



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **51307** (13) **U**  
(51) МПК (2009)  
H02H 3/16  
G01R 31/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## 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) u201000703

(22) 25.01.2010

(24) 12.07.2010

(46) 12.07.2010, Бюл.№ 13, 2010 р.

(72) ЧОРНОУС ЄВГЕН ВІТАЛІЙОВИЧ

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

(57) Спосіб визначення пошкодженої фази з витоком на землю в електричній мережі з ізолюованою нейтраллю, при якому початкова фаза потенціалу нейтралі зіставляється з опорними фазовими проміжками, заданими на основі фазних напруг, а пошкоджену фазу визначають по збігу двох зіставлень в межах одного періоду, який відрізняється тим, що по першому основному алгоритму початкову фазу потенціалу нейтралі визначають з відношення двох його миттєвих значень, що зчитані в

суміжні моменти часу з фіксованою різницею між ними, і зіставляють з опорними фазовими проміжками, повторюючи цю дію кілька десятків разів за період, а по другому контрольному алгоритму пошкоджену фазу визначають тим, що різниця між моментами переходу через нуль двох суміжних фазних напруг з протилежними знаками похідних два рази за період зіставляється з опорним інтервалом в межах від  $-60^\circ$  до  $60^\circ$ , а різниця між моментами переходу через нуль потенціалу нейтралі та суміжної з ним фазної напруги, що має той же знак похідної, також два рази за період зіставляється з опорним інтервалом в межах від  $-30^\circ$  до  $30^\circ$ , причому опорні фазові проміжки базуються на лінійній напрузі, а пошкоджена фаза визначається за збігом суміжних 4 або 5 зіставлень по основному і 1 чи 2 зіставлень по контрольному алгоритму.

Корисна модель відноситься до області 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. Вона може знайти широке застосування, зокрема, в підземних дільничних мережах напругою 660 В або 1140 В.

Зазвичай для визначення пошкодженої фази в основному використовуються фазові чи амплітудні параметри напруг мережі або, що найчастіше, напруги зсуву нейтралі трансформатора (потенціалу нейтралі відносно землі). Відомий спосіб оцінки струму витоку й опору шляху витоку в трифазних мережах з ізолюованою нейтраллю трансформатора і визначення фази з витоком, що включає введення між струмоведучими частинами контрольованої системи і землею допоміжного джерела, частота напруги якого та ж, що й у напруги зазначеної системи, і вимірювання вектора напруги зсуву нейтралі та модуля фазної напруги в двох станах цієї системи, одержуваних шляхом зміни фази

напруги допоміжного джерела на протилежну, який відрізняється тим, що в обох станах системи вимірювання виконують після завершення перехідного процесу, обумовленого переходом з одного стану в інший і при тому ж самому значенні фази напруги контрольованої мережі, але протилежному значенні фази напруги допоміжного джерела [Патент UA на винахід № 10320, МПК G01R31/08, опубл. 15.11.2005].

Основний недолік цього способу для захисту людини полягає в його недостатній швидкодії. Крім того, при наявності в мережі динамічних складових перехідного процесу чи поперечної асиметрії його надійність недостатня.

Найбільш близьким до пропонованого є спосіб визначення пошкодженої фази на землю в трифазній мережі з ізолюованою нейтраллю [Патент РФ на изобретение №2150167, МПК H02H3/16, G01R31/08, опубл. 27.05.2000]. Його сутність зводиться до того, що початкова фаза (аргумент) потенціалу нейтралі два рази за кожен період зіставляється з опорним фазовим проміжком, який, по своїй суті, створює систему відліку для аргументу

(13) **U**

(11) **51307**

(19) **UA**

потенціалу нейтралі, причому, вказана система відліку базується на фазних напругах мережі. Таким чином, за один період напруги мережі даний спосіб обновлює та забезпечує два результати, причому, ці результати вважаються достовірними, якщо вони збігаються в інтервалі між двома суміжними переходами через нуль потенціалу нейтралі, тобто в межах одного періоду.

Реальна, особливо дільнична підземна мережа напругою 660В або 1140В, створює серйозні завади та спотворення в роботі системи визначення пошкодженої фази. По перше, це динамічні складові перехідного процесу, яким неодмінно супроводжується виникнення витоку. По друге, це часткова поперечна асиметрія реальної мережі та наявність вищих гармонічних складових. По третє, це похибки, що супроводжують процес зчитування та обробки інформації.

