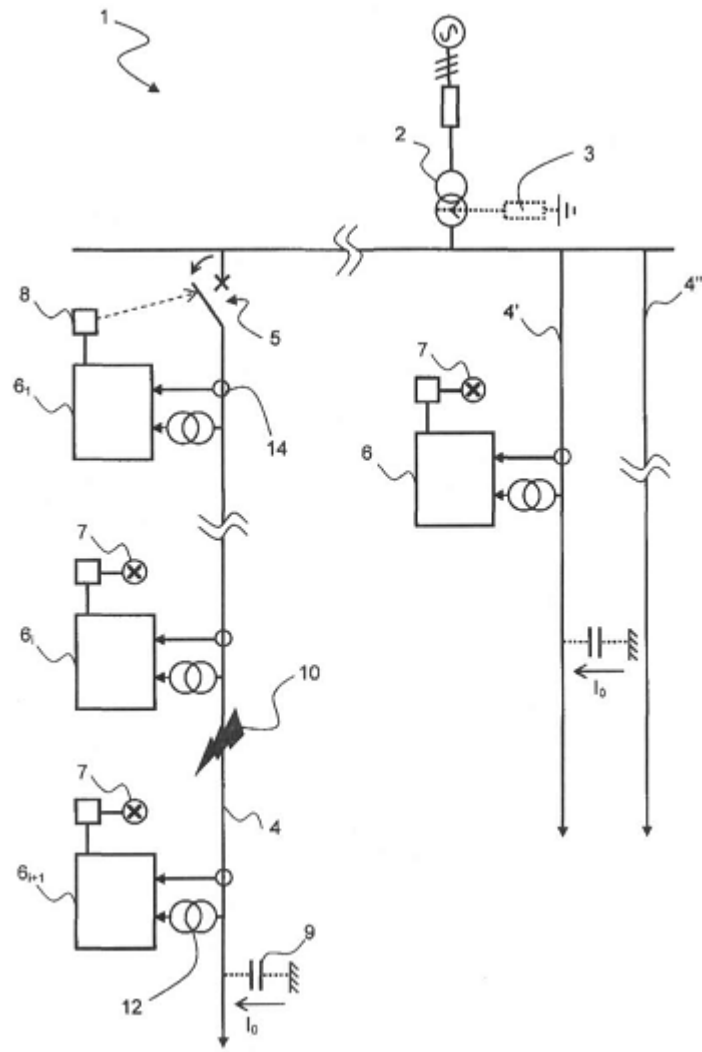
Крім того, хоча спосіб, що пропонується за цим винаходом, був описаний з визначенням та обробкою миттєвого значення напруги V_0 нульової послідовності для виявлення замикань, рівною мірою може використовуватися зміна згаданої напруги V_0 відносно її значення, визначеного протягом попереднього періоду. Цьому альтернативному варіанту здійснення віддається особлива перевага у випадку енергетичних систем з невеликим дисбалансом між фазами, внаслідок чого напруга V_0 нульової послідовності цих систем не дорівнює нулю у ситуації, коли замикання нема.

Різні схеми, модулі та функціональні особливості, які згадуються в описі варіантів здійснення винаходу, яким віддається перевага, на практиці можуть реалізовуватися за допомогою аналогових або цифрових компонентів або у програмованій формі, яка взаємодіє з мікроконтролерами або мікропроцесорами, а описані сигнали можуть мати форму електричних або електронних сигналів, або значень даних чи інформації у блоках пам'яті або регістрах, або оптичних сигналів, які можуть бути відображені, зокрема, на показниках або засобах зчитування, або механічних сигналів, які взаємодіють з виконавчими механізмами. Також датчики струму можуть відрізнятися від згаданих в описі котушок, наприклад, можуть бути застосовані датчики на основі ефекту Холла або Фарадея, або датчики магнітного опору. Напруга може виявлятися трансформаторами напруги, ємнісними дільниками, резистивними дільниками або датчиками на основі ефекту Поккельса.

