



УКРАЇНА

(19) UA (11) 29534 (13) C2

(51) 6 H02H3/16, G01R31/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНОЇ ФАЗИ НА ЗЕМЛЮ В ТРИФАЗНІЙ МЕРЕЖІ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ**

(21) 99041878

(22) 02.04.1999

(24) 15.11.2000

(46) 15.11.2000, Бюл. № 6, 2000 р.

(72) Сергін Євген Віталійович, Кононенко Віктор Прокопович

(73) Сергін Євген Віталійович, Кононенко Віктор Прокопович

(56) Авторське свідоцтво СРСР № 943959, МПК H02H3/16, 1988, прототип.

(57) 1. Спосіб визначення пошкодженої фази на землю в трифазній мережі з ізольованою нейтраллю, при якому вимірюють напругу нульової послідовності, формують із затримкою сигнал про появу небезпечного витоку на землю по збільшенню напруги нульової послідовності, а також для кожної фази мережі задають опорний фазовий проміжок величиною не більше за  $120^\circ$ , що включає в себе значення початкової фази живильної фазної напруги, контролюють відповідність опорному фазо-

вому проміжку значення початкової фази напруги нульової послідовності, визначають пошкоджену фазу мережі – фіксують фазу мережі як пошкоджену, при наявності сигналу про появу небезпечного витоку на землю, який **відрізняється** тим, що для кожної фази мережі задають другий опорний фазовий проміжок, зміщений на  $180^\circ$  відносно першого і рівний йому по величині, контролюють другу відповідність другому опорному фазовому проміжку значення початкової фази інверсної напруги нульової послідовності, причому фіксують фазу мережі як пошкоджену по виявленню першої і другої згаданої відповідності за один інтервал проходження один за одним двох нульових переходів напруги нульової послідовності.

2. Спосіб по п.1, який **відрізняється** тим, що величину затримки формування сигналу про появу небезпечного витоку на землю задають убуючою функцією величини напруги нульової послідовності.

Винахід належить до області електротехніки, зокрема, електробезпеки і призначений для забезпечення захисту від ураження електричним струмом і інших небезпечних наслідків витоків струму на землю шляхом визначення і подальшого захисного шунтування пошкодженої фази мережі на землю. Винахід розрахований, передусім, для застосування в підземних трифазних електричних мережах з ізольованою нейтраллю напругою до 1140В.

У найбільш близькому до того, що пропонується, способі визначення пошкодженої фази на землю в трифазній мережі з ізольованою нейтраллю, при якому вимірюють напругу нульової послідовності (блоком вимірювання напруги нульової послідовності, включеним між штучною нульовою точкою мережі і землею), формують із затримкою (на елементі затримки) сигнал про появу небезпечного витоку на землю по збільшенню напруги нульової послідовності (що виявляється амплітудним селектором), а також для кожної фази мережі задають опорний фазовий проміжок величиною не більше за  $120^\circ$  (за допомогою формувачів опорних імпульсів, названих в оригіналі інформаційними,

що перетворюють живильні фазні напруги в імпульси, тривалістю яких задаються опорні фазові проміжки), що включає в себе значення початкової фази живильної фазної напруги, контролюють відповідність опорному фазовому проміжку значення початкової фази напруги нульової послідовності (за допомогою D-тригера, що запам'ятовує значення опорного імпульсу по фронту тактового імпульсу, формованого з напруги нульової послідовності) і визначають пошкоджену фазу мережі – фіксують фазу мережі як пошкоджену, по виявленню згаданої відповідності при наявності сигналу про появу небезпечного витоку на землю (логічним елементом 1, що виявляє збіг у часі виявленої відповідності і сигналу про появу небезпечного витоку на землю) [1].

Спосіб дозволяє призначати опорні фазові проміжки з максимально можливою величиною –  $120^\circ$ , при перевищенні якої порушується однозначність визначення пошкодженої фази в трифазній мережі. Це забезпечує необхідну з умов електробезпеки чутливість до небезпечного витоку на землю на фоні можливої природної несиметрії опорів ізоляції в фазах мережі. Однак, при цьому

