

УДК 621.316.925

**О.П. КОВАЛЬОВ** (д-р техн. наук, проф.), **Є.В. ЧОРНОУС**  
**Державний вищий навчальний заклад**  
**«Донецький Національний технічний університет»**  
[emitoe@yandex.ru](mailto:emitoe@yandex.ru)

## **ПРО «ПЛАВАЮЧІ» ОПОРНІ ІНТЕРВАЛИ ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ФАЗИ З ВИТОКОМ**

*Обґрунтована можливість підвищення стійкості до завад та спотворень пристрою визначення пошкодженої фази в мережі з ізольованою нейтраллю шляхом зміщення опорних фазових інтервалів в функції опору витоку або амплітуди потенціалу нейтралі. Встановлено функціональний зв'язок між опором витоку, амплітудою потенціалу нейтралі і його аргументом з урахуванням впливу поперечної несиметрії в мережі.*

**Ключові слова:** пристрій визначення пошкодженої фази, опорні фазові інтервали, опір витоку, аргумент потенціалу нейтралі, опір ізоляції, перехідний процес, несиметрія мережі, вищі гармоніки, високоомний витік.

В мережах з ізольованою нейтраллю, де для захисту людини застосовують захисне шунтування, пристрій визначення фази з витоком (ПВФ) є найбільш важливою ланкою [1]. Функціонування цього пристрою проходить в умовах інтенсивних завад і спотворень, обумовлених динамічними складовими перехідного процесу, вищими гармоніками у складі потенціалу нейтралі (ПН) та поперечною несиметрією мережі. Швидкодіючий спосіб визначення пошкодженої фази з витоком струму на землю, запропонований в [2, 3], полягає у визначенні серії значень аргументу ПН  $\psi$ , як проміжних результатів, одержаних по методу двох вибірок [4], їх усередненні і співставленні з опорними фазовими інтервалами. Одна з особливостей цього способу полягає в тому, що вказані завади та спотворення в найбільшій мірі проявляються при високоомному витоку ( $R_h > 10$  кОм), коли більшість проміжних результатів  $\psi$  наближаються до нижньої межі опорного інтервалу, а деякі “виплескують” за його межі в область відстаючої фази.

Мета даного дослідження полягає в підвищенні стійкості способу до завад та спотворень з боку мережі шляхом застосування “плаваючих” опорних фазових інтервалів, межі яких зміщуються в функціональній залежності від величини опору витоку або амплітуди ПН. Досягнення мети полягає у встановленні та використанні функціонального зв'язку між опором витоку  $R_h$ , амплітудою ПН та його аргументом  $\psi$  з урахуванням впливу поперечної несиметрії мережі.

Методика дослідження полягає в тому, що в математичну модель мережі для усталеного режиму однофазного витоку розкид значень опорів ізоляції  $R$  “фаза – земля” вводився через коефіцієнт несиметрії  $k_{nc}$  наступним чином:

$$R_B = R k_{nc} - \text{опір ізоляції відстаючої фази};$$

$$R_C = R/k_{nc} - \text{опір ізоляції випереджуючої фази}.$$

В результаті було встановлено, що рівень поперечної несиметрії  $k_{nc}$  практично не впливає на амплітуду потенціалу нейтралі  $U_{NM}$ , проте впливає на його аргумент, причому, вплив цей збільшується з ростом опору витоку.

На рис. 1 приведені графіки залежностей розрахункового (фактичного) значення аргументу  $\psi_\phi$  від амплітуди ПН (по відношенню до номінальної фазної напруги  $U_{Мном}$ ) при різних значеннях коефіцієнта поперечної несиметрії  $k_{nc}$ :