Враховуючи ці фактори, найбільш близький до пропонованого спосіб має ряд недоліків:

1. Два результати за один період, не забезпечують достатньої швидкодії способу.

2. Для забезпечення надійності визначення ушкодженої фази автори пропонують ввести витримку часу тривалістю до двох періодів коливань промислової частоти, що значно збільшує загальний час роботи способу.

3. В умовах інтенсивних завод та спотворень, що діють в мережі, не виключається одержання двох однакових хибних результатів і, отже, помилкове визначення пошкодженої фази.

4. В якості величин, що задають систему відліку (опорні фазові проміжки), використовуються фазні напруги, які особливо чутливі до завод, обумовлених динамічними складовими та поперечною асиметрією мережі.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу визначення пошкодженої фази з витоком на землю в електричній мережі з ізолюваною нейтраллю, в якому, за рахунок паралельного використання двох, працюючих з різними даними та за різними законами алгоритмів, частково компенсується вплив завод та спотворень реальної мережі і разом з кількаретовим дублюванням результатів підвищується надійність та швидкодія визначення пошкодженої фази.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення пошкодженої фази з витоком на землю в електричній мережі з ізолюваною нейтраллю, при якому початкова фаза потенціалу нейтралі зіставляється з опорними фазовими проміжками, заданими на основі фазних напруг, а пошкоджену фазу визначають по збігу двох зіставлень в межах одного періоду, згідно корисної моделі, по першому основному алгоритму початкову фазу потенціалу нейтралі визначають з відношення двох його миттєвих значень, що зчитані в суміжні моменти часу з фіксованою різницею між ними, і зіставляють з опорними фазовими проміжками, повторюючи цю дію кілька десятків разів за період, а по другому контрольному алгоритму пошкоджена фаза визначається тим, що різниця між моментами переходу через нуль двох суміжних фазних напруг з протилежними знаками похідних два рази за період зіставляється з опорним інтер-

валом в межах від  $-60^\circ$  до  $60^\circ$ , а різниця між моментами переходу через нуль потенціалу нейтралі та суміжної з ним фазної напруги, що має той же знак похідної, також два рази за період зіставляється з опорним інтервалом в межах від  $-30^\circ$  до  $30^\circ$ , причому, опорні фазові проміжки базуються на лінійній напрузі, а пошкоджена фаза визначається за збігом суміжних 4 або 5 зіставлень по основному і 1 чи 2 зіставлень по контрольному алгоритму.

Сутність першого алгоритму полягає у визначенні початкової фази потенціалу нейтралі в заданій системі відліку на основі вимірювання його миттєвих значень  $u_N(t_1)$  та  $u_N(t_2)$  для суміжних значень часу (кута)  $\omega t_1$  і  $\omega t_2$ , різниця між якими  $\Delta\omega t$  фіксована. Для запобігання значних похибок даних, зчитаних в області переходу потенціалу нейтралі через нуль, їх попередньо перевіряють по обмеженню:

$$0,1 < |u_N(t_1)/u_N(t_2)| < 10,0, \quad (1)$$

Дані, що не відповідають умові (1) відкидаються, а система ідентифікації переходить до наступної групи даних.

Шуканий аргумент потенціалу нейтралі  $\psi$  визначається з рівняння:

$$\frac{\sin(\omega t_1 + \psi)}{\sin(\omega t_1 + \Delta\omega t + \psi)} = \frac{u_N(1)}{u_N(2)} = 0, \quad (2)$$

шляхом його вирішення методом, наприклад, половинного ділення, причому, з двох суміжних коренів цього рівняння в межах одного періоду, відбирається той, що відповідає умові:

$$\frac{u_N(1)}{\sin(\omega t_1 + \psi_1)} > 0, \quad (3)$$

В залежності від величини проміжку  $\Delta\omega t$  за один період по основному алгоритму можна одержати від 15 до 30 результатів.