знижується надійність роботи способу в зв'язку з погіршенням стійкості проти помилкового визначення пошкодженої фази з високоомним небезпечним витоком на землю. Погіршення вказаної стійкості зумовлене вимушено малою величиною затримки формування сигналу про появу небезпечного витоку на землю. Так, затримка є в способі головним засобом забезпечення стійкості проти помилкового визначення пошкодженої фази і стійкості проти помилкових спрацювань – визначення фази мережі як пошкодженої під впливом імпульсних перешкод при відсутності небезпечного витоку. Нижня границя величини затримки визначається умовою стійкості проти помилкових спрацювань. Верхня ж границя визначається умовами електробезпеки і розраховується на основі допустимого часу існування в мережі (до захисного шунтування) струму через людину (з мінімальним опором) за вирахуванням часу спрацювання виконавчих пристроїв. До мереж напругою 1140 В величина затримки може бути допущена до двох періодів коливальності промислової частоти. При більш високій напрузі мережі затримка, зрозуміло, повинна бути менше. Поява високоомних однофазних небезпечних витоків може супроводитися перехідним процесом з тривалістю, що перевищує вказану величину затримки. Такий перехідний процес в сукупності з іншими перешкодами непромислової частоти може "відводити" результат відліку початкової фази напруги нульової послідовності за границі опорного фазового проміжку, що відноситься до пошкодженої фази мережі. У результаті сусідня фаза мережі помилково визначається як пошкоджена. Усунення розглянутого недоліку можливе шляхом перевірки результату визначення пошкодженої фази на достовірність. Однак, просте повторення операцій способу з метою такої перевірки неприйнятне через додаткові витрати часу, недопустимі при визначенні пошкодженої фази мережі з низькоомним, найбільш небезпечним витоком на землю.

У основу винаходу поставлена задача підвищення надійності роботи способу визначення пошкодженої фази на землю в трифазній мережі з ізолюваною нейтраллю шляхом перевірки на достовірність результату визначення пошкодженої фази без додаткових витрат часу за рахунок збільшення частоти отримання результату з одного до двох разів за повне коливання напруги нульової послідовності, а також здійснення перед визначенням пошкодженої фази на землю затримки, залежної від опору витоку. Використання винаходу забезпечить стійкість проти помилкового визначення пошкодженої фази без втрати швидкодії при найбільш небезпечних витоках на землю, а також підвищить швидкість із збереженням стійкості проти помилкових спрацювань.

Для цього у відомому способі визначення пошкодженої фази на землю в трифазній мережі з ізолюваною нейтраллю, при якому вимірюють напругу нульової послідовності, формують із затримкою сигнал про появу небезпечного витоку на землю по збільшенню напруги нульової послідовності, а також для кожної фази мережі задають опорний фазовий проміжок величиною не більше  $120^\circ$ , що включає в себе значення початкової фази живильної фазної напруги, контролюють від-

повідність опорному фазовому проміжку значення початкової фази напруги нульової послідовності, визначають пошкоджену фазу мережі – фіксують фазу мережі як пошкоджену, при наявності сигналу про появу небезпечного витоку на землю, додатково для кожної фази мережі задають другий опорний фазовий проміжок, зміщений на  $180^\circ$  відносно першого і рівний йому по величині, контролюють другу відповідність другому опорному фазовому проміжку значення початкової фази інверсної напруги нульової послідовності, причому фіксують фазу мережі як пошкоджену, по виявленню першої і другої згаданої відповідності за один інтервал проходження один за одним двох нульових переходів напруги нульової послідовності.

Вказані відмітні суттєві ознаки достатні у всіх випадках, на які розповсюджується об'єм правової охорони винаходу. Нижче приводяться відмітні ознаки, що характеризують винахід в окремому випадку.

Пропонується варіант завдання величини затримки формування сигналу про появу небезпечного витоку на землю убуваючою функцією величини напруги нульової послідовності.

Відмітними ознаками нового способу, достатнім у всіх випадках, на які розповсюджується об'єм правової охорони, є для кожної фази мережі:

- завдання другого опорного фазового проміжку, зміщеного на  $180^\circ$  відносно першого і рівного йому по величині;

- контроль другої відповідності другому опорному фазовому проміжку значення початкової фази інверсної напруги нульової послідовності;

- додаткова умова визначення пошкодженої фази мережі – по виявленню першої і другої згаданої відповідності за один інтервал проходження один за одним двох нульових переходів напруги нульової послідовності.

Виявлення тільки однієї відповідності, яке наступає першим у часі, є умовою отримання попереднього результату, необхідного для визначення пошкодженої фази мережі. Виявлення для тієї ж фази мережі іншої відповідності, наступаючої услід за першим – протягом одного інтервалу проходження один за одним двох нульових переходів напруги нульової послідовності, підтверджує достовірність попереднього результату і є умовою отримання кінцевого результату – визначення пошкодженої фази. Кожне з вказаних умов виявляється один раз за повне коливання напруги нульової послідовності з відносним зміщенням у часі на половину повного коливання. У сукупності забезпечується оновлення інформації двічі за повне коливання напруги нульової послідовності, що дозволяє визначати пошкоджену фазу мережі з перевіркою на достовірність без додаткових витрат часу. За рахунок перевірки достовірності досягається стійкість проти помилкового визначення пошкодженої фази.

