



УКРАЇНА

(19) UA (11) 63716 (13) U
(51) МПК
H02H 3/16 (2006.01)
G01R 31/08 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНОЇ ФАЗИ З ВИТОКОМ НА ЗЕМЛЮ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

1

2

(21) u201013824

(22) 22.11.2010

(24) 25.10.2011

(46) 25.10.2011, Бюл.№ 20, 2011 р.

(72) ЧОРНОУС ЄВГЕН ВІТАЛІЙОВИЧ

(73) ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІ-
ВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб визначення фази з витоком на землю в електричній мережі з ізолюованою нейтраллю, який полягає у визначенні проміжних значень аргументу потенціалу нейтралі на основі двох його суміжних миттєвих значень, різниця в часі між якими фіксована, та зіставленні значень аргументу

з опорними фазовими інтервалами, який відрізняється тим, що в умовах підвищеного значення опору витоку опорні фазові інтервали виконуються "плаваючими", а їх зміщення здійснюється в функції середнього по модулю значення амплітуди потенціалу нейтралі, причому рішення на ідентифікацію пошкодженої фази приймають по середньому значенню аргументу потенціалу нейтралі, одержаного з серії, що містить не менше п'яти проміжних результатів, крім того, вказане середнє значення повинно перевищувати нижню межу опорного інтервалу не менше, ніж на десять градусів.

Корисна модель належить до галузі електробезпеки, зокрема до засобів захисту людини від враження електричним струмом в мережах з ізолюованою нейтраллю, де застосовується захисне шунтування, тобто штучне автоматичне з'єднання фази, в якій виявлено витік струму, з заземлюючою мережею. Спосіб може знайти широке застосування, зокрема, в підземних дільничних мережах напругою 660 В або 1140 В.

Відомий швидкодіючий спосіб визначення пошкодженої фази з витоком струму на землю [Патент UA на КМ № 51307, МПК H02H 3/16, G01R31/08 опубл. 12.07.2010], сутність якого полягає в наступному:

1. Пошкоджена фаза визначається шляхом співставлення аргументу потенціалу нейтралі φ з опорними фазовими інтервалами.

2. Аргумент φ (проміжний результат) обчислюється з двох миттєвих значень потенціалу нейтралі $u_N(t_1)$ та $u_N(t_2)$, різниця в часі між якими Δt фіксована і знаходиться в межах від 10 до 20 градусів, шляхом вирішення рівняння:

$$\frac{\sin(\omega \cdot t_1 + \psi)}{\sin(\omega \cdot t_1 + \Delta\omega t + \psi)} - \frac{u_N(t_1)}{u_N(t_2)} = 0, \quad (1)$$

яке в межах періоду має два корені ψ_1 та $\psi_2 = \psi_1 + \pi$, один з яких сторонній.

3. З двох коренів ψ_1 та ψ_2 вибирається той, що відповідає умові:

$$\frac{u_N(t_1)}{\sin(\omega \cdot t_1 + \psi_1)} = u_N^p > 0. \quad (2)$$

де u_N^p - миттєве розрахункове значення амплітуди потенціалу нейтралі для даної вибірки даних $u_N(t_1)$ та $u_N(t_2)$.

4. Проміжні результати обчислення ці слідує один за другим з частотою від 0.9 кГц до 1.8 кГц, а рішення на спрацювання захисту (захисне шунтування) приймається на основі серії з кількох послідовних проміжних результатів, що знаходяться в межах одного й того ж опорного фазового інтервалу.

5. Головні значення опорних фазових інтервалів за умови, що система відліку визначається моментом переходу через нуль лінійної напруги u_{AB} при її зростанні (при додатній похідній) знаходяться в межах:

-75° < ψ < 45° витік в фазі В;

45° < ψ < 165° витік в фазі А; (3)

165° < ψ < 285° витік в фазі С,

В загальному випадку опорні фазові інтервали $\Delta\psi$ для будь якої фази визначаються виразом:

$$\Delta\psi_i = 105^\circ + i \cdot 120^\circ \pm 60^\circ, \quad (4)$$

де $i = -1, 0, 1$ визначають інтервали для фаз В, А, С відповідно.