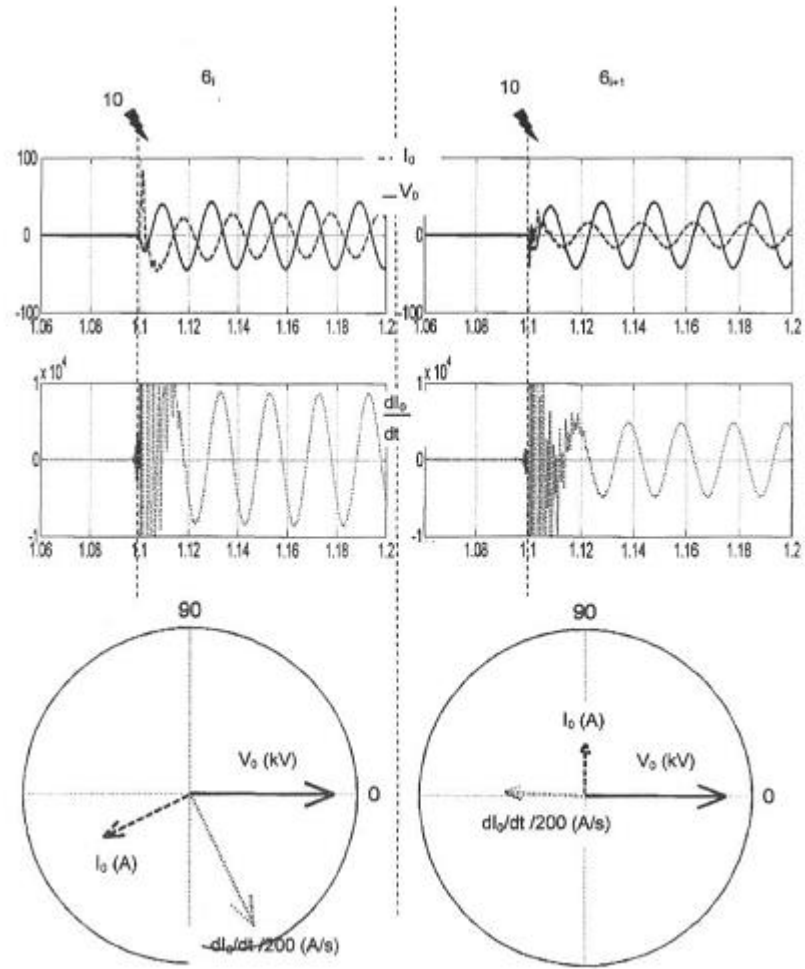
ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Пристрій (100) для виявлення напрямку замикання (10) на землю у багатофазній енергетичній системі (1) середньої напруги, який включає в себе:
 - перший модуль (20), виконаний з можливістю надавати сигнал, який характеризує напругу (V_0) нульової послідовності множини фаз;
 - другий модуль (40), виконаний з можливістю надавати сигнал, який характеризує похідну за часом струму (I_0) нульової послідовності;
 - засоби активації згаданого другого модуля (40) за сигналом (D) виявлення замикання на землю в енергетичній системі (1);
 - модуль (50) визначення місцезнаходження, який включає в себе засоби для оцінки відносно тт різниці фаз між напругою (V_0) нульової послідовності, наданою першим модулем (20), та похідною (dI_0/dt) струму нульової послідовності, наданою другим модулем (40).
2. Пристрій (100) за п. 1, який **відрізняється** тим, що засоби для оцінки різниці фаз включають в себе засоби (52) для визначення кута (β) між напругою (V_0) нульової послідовності, наданою першим модулем (20), та похідною (dI_0/dt) струму нульової послідовності, наданою другим модулем (40), і доповнювального кута (α), який доповнює згаданий кут (β) до 180° , та засоби (54) порівняння згаданого кута (β), отже і згаданого доповнювального кута (α), з певним фіксованим параметром для того, щоб визначити, чи замикання знаходиться з боку лінії, чи з боку навантаження від пристрою (100).
3. Пристрій (100) за п. 1, який **відрізняється** тим, що перший модуль (20) включає в себе засоби для прийому сигналу, який характеризує напругу (V_A , V_B , V_C) кожної з фаз енергетичної системи (1), та засоби (28) підсумовування для надання згаданої напруги (V_0) нульової послідовності.
4. Пристрій (100) за п. 1, який **відрізняється** тим, що другий модуль (40) включає в себе засоби для прийому сигналу, який характеризує струм (I) енергетичної системи (1), та блок (42) диференціювання, призначений для надання похідної (dI/dt) за часом сигналу, який характеризує струм (I).