У окремому випадку завдання величини затримки сигналу про появу небезпечного витоку на землю убуваючою функцією величини напруги нульової послідовності додатково підвищує надійність роботи способу. Величина напруги нульової послідовності непрямо вказує на величину опору витоку. Меншій величині опору витоку відповідає більша величина напруги нульової послідовності.

Отже, величина затримки, що задається, відповідає зростаючій функції величини опору витоку. Це дозволяє при наявності перевірки на достовірність визначати пошкоджену фазу мережі при низькоомному небезпечному витоку на землю з мінімальною затримкою, а при високоомному небезпечному витоку – з більш тривалою затримкою, достатній для збереження стійкості проти помилкових спрацювань при імпульсних перешкодах.

На фіг. 1 і фіг.2 представлені векторні діаграми напруг, що пояснюють розміщення відповідно перших і других опорних фазових проміжків, а також роботу способу для випадку пошкодження в мережі фази А; на фіг. 3 представлений приклад блок-схеми пристрою, реалізуючий спосіб; на фіг. 4 представлена блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера, що програмується і входить в блок-схему пристрою на фіг. 3.

На векторних діаграмах показані:

$A, B, C$  – умовне позначення фаз мережі;

$\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$  – вектори живильних фазних напруг;

$\vec{U}_0$  і  $-\vec{U}_0$  – прямий і інверсний вектори напруги нульової послідовності при пошкодженні в мережі фази А;

$\varphi_1$  і  $\varphi_2$  – початкові фази векторів  $\vec{U}_0$  і  $-\vec{U}_0$ , що відлічуються як фазові зсуви цих векторів відносно вектора  $\vec{U}_A$  живильної напруги фази А;

$N$  – нейтраль або штучна нульова точка мережі;

$\angle A_1NX_1, \angle B_1NY_1, \angle C_1NZ_1$  – кути, що відповідають першим опорним фазовим проміжкам;

$\angle A_2NX_2, \angle B_2NY_2, \angle C_2NZ_2$  – кути, що відповідають другим опорним фазовим проміжкам;

$\delta \leq 120^\circ$  – величина опорних фазових проміжків;

$\beta$  – кут зсуву початкових значень перших опорних фазових проміжків відносно векторів  $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$ , що входять в проміжки.

Приклад блок-схеми пристрою містить датчик 1 живильної напруги фази А, датчик 2 напруги нульової послідовності, нуль-компаратор 3 опорного сигналу, нуль-компаратор 4 інформаційного сигналу, двохівліперіодний випрямляч 5, інтегруючу ланку 6, пороговий елемент 7 і мікроконтролер 8, що програмується. На блок-схемі пристрою також показані:

$U_A$  – живильна напруга фази А;

$U_0$  – напруга нульової послідовності;

$Z_A$  і  $Z_0$  – опорний і інформаційний логічні сигнали;

$s$  – логічний сигнал про появу небезпечного витоку на землю;

$Q_A, Q_B, Q_C$  – вихідні логічні сигнали пристрою.

Блок-схема алгоритму роботи мікроконтролера, що програмується, складається з функціональних і логічних операторів 9–30. На блок-схемі алгоритму, та кож показані:

$R$  – результат попереднього визначення пошкодженої фази мережі;

$\varphi$  – фазовий зсув поточного нульового переходу напруги  $U_0$  відносно нульового переходу від від'ємних до додаткових значень напруги  $U_A$ .

$R_A, R_B, R_C$  – ідентифікатори фаз мережі.

Суть способу полягає в наступному.

Кожній фазі мережі призначаються два рівних по величині опорних фазових проміжків – перший і зі зміщенням від нього на  $180^\circ$  другий. Вказані фазові проміжки є опорними для контролю відповідності їм значень початкових фаз  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  напруги нульової послідовності  $U_0$  і його інверсії –  $U_0$ . Розміщення і величину опорних фазових проміжків задають з таким розрахунком, щоб по відповідності першому опорному фазовому проміжку значення початкової фази  $\varphi_1$  (надалі перша відповідність) і другому опорному фазовому проміжку значення початкової фази  $\varphi_2$  (надалі друга відповідність) визначати пошкоджену фазу мережі з перевіркою на достовірність.