Основний недолік вказаного способу полягає в тому, що при підвищеному опорі витоку ($R_h > 10$

(19) UA (11) 63716 (13) U

кОм) його швидкодія може суттєво знизитися в зв'язку з наступним. Виникнення витоку супроводжується інтенсивним перехідним процесом, динамічні складові якого приводять до похибок та спотворень зчитуваних даних $u_N(t_1)$ та $u_N(t_2)$ і, отже, проміжних результатів ψ . Крім того, свою частку в спотворенні проміжних результатів додатково вносять вищі гармоніки у складі потенціалу нейтралі та різні форми несиметрії мережі, з яких найбільш суттєвою є поперечна несиметрія, що обумовлена розкидом опорів ізоляції "фаза - земля".

Вплив всіх цих факторів особливо посилюється при підвищеному опорі витоку ($R_h > 10$ кОм), коли тривалість перехідного процесу збільшується, амплітуда потенціалу нейтралі зменшується, а фактичне значення аргументу u_ϕ , відносно якого відбуваються коливання проміжних результатів ψ , зміщується до нижньої межі опорного інтервалу. Внаслідок дії цих факторів частина проміжних значень ψ може потрапити в область опорного інтервалу відстаючої фази. Але оскільки прийняття рішення на спрацювання захисту можливе тільки при стійкій серії проміжних результатів, що вказують на один і той же опорний інтервал, то необхідний для ідентифікації час може затягнутися майже до закінчення перехідного процесу, зменшуючи швидкодію.

В основу запропонованої корисної моделі поставлена задача удосконалення способу визначення пошкодженої фази з витоком на землю в електричній мережі з ізолюваною нейтраллю, виконання якої забезпечує підвищення швидкодії способу та його стійкості до дії завад та спотворень.

Поставлена задача вирішується тим, що спосіб визначення фази з витоком в електричній мережі з ізолюваною нейтраллю, який полягає у визначенні проміжних значень аргументу потенціалу нейтралі на основі двох його суміжних миттєвих значень, різниця в часі між якими фіксована, та зіставленні значень аргументу з опорними фазовими інтервалами, згідно корисній моделі, в умовах підвищеного значення опору витоку опорні фазові інтервали виконуються "плаваючими", а їх зміщення здійснюється в функції середнього по модулю значення амплітуди потенціалу нейтралі, причому рішення на ідентифікацію пошкодженої фази приймають по середньому значенню аргументу потенціалу нейтралі, одержаного з серії, що містить не менше п'яти проміжних результатів, крім того, вказане середнє значення повинно перевищувати нижню межу опорного інтервалу не менше, ніж на десять градусів.

На фіг. 1 приведені графіки залежності фактичного значення аргументу потенціалу нейтралі u_ϕ від його амплітуди U_{MN} , взятої по відношенню до амплітуди номінальної фазної напруги $U_{Mном}$, для різних значень коефіцієнта поперечної несиметрії $k_{нс}$. Графіки на фіг. 1 позначені: 1 - мережа симетрична ($k_{нс}=0$); 2 - опір ізоляції відстаючої фази знижено, а випереджуючої підвищено на 50 % ($k_{нс}=0.5$); 3 - опір ізоляції випереджуючої фази знижено, а відстаючої підвищено на 50 % ($k_{нс}=-0.5$). Вертикальні пунктирні лінії відповідають значенням опору витоку R_h (2.3 кОм; 5 кОм та 10

кОм), що підтверджує наявність однозначного функціонального зв'язку між фактичним значенням аргументу u_ϕ , опором витоку R_h та амплітудою потенціалу нейтралі.