5. Пристрій (100) за п. 4, який **відрізняється** тим, що засоби для прийому сигналу, який характеризує струм, виконані з можливістю прийому сигналу, який характеризує струм (I_A , I_B , I_C) кожної з фаз енергетичної системи (1), а другий модуль (40) включає в себе засоби (48) підсумовування для надання сигналу, який представляє струм (I_0) нульової послідовності.
- 5 6. Пристрій (100) за п. 1, який також включає в себе засоби (30) виявлення замикання на землю в енергетичній системі, з'єднані з першим модулем (20) та засобами активації другого модуля (40), при цьому засоби (30) виявлення замикання включають в себе пристрій порівняння сигналу, який характеризує напругу (V_0) нульової послідовності, з певним граничним значенням (S_0) для виявлення замикання.
- 10 7. Показчик (6) напрямку замикання на землю, який включає в себе датчики (12, 12A, 12B, 12C, 14, 14A, 14B, 14C) струму та напруги, розташовані на лінії (4, 4A, 4B, 4C) електроенергетичної системи (1), яка підлягає контролю, та пристрій (100) виявлення напрямку замикання за будь-яким із пп. 1-6, з'єднаний зі згаданими датчиками (12, 12A, 12B, 12C, 14, 14A, 14B, 14C) для отримання сигналів, які характеризують струм та напругу.
- 15 8. Реле (8) захисту від замикання на землю, яке включає в себе щонайменше один показчик замикання за п. 7 та засоби приведення у дію комутаційного пристрою (5) за результатами роботи модуля (50) визначення місцезнаходження пристрою (100) виявлення напрямку згаданого показчика.
- 20 9. Спосіб виявлення (D, L) напрямку замикання (10) на землю у багатофазній енергетичній системі (1), який включає, при отриманні сигналу (D) наявності замикання (10) на землю, запуск визначення (L) напрямку замикання (10), причому це виявлення напрямку включає такі послідовні етапи:
одержання сигналів, які характеризують напругу (V_0) нульової послідовності та похідну (dl_0/dt) за часом струму нульової послідовності;
- 25 оцінка відносно кута 180° різниці фаз сигналів, які характеризують напругу (V_0) нульової послідовності та похідну (dl_0/dt) за часом струму нульової послідовності.
10. Спосіб за п. 9, який **відрізняється** тим, що оцінка різниці фаз включає такі етапи:
визначення кута (β) між сигналами, які характеризують напругу (V_0) нульової послідовності та похідну (dl_0/dt) за часом струму нульової послідовності, і доповнювального кута (α), який
- 30 доповнює згаданий кут (β) до 180° ;
порівняння згаданого кута (β), отже і доповнювального кута (α), з певним фіксованим параметром для того, щоб вказати, чи виявлене (D) замикання знаходиться з боку навантаження, чи з боку лінії від місця, де були отримані відповідні сигнали.
- 35 11. Спосіб за п. 9, який **відрізняється** тим, що сигнал (D), який вказує на наявність замикання (10) на землю, отримують порівнянням сигналу (V_0) напруги нульової послідовності з певним граничним значенням (S_0) для виявлення замикання.
12. Спосіб за п. 9, який **відрізняється** тим, що одержання сигналів, які характеризують напругу (V_0) нульової послідовності та похідну (dl_0/dt) за часом струму нульової послідовності, включає дискретизацію на частоті до 1 кГц.
- 40 13. Спосіб захисту лінії (4) передачі струму при виникненні замикання (10) на землю, який включає приведення у дію комутаційного пристрою (5) згаданої лінії (4), якщо за допомогою способу за одним із пп. 9-12 виявлено замикання (10) на землю з боку навантаження від згаданого комутаційного пристрою (5).