На Фіг.1 показані області, в яких перебуває значення аргументу (початкової фази) потенціалу нейтралі в залежності від того, яка фаза мережі пошкоджена. За початок відліку часу (кута) прийнято момент переходу через нуль лінійної напруги  $u_{AB}$  при її зростанні. В ідеальному випадку (мережа симетрична, динамічні складові затухли, вищі гармоніки відсутні) в залежності від значення опору витоку аргумент потенціалу нейтралі знаходиться в наступних межах

$$\begin{aligned} 60^\circ + 2k \cdot 360^\circ < \psi < 150^\circ + 2k \cdot 360^\circ & \text{ витік в фазі А;} \\ -60^\circ + 2k \cdot 360^\circ < \psi < 30^\circ + 2k \cdot 360^\circ & \text{ витік в фазі В;} \\ 180^\circ + 2k \cdot 360^\circ < \psi < 270^\circ + 2k \cdot 360^\circ & \text{ витік в фазі С.} \end{aligned} \quad (4)$$

Між інтервалами (4) є "нічийний" проміжок величиною в 30 градусів, який в умовах завод та спотворень реальної мережі частково перекривається. Тому звужимо його до нуля, розширюючи проміжки (4) на 15 градусів в обидві сторони, як це вказано на Фіг.1, і, таким чином, визначаємо опорні фазові проміжки, відповідність яким контролюється першим алгоритмом.

$$\begin{aligned} 45^\circ + 2k \cdot 360^\circ < \psi < 165^\circ + 2k \cdot 360^\circ & \text{ витік в фазі А;} \\ -75^\circ + 2k \cdot 360^\circ < \psi < 45^\circ + 2k \cdot 360^\circ & \text{ витік в фазі В;} \\ 165^\circ + 2k \cdot 360^\circ < \psi < 285^\circ + 2k \cdot 360^\circ & \text{ витік в фазі С.} \end{aligned} \quad (5)$$

Таким чином, значення аргументів потенціалу нейтралі, одержаних з (2) та (3) з урахуванням обмеження (1) перевіряються на відповідність

проміжкам (5), що дозволяє визначити пошкоджену фазу.

Сутність другого (контрольного) алгоритму полягає в тому, що в режимі витоку фіксуються моменти переходу через нуль фазних напруг  $u_A$ ,  $u_B$ ,  $u_C$  при додатній похідній відповідно  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\gamma_1$ , і при від'ємній відповідно  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$ ,  $\gamma_2$ , а також аналогічні точки потенціалу нейтралі  $\theta_1$  і  $\theta_2$ , які внаслідок обмеження (1) не використовуються в основному алгоритмі.

На Фіг.2 демонструється робота контрольного алгоритму в межах 1.25 періоду при пошкодженні в різних фазах мережі - А, В та С. Затемненими відрізками на лініях фазних напруг і потенціалу нейтралі  $u_A$ ,  $u_B$ ,  $u_C$ ,  $u_N$  позначені області, в яких, в залежності від величини опору витоку, знаходяться точки переходу через нуль вказаних напруг (контрольні точки)  $\alpha_1 \dots \gamma_2$ , та  $\theta_1$  і  $\theta_2$ . Стрілки на відрізках показують напрям, в якому ці точки переміщуються при зміні опору витоку від максимального значення (20...25) кОм до нуля. Наприклад, при витоку в фазі А точка  $\alpha_2$  при зміні опору

витоку від  $\infty$  до 0 зміщується "вліво" від  $210^\circ$  до  $120^\circ$ , а точка  $\beta_2$  навпаки зміщується "вправо" від  $150^\circ$  до  $180^\circ$ . Їх різниця (контрольний результат)  $\alpha_2 - \beta_1$  при цьому зміщується в інтервалі від  $60^\circ$  до  $-60^\circ$ .

Таким чином, перша група контрольних результатів (два за період при витоку в фазі А), позначені  $\alpha_1 - \beta_2$ ,  $\alpha_2 - \beta_1$ , формується на основі обчислення різниці між значеннями суміжних контрольних точок  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , що мають різні індекси (тобто переходять через нуль при різних знаках похідної). Друга група  $\theta_1 - \gamma_1$ ,  $\theta_2 - \gamma_2$  контрольних результатів (також два за період) формується на основі обчислення різниці між значеннями моментів переходу через нуль потенціалу нейтралі  $\theta$  та найближчою точкою  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , що має той же індекс. В обох випадках значення одержаної різниці порівнюється з опорними інтервалами, після чого формується контрольний результат. На Фіг.2 таких контрольних результатів в межах періоду чотири. Вони позначені відповідними різницями.