З графіків фіг. 1 витікає, що вплив поперечної несиметрії мережі на проміжні результати аргументу ψ порівняно незначний (похибка у визначенні ці при $R_h=10$ кОм складає $\approx 10^\circ$). Більш того, цей вплив проявляється лише при $R_h > 5$ кОм. Тому, якщо знехтувати впливом поперечної несиметрії, то залежність фактичного значення аргументу потенціалу нейтралі u_ϕ від його відносної амплітуди $U_{MN}/U_{Mном}$ (пунктир 1) можна представити (апроксимувати) для витоку в фазі А наступною лінійною функцією:

$$\psi/\phi_A \approx 65^\circ + 60 \cdot U_{MN}/U_{Mном}, \text{ (градусів)} \quad (5)$$

В загальному ж вигляді для будь-якої фази та при будь-якому опорі витоку вираз для "плаваючих" опорних інтервалів $\Delta\psi_{pi}$ має вид:

$$\Delta\psi_{pi} = 65^\circ + i \cdot 20^\circ \pm 60^\circ + 60 U_{MN}/U_{Mном} \text{ (градусів)} \quad (6)$$

де $i=-1,0, 1$ визначають опорні інтервали для фаз В, А, С відповідно.

Отже, зміщення опорних інтервалів можна здійснити, керуючись не опором витоку, а амплітудою потенціалу нейтралі. Проте в пристрої визначення пошкодженої фази (ПВФ), що реалізує запропонований спосіб, відсутня будь-яка інформація, як про значення опору витоку, так і про значення амплітуди потенціалу нейтралі.

У виразі (2) при одержанні кожного проміжного результату визначається миттєве для кожної вибірки даних $u_N(t_1)$ та $u_N(t_2)$ розрахункове значення

амплітуди потенціалу нейтралі U_N^p , знак якої використовуюється для відкидання стороннього кореня.

Величина U_N^p , як і вихідні дані, несе тягар завад та спотворень, тому її безпосереднє застосування для зміщення опорних інтервалів неможливе. Проте, якщо з серії p проміжних (для кожної вибірки)

значень U_N^p взяти її інтегральне (середнє по модулю) значення U_N^{cp} :

$$U_N^{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |U_N^p|_i, \quad (7)$$

то похибки та спотворення в значній мірі компенсуються.

Подальший аналіз показав, що одержане в (7)

інтегральне значення амплітуди U_N^{cp} уже через 3-4 вибірки відрізняється від свого істинного значення не більше ніж на 15 % і, отже, може бути застосоване для керування зміщенням опорних інтервалів.

Фіг. 2,3 та 4 ілюструють роботу способу за результатами моделювання мережі та пристрою визначення пошкодженої фази (ПВФ) за слідуєчих найбільш несприятливих умов (витік у фазі А): опір витоку $R_h=20$ кОм, внаслідок чого практична тривалість перехідного процесу затягується майже до 60 мс (три періоди); момент комутації відповідає умові найбільш інтенсивного перехідного процесу; амплітуда третьої гармоніки у складі потенціалу

нейтралі досягає 10 % від амплітуди основної гармоніки усталеної складової.

На графіках позначено:

Фіг. 2 u_N - миттєве значення потенціалу нейтралі; u_y , u_b – відповідно усталена та вільна складова першої гармоніки потенціалу нейтралі; $u^{(3)}$ – третя гармоніка; u_N^p - текуче розрахункове значення

амплітуди потенціалу нейтралі; U_N^{cp} - інтегральне (середнє по модулю) значення амплітуди потенціалу нейтралі, обчислене згідно (7) за час з моменту включення алгоритму до моменту одержання чергового проміжного результату.

Фіг. 3 - значення аргументу потенціалу нейтралі: ψ_p - проміжні, розраховані по методу двох вибірок через кожні 20° з частотою слідування 900 Гц; $\psi_{\phi} \approx 94^\circ$ - фактичне значення аргументу для усталеної складової основної гармоніки; ψ_{gr} - граничні значення аргументу 45° та 165° , обчислені за умови (4).

Фіг. 4 - та ж діаграма, що і попередня, але граничні значення, ψ_{gr} скоректовані (зміщені) згідно (6) і складають 4° та 124° .