Фиг. 1



Фиг. 2А

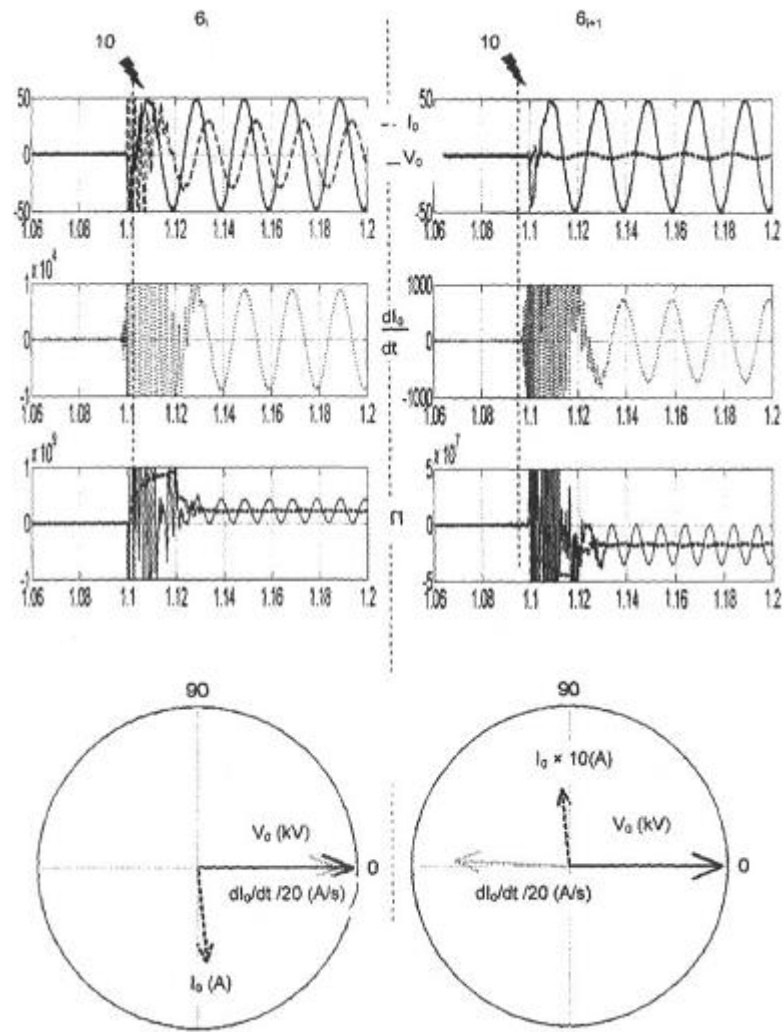
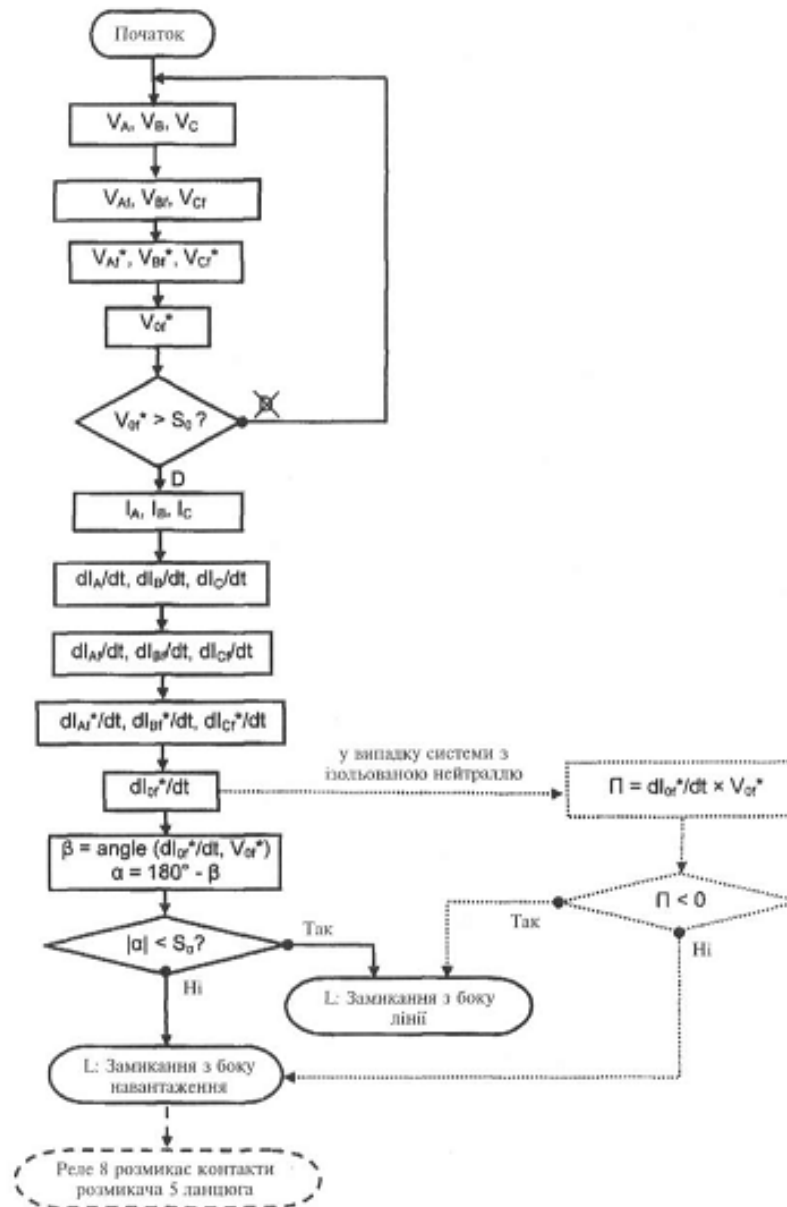