На фіг. 1 першим опорним фазовим проміжкам відповідають кути  $\angle A_1NX_1 = \angle B_1NY_1 = \angle C_1NZ_1 = \delta$ . Кожний кут заданий з таким розрахунком, щоб охопити область зміни початкової фази напруги  $U_0$  при витоку у відповідній фазі мережі. Величина вказаної області при симетричному опорі ізоляції фаз мережі з ізолюваною нейтраллю –  $\psi_0$ , заздалегідь відома і не перевищує  $90^\circ$  при скільки завгодно великому значенні ємності ізоляції. Для фази А дану

область обмежує годограф вектора  $\vec{U}_0$ , показаний штрихпунктиром (кінець вектора відповідає потенціалу землі). Під впливом природної несиметрії опорів ізоляції в фазах мережі (серед величин, що не спричиняють спрацювання апаратури захисного відключення мережі) область зміни початкової фази напруги  $U_0$  розширюється. Завдання перших опорних фазових проміжків зводиться до завдання одного з них і отримання двох сусідніх шляхом зміщення їх на  $120^\circ$  і  $240^\circ$  відповідно. При завданні першого опорного фазового проміжку його середину суміщають з середнім значенням області зміни початкової фази напруги  $U_0$ ; рівним –  $0,5 \psi_0$  (знак мінус вказує на відставання напруги  $U_0$  відносно напруги  $U_A$ ). Це дозволяє в максимальній мірі охопити можливе розширення області зміни початкової фази напруги  $U_0$  при однофазному витоку на землю в мережі з несиметричним опором ізоляції фаз. У цьому випадку випереджальні границі (початкові значення) перших опорних фазових проміжків відстоять від відповідних векторів живильних фазних напруг  $\vec{U}_A, \vec{U}_B, \vec{U}_C$  на кут  $\beta = 0,5\delta - 0,5\psi_0, \delta \geq \psi_0$ .

При пошкодженні фази А вектор  $\vec{U}_0$  розташований всередині кута  $\angle A_1NX_1$ , тобто значення початкової фази  $\varphi_1$  відповідає першому опорному проміжку фази А. Виявлення цієї відповідності є попереднім результатом, необхідним для визначення пошкодженої фази мережі. З метою досягнення стійкості проти помилкового визначення пошкодженої фази мережі здійснюється перевірка достовірності попереднього результату, тобто його підтвердження. Для цього в способі використовують другі опорні фазові проміжки, зміщені відносно перших на  $180^\circ$  і рівні ним по величині. На фіг. 2 їм відповідають кути  $\angle A_2NX_2 = \angle B_2NY_2 = \angle C_2NZ_2 = \delta$ .

При пошкодженні фази А вектор  $-\vec{U}_0$  розташований всередині кута  $\angle A_2NX_2$ , тобто значення початкової фази  $\varphi_2$  відповідає другому опорному фазовому проміжку фази А. Виявлення другої відповід-

ності услід за першою підтверджує достовірність попереднього результату і є умовою отримання кінцевого результату.

Принципова можливість перевірки достовірності визначення пошкодженої фази без погіршення швидкодії заснована на кількості можливих точок відліку значень початкової фази напруги  $U_0$ . При випадковій амплітуді напруги  $U_0$  такими точками відліку є її нульові переходи (від від'ємних до додатних значень і навпаки), тобто дві точки протягом повного її коливання. По нульовому переходу одного напрямку контролюється значення початкової фази  $\varphi_1$ , а по нульовому переходу протилежного напрямку – значення початкової фази  $\varphi_2$ . Отже, в моменти нульових переходів контролюється і згадана відповідність. Внаслідок випадковості моментів виникнення витоку на землю затримка в настанні нульового переходу будь-якого напрямку відносно моменту приходу сигналу про появу небезпечного витоку на землю може досягти часу повного коливання напруги  $U_0$  (періоду для сталих коливань). Вказана максимальна затримка характерна для способів визначення пошкодженої фази мережі тільки по одній відповідності, контрольованій по нульовому переходу одного напрямку. Очевидно, що вказана затримка включає в себе момент настання нульового переходу іншого напрямку, по якому в способі, що пропонується, контролюється друга відповідність. Таким чином, перевірка достовірності результату досягається в способі, що пропонується, без додаткових витрат часу в порівнянні зі способом, що не використовує такої перевірки.

Представлений вище опис роботи способу відноситься до випадку появи в мережі низькоомного, найбільш небезпечного витоку, який супроводиться короткочасним перехідним процесом усталення напруги  $U_0$ , що сприяє швидкому визначенню пошкодженої фази мережі.

У разі ж появи в мережі високоомного небезпечного витоку, який супроводиться тривалим перехідним процесом усталення напруги  $U_0$ , час визначення пошкодженої фази мережі буде визначатися часом затухання перехідного процесу до моменту настання достовірного результату. Умови електробезпеки при цьому також дотримуються за рахунок мешного значення струму витоку.