Таблиця

Контрольні точки	Інтервал при витоку в фазі, градусів			Опорний інтервал, гр.
	А	В	С	
$\alpha_1 - \beta_2$ або $\alpha_2 - \beta_1$	60...-60	60...120	60...120	60...-60
$\beta_1 - \gamma_2$ або $\beta_2 - \gamma_1$	60...120	60...-60	60...120	
$\gamma_1 - \alpha_2$ або $\gamma_2 - \alpha_1$	60...120	60...120	60...-60	
$\theta_1 - \gamma_1$ або $\theta_2 - \gamma_2$	30...-30	150...30	-90...-90	30...-30
$\theta_1 - \beta_1$ або $\theta_2 - \beta_2$	150...30	-90...-90	30...-30	
$\theta_1 - \alpha_1$ або $\theta_2 - \alpha_2$	-90...-90	30...-30	150...30	

В таблиці приведені опорні інтервали для пошкоджень в різних фазах, яким відповідають значення контрольних точок в залежності від опору витоку (від максимального до нуля зліва направо). Контрольні результати, згідно другого алгоритму, визначаються шляхом порівняння різниць між контрольними точками в їх різних комбінаціях з опорними інтервалами.

Безпосередньо з таблиці витікають наступні закономірності для визначення чергового результату роботи другого (контрольного) алгоритму:

а) перша група контрольних результатів:

- 60 <  $\alpha_1 - \beta_2$  або  $\alpha_2 - \beta_1$  < 60 витік в фазі А;
- 60 <  $\beta_1 - \gamma_2$  або  $\beta_2 - \gamma_1$  < 60 витік в фазі В;
- 60 <  $\gamma_1 - \alpha_2$  або  $\gamma_2 - \alpha_1$  < 60 витік в фазі С;

б) друга група контрольних результатів:

- 30 <  $\theta_1 - \gamma_1$  або  $\theta_2 - \gamma_2$  < 30 витік в фазі А;
- 30 <  $\theta_1 - \alpha_1$  або  $\theta_2 - \alpha_2$  < 30 витік в фазі В;
- 30 <  $\theta_1 - \beta_1$  або  $\theta_2 - \beta_2$  < 30 витік в фазі С;

В обох групах результатів використовуються різниці координат контрольних точок. По цій причині опорні інтервали для них однозначні.

Таким чином, за один період частоти мережі по першому алгоритму формується від 15 до 30 результатів, а по другому (контрольному) 4.

Рішення на спрацювання захисту (захисне шунтування) приймається, коли чергова серія з 6 або 7 суміжних результатів, серед яких 1 чи 2 контрольні, вказують на одну і ту ж аварійну фазу.

Робота способу по визначенню пошкодженої фази пояснюється на Фіг.5, 6, та 7 де зображено перехідний процес в трифазному колі в результаті замикання фази А на землю через опір 2,5кОм в момент  $t=0$ . Умови числового експерименту наступні: мережа симетрична, напруга  $U=660V$ , ємність мережі 0,8мкФ/фазу, опір ізоляції "фаза - земля"  $R=75k\Omega$ , комутація (момент виникнення витоку) вибрана найбільш несприятливою (вільна складова потенціалу нейтралі в момент комутації практично рівна амплітуді його усталеної складової).

На Фіг.5 позначено:  $u_N$ ,  $u_{\gamma C}$ ,  $u_{C\gamma}$  - відповідно миттєве значення потенціалу нейтралі, а також його усталена та вільна складові;  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  - моменти переходу потенціалу нейтралі через нуль відповідно при додатній та від'ємній похідній. Постійна часу експоненціальної складової  $\tau=5,5ms$  ( $\approx 98^\circ$ ).

На Фіг.6, де приведені розрахункові осцилограми фазних напруг, позначено:  $e_A$  - ерс фази А джерела живлення;  $u_A$ ,  $u_B$ ,  $u_C$  - відповідно миттєві значення фазних напруг фаз А, В, С;  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\gamma_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$ ,  $\gamma_2$  - точки переходу через нуль фазних напруг відповідно при додатній та від'ємній похідній.