$$\psi_\phi = f(U_{NM}/U_{Мном}, k_{nc}). \quad (1)$$

Особливість графіків залежності (1) в тому, що в області низькоомних опорів витоку ( $R_h < 5$  кОм), що найбільш характерно для опору людини, яка потрапила під фазну напругу, вплив поперечної несиметрії та похибки, що нею вносяться, незначні. Проте з ростом опору витоку, або, що теж саме, зі зменшенням амплітуди ПН, абсолютна похибка зростає, досягаючи при  $R_h = 20$  кОм  $\pm 14$  градусів. Це могло б бути в межах допустимого, однак зважимо, що в області високоомного витоку на цю похибку поперечної несиметрії додатково накладаються похибки від динамічних складових, вищих гармонік чи можливих комутацій потужних приводів. Крім того, фактичне значення аргументу  $\psi_\phi$  знаходиться в безпосередній близькості від нижньої межі опорного інтервалу. В цих умовах можливість хибного визначення аварійної фази виключити не можна. Стає очевидним необхідність корекції опорних фазових інтервалів в функції опору витоку, або амплітуди ПН.

Безпосереднє застосування залежності (1) для зміщення опорних інтервалів неможливе з двох причин. По-перше, при роботі алгоритму ПВФ відсутня інформація про рівень поперечної несиметрії. По-друге, вказана залежність (1) повинна бути представлена (апроксимована) зручною аналітичною функцією.

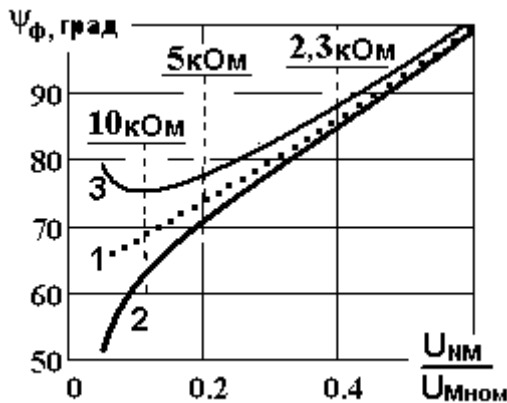


Рисунок 1 – Залежність аргументу ПН від його амплітуди при наявності поперечної несиметрії: 1 –  $k_{нс} = 1$ ; 2 –  $k_{нс} = 0.5$ ; 3 –  $k_{нс} = 1.5$ .

Зважаючи на те, що похибки від поперечної несиметрії мережі на проміжні результати аргументу  $\psi$  порівняно невеликі (максимально  $\approx 14$  градусів) і, до того ж, вони проявляються лише при  $R_h > 5$  кОм, впливом поперечної несиметрії в першому наближенні можна знехтувати. В цьому разі вираз для “плаваючих” опорних інтервалів  $\Delta\psi_{ni}$  (в градусах) для будь-якої фази та при будь-якому опорі витоку можна апроксимувати наступною лінійною функцією:

$$\Delta\psi_{ni} = 65^\circ + i \cdot 120^\circ \pm 60^\circ + 60 U_{MN}/U_{Mном} \quad (2)$$

де  $i = -1, 0, 1$  відповідають опорним фазовим інтервалам для фаз В, А, С відповідно.

Функціонування способу в умовах зміщення опорних фазових інтервалів демонструє рис. 2, де представлені результати дослідження динамічної моделі мережі в режимі однофазного витоку (рис. 2А), а також результати роботи цифрової моделі ПВФ в стані незмінних (рис. 2Б) та зміщених згідно (2) опорних фазових інтервалів (рис. 2В).