При тривалому перехідному процесі можлива наступна послідовність подій. Після виявлення однієї відповідності друга відповідність за час проходження один за одним двох нульових переходів напруги  $U_0$  може не наступити в двох випадках: через пропуск другої відповідності – при завданні величини опорного фазового проміжку менше за  $120^\circ$ , або через виявлення другої відповідності в сусідній фазі мережі. Остання відповідність, не співпадаючи з попередньою, приймається як попередній результат визначення пошкодженої фази мережі з очікуванням виявлення в ній чергової, підтверджуючої, відповідності для отримання кінцевого достовірного результату.

Визначення пошкодженої фази мережі здійснюється при наявності сигналу про появу небезпечного витоку на землю. Такий сигнал формується із затримкою по збільшенню напруги  $U_0$ . Затримка служить для виключення впливу імпульсних перешкод. Очевидно, що при фіксованій

затримці, цьому краще за все відповідає її максимальна величина, допустима за умовами забезпечення захисту від низькоомного небезпечного витоку на землю. У той же час перевірка достовірності визначення пошкодженої фази дозволяє знижувати затримку і, тим самим, підвищувати ефективність захисту. Однак, таке зменшення затримки може приводити в мережах з несиметричним опором ізоляції до помилкових спрацювань – визначенню пошкодженої фази мережі при відсутності небезпечного витоку. Внаслідок подальшого захисного відключення мережі (одночасно із захисним шунтуванням) виникають невиправдані простої технологічного енергоустановки. Причиною таких помилкових опрацювань є дія імпульсної перешкоди з тривалим затухаючим перехідним процесом при комутації в мережі приєднання із загальмованим електродвигуном. Підвищення швидкодії визначення пошкодженої фази мережі з найбільш небезпечним, низькоомним витоком на землю без втрати стійкості проти помилкових спрацювань може бути досягнуто за рахунок завдання величини затримки убуючою функцією величини напруги  $U_0$ . В основі завдання величини затримки, використовується відома закономірність – пропорційність часу дії перехідного процесу перешкоди величині опору витоку. Убуюча функція задається з таким розрахунком, щоб великим величинам напруги  $U_0$  при низькоомному небезпечному витоку на землю відповідала мінімальна затримка, достатня для виключення впливу короткочасних перешкод, а меншим величинам напруги  $U_0$  при високоомному небезпечному витоку – більш тривала затримка, достатня для виключення впливу тривалих перешкод. Величина більшої затримки в декілька разів менше максимально допустимої величини з умов безпеки при високоомному небезпечному витоку на землю. Даний запас по величині затримки спрощує її реалізацію. Убуюча функція може бути задана у вигляді суворо убуючої або ступінчастої функції в залежності від реалізації – аналогової або цифрової.

Для однозначності результатів, що отримуються, величина опорних фазових проміжків повинна бути не більше за  $120^\circ$ , щоб уникнути перекриттів серед перших і окремо других фазових проміжків. Для досягнення ж максимальної чутливості до витоків величину  $\delta$  опорних фазових проміжків необхідно призначати максимальною, рівною  $120^\circ$ . Збільшення опорного фазового проміжку поліпшує також динаміку визначення пошкодженої фази, оскільки швидше виробляється достовірний результат при дії перешкод, зокрема, ще на стадії протікання перехідних процесів (викликаних пошкодженням), що зміщують у часі нульові переходи напруги  $U_0$ . Обмеження ж чутливості до витоків при максимальній величині опорних фазових проміжків може бути забезпечене за рахунок регулювання чутливості формування сигналу про появу небезпечного витоку на землю.

Відлік опорних фазових проміжків і значень початкових фаз може виконуватися відносно будь-якої комбінації живильних напруг мережі. Для кожної фази мережі відлік може виконуватися відносно живильної фазної напруги або будь-якого іншого сигналу на частоті мережі, зсунутого від нього

на фіксований кут. Величина цього кута може бути будь-якою, оскільки у відліках чисельно додається як до значень границь опорних фазових проміжків, так і до значень початкової фази напруг  $U_0$  і  $-U_0$ . На контролі відповідності опорним фазовим проміжкам значень початкових фаз  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  це не позначається, оскільки внаслідок зіставлення останніх з границями опорних фазових проміжків рівні добавки взаємно знищуються.

При відліку опорних фазових проміжків і початкових фаз напруг  $U_0$  і  $-U_0$  відносно живильної фазної напруги індивідуально для кожної фази мережі результат визначення пошкодженої фази виробляється автономно для кожної фази мережі. Позитивною якістю індивідуальних відліків є їх незалежність від порядку чергування фаз мережі.