На Фіг.7 позначено: точки 1, 2...13, 14 - моменти появи результатів роботи першого (основного) алгоритму, одержані через кожні 25 градусів; K1, K2, K3 - моменти появи результатів роботи другого (контрольного) алгоритму;  $\psi_N=98,3^\circ$  - фактичне значення аргументу (початкової фази) потенціалу нейтралі при відсутності спотворень та завад.

При інтенсивному перехідному процесі, що приведений на Фіг.5, потенціал нейтралі досягає значення, достатнього для запуску системи ідентифікації, тільки через 4мс ( $\approx 75^\circ$ ) з моменту комутації. По цій причині перші дві контрольні точки  $\alpha_1 \approx 30^\circ$  та  $\alpha_2 \approx 55^\circ$  ігноруються. Перший алгоритм дає результати, починаючи з  $80^\circ$  (точки 1, 2... на Фіг.7), причому, всі його результати знаходяться в інтервалі від  $80^\circ$  до  $120^\circ$  і відповідають умові (5) при пошкодженні в фазі А. Відсутність результатів в інтервалі від  $230^\circ$  до  $290^\circ$ , пояснюється тим, що в цій зоні потенціал нейтралі знаходиться близько нуля і зчитувані дані відкидаються внаслідок невідповідності умові (1). Таким чином, в даному числовому прикладі роботи способу за перший період одержані 12 результатів роботи першого алгоритму, які всі вказали на пошкодження фази А, причому, при необхідності швидкодія алгоритму може бути підвищена шляхом зменшення проміжку між зчитуванням даних до  $15^\circ$  чи  $10^\circ$ .

Робота другого (контрольного) алгоритму базується на точках переходу через нуль фазних напруг та потенціалу нейтралі. В даному прикладі на першій половині періоду ці точки ідуть в наступній послідовності (Фіг.7):  $\alpha_1 \approx 30^\circ$ ,  $\theta_2 \approx 55^\circ$ ,  $\gamma_2 \approx 80^\circ$ ,  $\alpha_2 \approx 175^\circ$ ,  $\beta_1 \approx 180^\circ$ . Перші дві точки, як вже відмічено, ігноруються внаслідок затримки в зростанні потенціалу нейтралі. По цій же причині залишається без наслідків поява третьої точки, оскільки її нема з чим порівнювати. І лише поява четвертої та п'ятої точок приводять до першого контрольного результату  $K1 = \alpha_2 - \beta_1 \approx 4^\circ$ , що відповідає умові (6) і сигналізує про пошкодження фази А. Саме в цей момент може бути подана команда на захисне шунтування останньої.

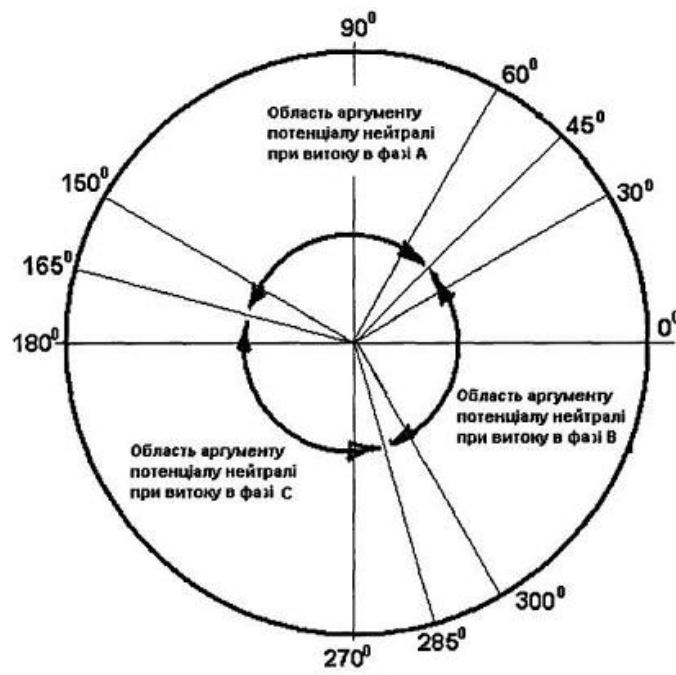
Можливе виникнення ситуації, коли внаслідок дії других, непередбачених завад чи спотворень один чи два результати роботи першого алгоритму (наприклад другий або четвертий) чи результат K1