Функціонування способу полягає в наступному. Через $\approx 80^\circ$ (4,5 мс) з моменту комутації потенціал нейтралі досягає величини, достатньої для включення в роботу пристрою визначення пошкодженої фази (ПВФ). Проміжні результати ψ_p , що слідує через кожні 20° (фіг. 3), внаслідок значних збурень в мережі мають великий розкид значень відносно істинного значення ψ_{ϕ} . Більш того, їх частина на інтервалі ωt_1 від 250° до 360° зміщена за нижнє граничне значення свого опорного інтервалу (фіг. 3).

Одночасно обчислюється інтегральне значення амплітуди U_N^{cp} , яке уже через 120° (фіг. 2) досягає рівня амплітуди усталеної складової $u_y (\approx 28 \text{ В})$. Ця інформація використовується для зміщення опорних інтервалів згідно (6) в сторону відстаючої фази на $\approx 40^\circ$, як це показано на фіг. 4. При цьому всі проміжні результати виявляються в межах свого опорного інтервалу і рішення на захисне шунтування фази А можна приймати уже через 12-15 мс (0.6...0.7 періоду) з моменту комутації.

Таким чином, запропонований спосіб, що полягає в зміщенні опорних фазових інтервалів в функціональній залежності від інтегрального розрахункового значення амплітуди потенціалу нейтралі U_N^{cp} , навіть в несприятливих умовах комутації при опорі витоку $R_h = 20 \text{ кОм}$, дозволяє підвищити швидкість в визначенні фази з витоком більше ніж в 2 рази і виключає її хибне визначення.

Приклад алгоритму, по якому можна реалізувати запропонований спосіб, приведений на фіг. 5, де позначено:

блок 1, задає систему відліку у вигляді опорних сигналів (ОС) частотою від 0.9 кГц до 1.8 кГц;

блок 2, фіксує появу в мережі витоку шляхом виділення інтегрального (середнього по модулю) значення потенціалу нейтралі і порівнянням його з пороговим значенням;

блок 3, після появи сигналу "Витік" синхронно з ОС зчитує вихідні дані $u_N(t_1)$ та $u_N(t_2)$, на основі

яких обчислює проміжні значення ψ_p та U_N^p ;

блок 4, обчислює середнє значення аргументу ψ_{cp} і інтегральне значення потенціалу нейтралі U_N^{cp} , та коректує значення нижньої межі опорних інтервалів трьох фаз α_A^H , α_B^H , α_C^H ;

блок 5, визначає опорний фазовий інтервал, до якого належить середнє значення аргументу ψ_{cp} , перевіряє умову про перевищення останнім нижньої межі опорного інтервалу не менше ніж на 10° , та видає команду на шунтування пошкодженої фази.

Робота алгоритму ПВФ, що реалізує даний спосіб, полягає в наступному.

Режим очікування (інформація про наявність витоку відсутня). Блок 1 стежить за лінійною напругою U_{AB} і кожен раз в момент її переходу через нуль при зростанні оновлює систему відліку опорних сигналів (ОС). Блок 2 зчитує миттєві значення потенціалу нейтралі і обчислює його інтегральну (середню по модулю) величину. Остання порівнюється з пороговим значенням, при перевищенні якого формується сигнал "Витік", і система переходить в робочий режим.

Робочий режим настає при появі сигналу "Витік". При цьому блокується оновлення системи відліку в блоці 1 і включається в роботу блок 3. Останній синхронно з опорними сигналами (з частотою від 0.9 кГц до 1.8 кГц) зчитує миттєві значення потенціалу нейтралі, визначає корені рівняння (1) і після перевірки умови (2) формує

проміжні результати ψ_p та U_N^p . Блок 4, одержавши ці проміжні результати, обчислює середнє значення аргументу ψ_{cp} та інтегральне значення амплітуди U_N^{cp} , по якому коректуються нижні межі опор-