Fig. 2B



Фіг. 3

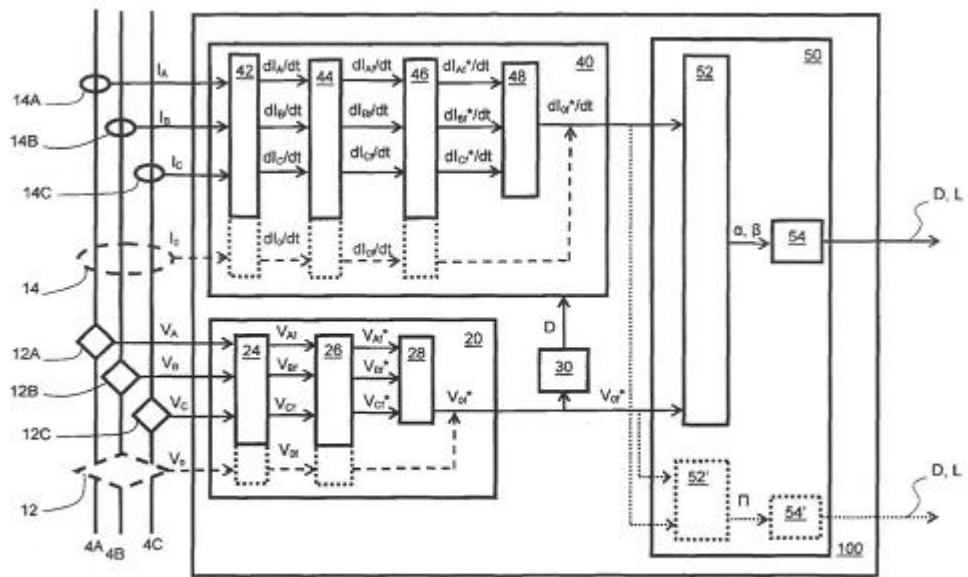


Fig. 4

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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