роботи другого алгоритму виявляться хибними, тобто будуть відрізнятися від суміжних. В цьому разі сигнал на шунтування буде затримано, а ідентифікація продовжується до появи наступної серії однотипних результатів. Наступні контрольні результати  $K2 = \theta_1 - \gamma_1 \approx 2^\circ$  і  $K2 = \alpha_1 - \beta_2 \approx 6^\circ$  відповідають умовам (7) та (6) про пошкодження фази А. Вони появляються відповідно в моменти  $\approx 270^\circ$  та  $\approx 360^\circ$ .

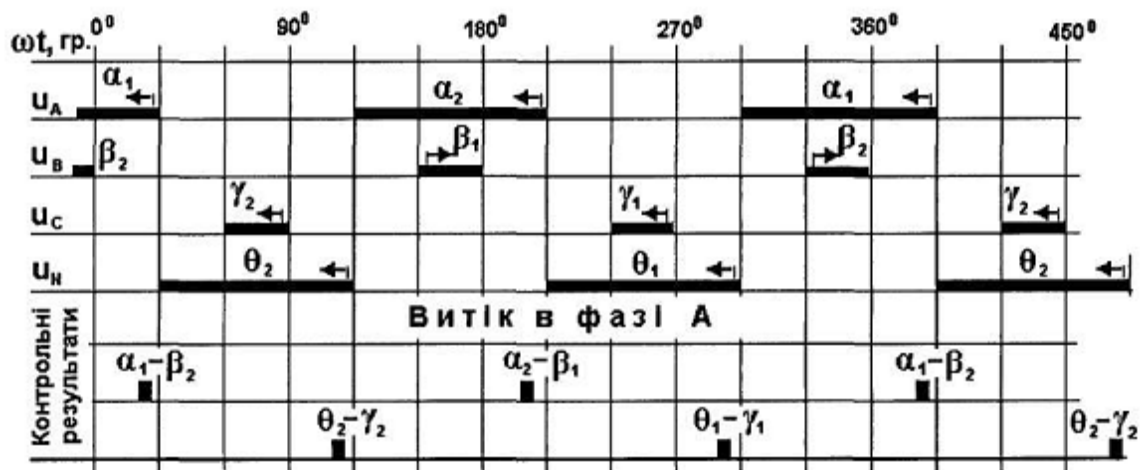
Таким чином, в даному прикладі пошкоджена фаза визначається через половину періоду ( $\approx 10$ мс), а при більш несприятливих умовах в межах одного періоду (від 15мс до 20мс).

При значних завадах та спотвореннях, викликаних, наприклад, тривалим перехідним процесом (це можливо, якщо опір витоку перевищить 15кОм) ідентифікація може затягнутися на два чи навіть три періоди з моменту фіксації витоку. Така ситуація не є типовою, хоч і не виключається. Та найважливішим є те, що навіть у цьому разі хибна ідентифікація виключена. Практично неймовірно, щоб кілька суміжних результатів роботи двох алгоритмів, що використовують різні дані і функціонують за різними правилами, вказали на одну і ту ж "здорову" фазу, тобто привели до помилкового рішення.