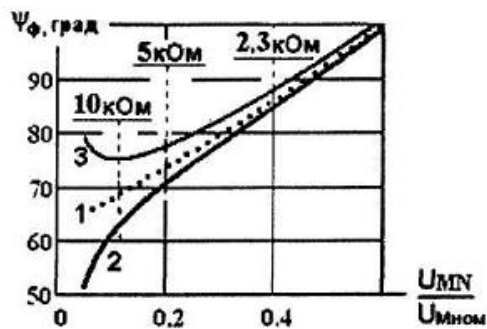
них інтервалів α_A^H , α_B^H , α_C^H . В блоці 5 встановлюється приналежність аргументу ψ_{cp} до "свого" опорного інтервалу і перевіряється додаткова умова про те, щоб значення ψ_{cp} перевищувало нижню межу інтервалу не менше ніж на 10 градусів, після чого подається команда на захисне шунтування фази з витоком.

В тому разі, коли в робочому режимі інтегральне значення потенціалу нейтралі стане менше порогового, ПВФ знову перейде в режим очікування. Завдяки цьому система захисту страхується від хибного спрацювання при короточасних випадкових збуреннях в мережі електропостачання, обумовлених, наприклад, комутацією потужних приводів.

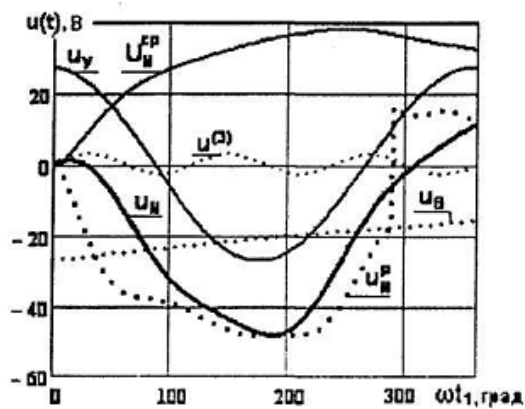
Для людини, що потрапила під напругу може виявитись характерним кількарізова стрибкоподібна зміна опору. В першу мить її опір може бути значним із-за додаткового опору одягу чи взуття. В подальшому, якщо звільнитись від дії струму не вдалося, опір може суттєво знизитись внаслідок електричного пробоя одягу (взуття) чи шкіри. Проте в цій ситуації, вкрай загрозливий для людини,

зниження R_h приводить до того, що ПВФ спрацює більш швидко та надійно, а ідентифікація фази

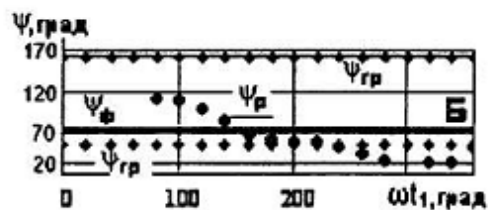
з витоком здійснюється за 2...4 мс з моменту останньої комутації.



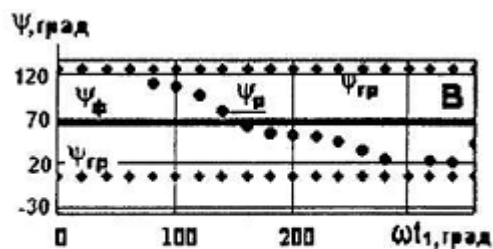
Фиг. 1



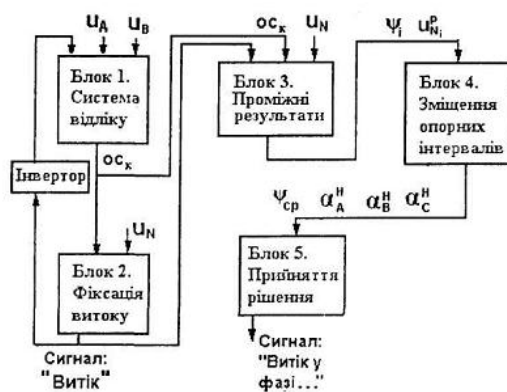
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5