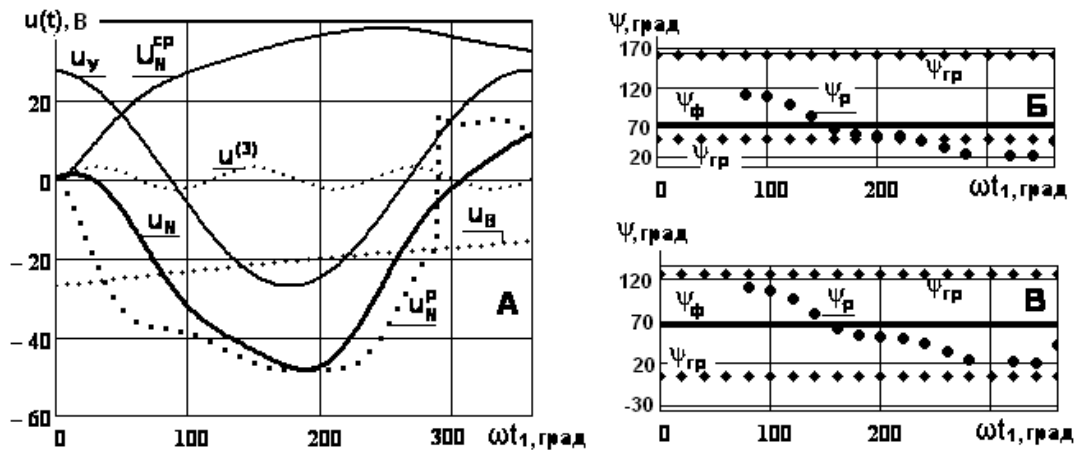


Рисунок 2 – Динамічний режим мережі та ПВФ після виникнення витоку. А – Криві перехідного процесу. Б – Проміжні результати функціонування ПВФ. В – Те ж при зміщенні меж опорного інтервалу.

На графіках рис.2А позначено:  $u_N$  – миттєві значення ПН;  $u_\phi$ ,  $u_B$  – відповідно усталена та вільна складові першої гармоніки ПН;  $u^{(3)}$  – третя гармоніка;  $u_N^p$  – текуче розрахункове значення амплітуди ПН, обчислене по методу двох вибірок;  $U_N^{cp}$  – інтегральне (середнє по модулю) значення амплітуди ПН, обчислюване з моменту включення алгоритму ПВФ до моменту одержання чергового проміжного результату.

На рис.2Б позначено:  $\psi_p$  – проміжні значення аргументу ПН, розраховані по методу двох вибірок через кожні  $20^\circ$  (частота слідування 900 Гц);  $\psi_\phi$  – фактичне значення аргументу усталеної складової основної гармоніки;  $\psi_{рп}$  – граничні значення аргументу (тобто межі опорного фазового інтервалу для фази А від  $45^\circ$  до  $165^\circ$ ).

На рис.2В позначення ті ж, але граничні значення  $\psi_{рп}$  зміщені згідно (2) і складають від  $4^\circ$  до  $124^\circ$ .

Динамічний режим виникнення витоку в фазі А, що ілюструється на рис. 2А, є найбільш несприятливий з точки зору похибок, що вносяться. Обумовлено це, по-перше, інтенсивним перехідним процесом із-за несприятливої фази комутації, по-друге, із-за високого опорі витоку ( $R_h = 20$  кОм), практична тривалість перехідного процесу затягується майже до 60мс, по-третє, амплітуда третьої гармоніки у складі потенціалу нейтралі досягає 10% від амплітуди основної гармоніки усталеної складової. Слід відзначити, що третя гармоніка у складі сигналу, пропорційного потенціалу нейтралі, реально може виникнути не з боку мережі, а від роботи компенсуючого дроселя в режимі його насичення [5].

В цих умовах закон зміни миттєвого значення потенціалу нейтралі  $u_N$  далекий від синусоїдального, тобто має значні спотворення. Внаслідок цього:

1. По причині повільного розвитку перехідного процесу робота алгоритму визначення проміжних результатів починається через  $\approx 80^\circ$  (4.5 мс) з моменту комутації, коли ПН досягає величини, достатньої для включення ПВФ.

2. Розкид значень розрахункових проміжних результатів  $\psi_p$  досягає  $90^\circ$ , в результаті чого частина результатів виявилась за межами свого опорного інтервалу (рис. 2Б).

3. Миттєві розрахункові значення амплітуди ПН  $u_N^p$  (крива на рис. 2А), одержувані разом з проміжними результатами по методу двох вибірок, несуть в собі весь тягар похибок і спотворень і безпосередньо не можуть використовуватись для зміщення опорних інтервалів.

Таким чином, проміжні результати роботи ПВФ  $\psi_p$ , що слідує через кожні  $20^\circ$  (рис. 2Б), внаслідок значних збурень в мережі (вплив експоненти  $u_b$  та третьої гармоніки  $u^{(3)}$ ) мають великий розкид значень відносно істинного значення  $\psi_\phi$ . Більш того, їх частина на інтервалі  $\omega t_1$  від  $250^\circ$  до  $360^\circ$  “виплюскає” за нижнє граничне значення свого опорного інтервалу. Крім того, розрахункові значення амплітуди  $u_N^p$ , що є побічним результатом роботи ПВФ [2], не можуть використовуватись безпосередньо.