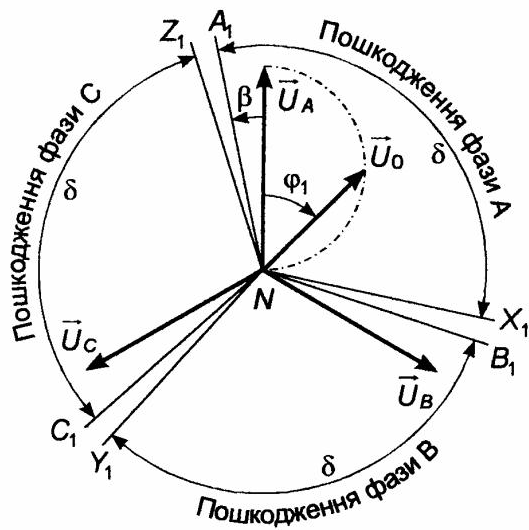
Порядок чергування фаз мережі, як правило, заздалегідь відомий, при необхідності легко перевіряється. У цьому випадку відлік опорних фазових проміжків і початкових фаз напруг  $U_0$  і  $-U_0$  може здійснюватися для всіх фаз мережі відносно будь-якого з живильних напруг або сформованого з них сигналу. Значення його початкової фази може бути будь-яким, оскільки, як вже відмічалось, взаємно компенсується при контролі розглянутої відповідності. Достойнством такого відліку є мінімальне число напруг, що використовуються.

Розглянемо приклад пристрою для реалізації способу, в якому відлік опорних фазових проміжків і початкових фаз напруг  $U_0$  і  $-U_0$  ведеться відносно одного сигналу – живильної напруги фази А. У пристрої (фіг. 3) сигнал, пропорційний живильній фазній напрузі  $U_A$ , вимірюється датчиком 1 (наприклад, у вигляді вторинної обмотки трифазного трансформатора, первинні обмотки якого підключені до фаз мережі і утворюють штучну нульову точку мережі), а напруга  $U_0$  – датчиком 2 (виконаним, наприклад, у вигляді однофазного розділового трансформатора, підключеного між штучною нульовою точкою мережі і землею). З напруги  $U_A$  нуль-компаратор 3 формує логічний опорний сигнал  $Z_A$ . З напруги  $U_0$  нуль-компаратор 4 формує логічний інформаційний сигнал  $Z_0$ , а послідовно з'єднані двохпівперіодний випрямляч 5, інтегруюча ланка 6 і пороговий елемент 7 формують сигнал  $s$  про появу небезпечного витоку на землю. З вхідних сигналів  $Z_A$ ,  $Z_0$  і  $s$  мікроконтролер 8, що програмується, виробляє вихідні логічні сигнали  $Q_A$ ,  $Q_B$  і  $Q_C$ . Високий логічний рівень одного з них вказує на пошкодження в мережі фази А, В або С відповідно.

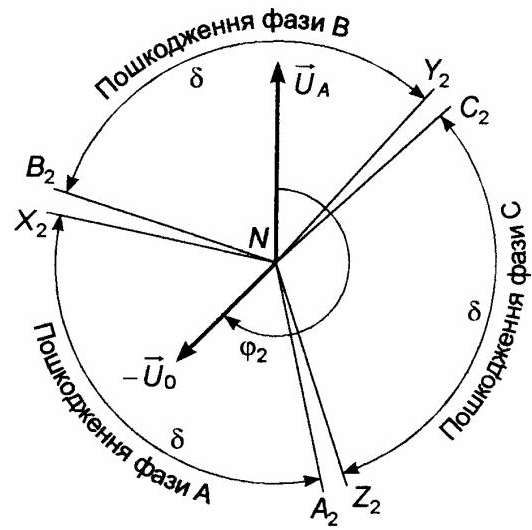
Сигнал  $s$  про появу небезпечного витоку на землю формується із затримкою, визначуваною часом досягнення порога елемента 7 вихідним сигналом інтегруючої ланки 6 при збільшенні напруги  $U_0$  – постійної складової на виході випрямляча 5. Даний час є суворо убуючою функцією величини напруги  $U_0$ . Інтегруюча ланка 6 в найпростішому варіанті може бути виконана у вигляді фільтра нижніх частот першого порядку. Чутливість до витоків регулюється порогом елементів 7, а масштаб затримки – постійною часу інтегруючої ланки 6.