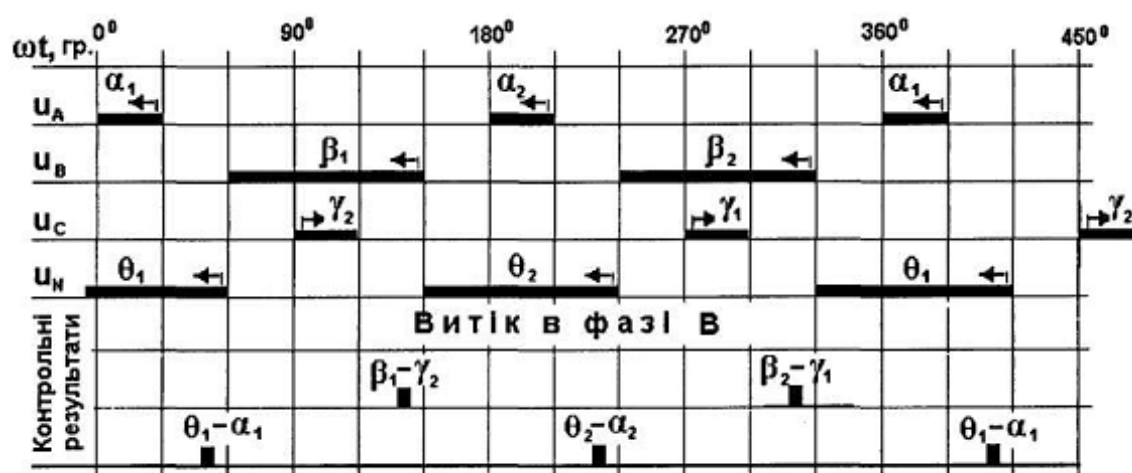
Важливим фактором запропонованого способу швидкодійної ідентифікації та захисного шунтування є те, що при застосуванні, наприклад, тиристорних короткозамикачів людина звільняється від дії напруги вже через (25...35)мс. Час для захисного відключення, регламентований для підземних мереж напругою 1140В, складає 40мс. І, найважливіше, людина звільняється від впливу електродивигунів, що навіть після аварійного відключення мережі продовжують генерувати небезпечну напругу.



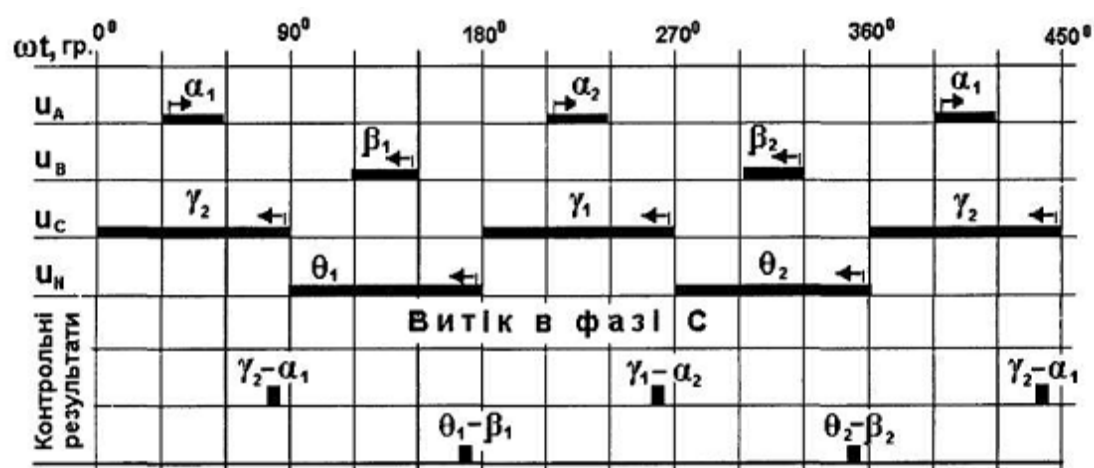
Фиг. 1



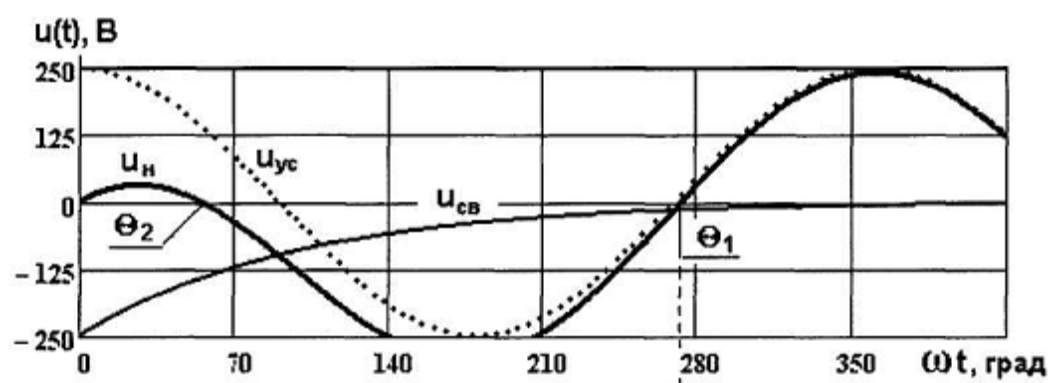
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