Алгоритм роботи мікроконтролера 8 побудований за принципом програмного опиту вхідних сигналів. Заснований алгоритм на контролі початкових фаз  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  шляхом перерахунку в градуси інтервалів часу між додатним нульовим переходом напруги  $U_A$  (переходом 0/1 сигналу  $Z_A$ ) і відповідно додатним і від'ємним нульовими переходами напруги  $U_0$  (переходами 0/1 і 1/0 сигналу  $Z_0$ ). Перерахунок ведеться по відношенню до тривалості періоду напруги  $U_A$ . Для вимірювань часових інтервалів і періоду використовується внутрішній таймер. На першому кроці роботи мікроконтролера 8 таймеру привласнюється початкове значення, відповідне номінальному значенню періоду (фіг. 4, елемент 9). Одночасно очищаються значення результату  $R$  попереднього визначення пошкодженої фази і вихідних сигналів  $Q_A$ ,  $Q_B$  і  $Q_C$ . Елементи 10 і 11 блок-схеми алгоритму служать для виявлення переходу 0/1 сигналу  $Z_A$ , по якому запам'ятовується виміряне таймером значення  $T$  періоду і перезапущається таймер на нове вимірювання (елементом 12). При першому зверненні до таймера в якості такого значення прочитується номінальне значення періоду. Між перезавантаженнями таймера опитується сигнал  $s$  про появу небезпечного витоку на землю. Якщо немає витоку в мережі ( $s=0$ ) – алгоритм роботи повертається до елемента 10. При появі в мережі витоку ( $s=1$ ) елементи 15 і 16 контролюють появу нульових переходів напруги  $U_0$ , а елемент 17 обчислює значення в градусах фазового зсуву  $\varphi$  поточного переходу 0/1 або 1/0 сигналу  $Z_0$  відносно переходу 0/1 сигналу  $Z_A$ . Далі елемент 18 встановлює напрям переходу сигналу  $Z_0$  і ототожнює обчислений фазовий зсув  $\varphi$  зі значенням початкової фази  $\varphi_1$  або  $\varphi_2$ . Опорні фазові проміжки і початкові фази  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  відлічуються відносно вектора  $\vec{U}_A$  в напрямі ходу годинникової стрілки (фіг. 1, 2). Елементи 19 і 20 контролюють відповідність початкових фаз  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  відповідно першим і другим опорним фазовим проміжкам, шляхом зіставлення їх з границями опорних фазових проміжків. Попа-

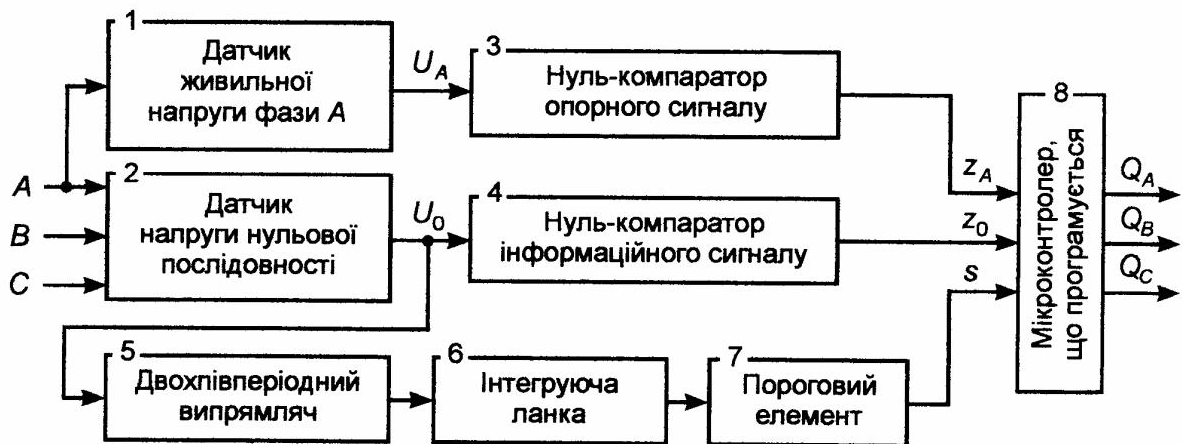
дання векторів  $\vec{U}_0$  і  $-\vec{U}_0$  між опорними фазовими проміжками (при  $\delta < 120^\circ$ ) приводить до обнулення попереднього результату  $R$  елементом 21 і переходу до елемента 10. Попадання ж вказаних векторів в опір фазові проміжки включає в роботу один з логічних елементів 22–24. При пошкодженні фази А логічний елемент 22 порівнює результат  $R$  з ідентифікатором  $R_A$  фази А. При неспівпадінні їх даний ідентифікатор запам'ятовується елементом 25 як попередній результат визначення пошкодженої фази і виконання програми повертається до елементів 10. З настанням чергового нульового переходу напруги  $U_0$  логічний елемент 22 виявляє збіг поточного результату з попереднім результатом  $R$ , звертається до елемента 28, який призначає вихідному сигналу  $Q_A$  значення "1". При пошкодженні в мережі фази В або С в роботу вступають елементи 23, 26, 29 або 24, 27, 30. В якості ідентифікаторів фаз мережі використовуються двійкові коди, наприклад:  $R_A = 001$ ,  $R_B = 010$ ,  $R_C = 100$ .



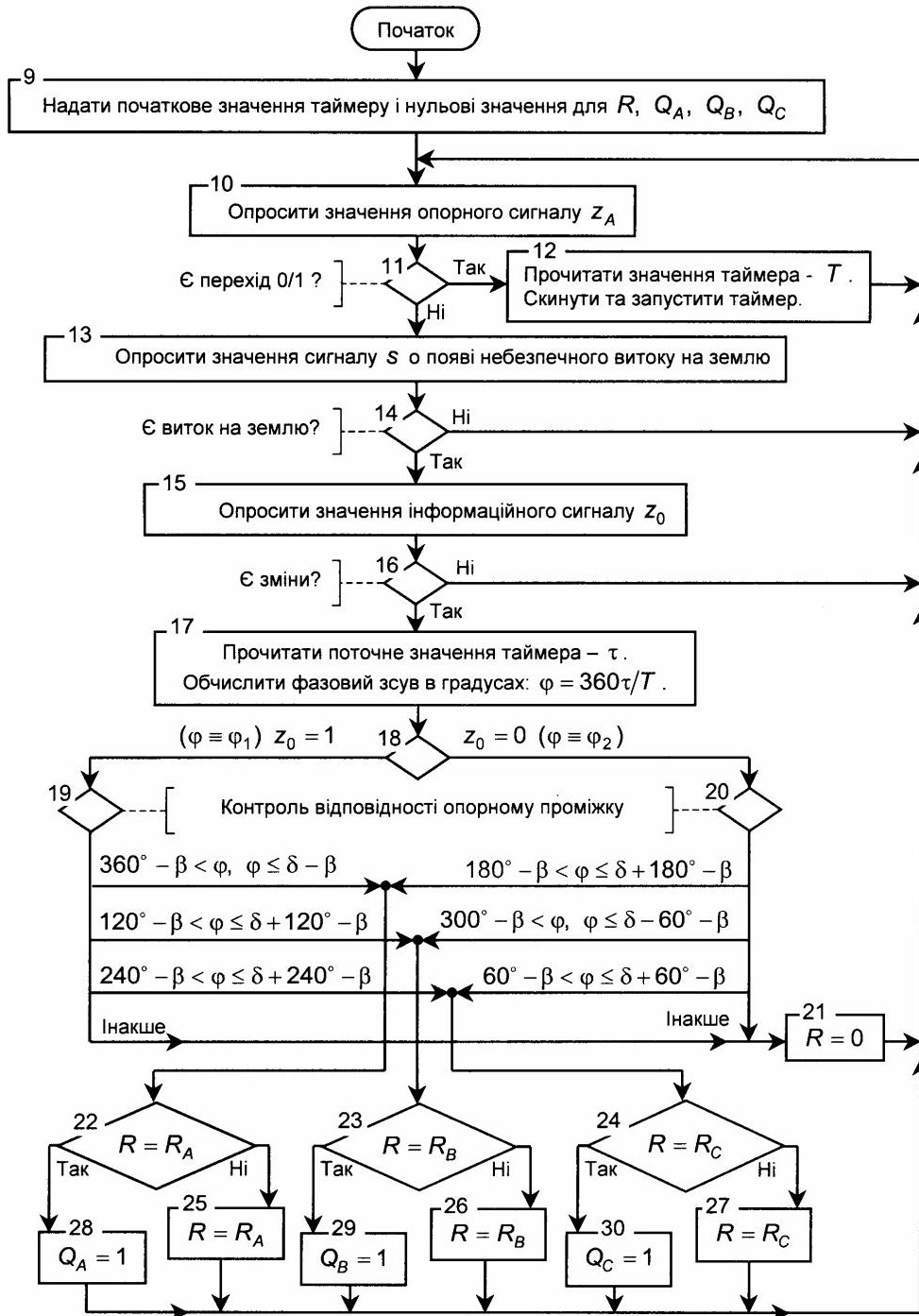
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4

Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»  
 Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101  
 (03122) 3 – 72 – 89 (03122) 2 – 57 – 03