Функціонування способу полягає в тому, що одночасно обчислюється інтегральне (середнє по модулю) значення амплітуди;  $U_N^{cp}$ , яке уже через  $120^\circ$  (рис. 2А) досягає рівня амплітуди усталеної складової  $u_y$ . Саме ця інформація використовується для зміщення опорних фазових інтервалів згідно (2) в сторону відстаючої фази на  $\approx 40^\circ$ , як це показано на фіг. 2В. При цьому всі проміжні результати виявляються в межах свого інтервалу, а рішення на захисне шунтування фази А, яке можна приймати уже через 10...12 мс (0.5...0.6 періоду) з моменту комутації, не викликає сумнівів.

При невеликому опорі витоку ( $R_h < 5$  кОм), більш характерному для опору людини, ПН зростає в кілька разів. Тому вплив таких завод як несиметрія чи вищі гармоніки стає малозначним, а перехідний процес швидкоплинним. В цих умовах стійкість до завод і швидкодія ПВФ суттєво підвищуються і рішення приймається уже за 3...5 мілісекунд.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шущкий В. И. Защитное шунтирование однофазных повреждений электроустановок / Шущкий В. И., Жидков В. О., Ильин Ю. Н. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.:ил.
2. Черноус Е.В. Об альтернативном варианте защиты шахтной участковой сети от однофазной утечки / Черноус Е.В. // Электричество. – 2009. – №8. – С.33-36.
3. Спосіб визначення пошкодженої фази в електричній мережі з ізольованою нейтраллю : Пат. 63716 Україна МПК H02H 3/16, G01R31/08./ Черноус Е.В. – u201013824, заявл.22.11.10, опубл. 25.10.2011, бюл. №20.-4 с.: іл.
4. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Шнеерсон Э.М. – М.: Энергоатомиздат, 2007. 549 с.: ил.
5. Черноус Е.В. Моделирование управляемой магнитной цепи аппаратов защиты от утечек / Черноус Е.В. // II науково-практична конференція “Донбас-2020: наука і техніка – виробництву”, Донецьк, 2004, с. 381-385.

#### REFERENCES

1. Shutsky V., Zhidkov V., Ilyin Y. *Zatsitnoe shuntirovanie odnofaznih povrezhdeniy electroustanovok* [ Protective bypass phase electrical damage]. - M. Energoatomizdat. 1986. – 152 p.
2. Chornous E. About alternative protection mining district network from single leak. *Electrichestvo*. 2009. №8: 33-36.
3. Method for determination a phase with drain to ground in electrical circuit with isulated neutral. Pat. 63716 UA, МПК H02H 3/16, G01R31/08 / Chornous Y., – u201013824? stated 25.10.2010, published. 25.10.2011, bul. №20 : - 4 p.
4. Schneerson E. *Tsifrovaya reley'naya zatsita*. [Digital protection relays]. - M. Energoatomizdat. 2007. – 549 p.
5. Chornous E. Modeling a controlled magnetic circuit protection devices from leaks. *II naukovo-praktichna konferentsiya "Donbass-2020: nauka i tehnika - virobnitstvu"* [II Scientific Conference "Donbass-2020: science and technology - production"], Donetsk, 2004, pp. 381-385.

Надійшла до редакції 04.04.2013

Рецензент: Є.Б. Ковальов

А.П. КОВАЛЕВ, Е.В. ЧОРНОУС

Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет»

**О "плавающих" опорных интервалах при определении фазы с утечкой.** Обоснована возможность повышения устойчивости к помехам и искажениям устройства определения поврежденной фазы в сети с изолированной нейтралью путем смещения опорных фазовых интервалов в функции сопротивления утечки или амплитуды потенциала нейтрали. Установлена функциональная связь между сопротивлением утечки, амплитудой потенциала нейтрали и его аргументом с учетом влияния поперечной несимметрии в сети.

**Ключевые слова:** устройство определения поврежденной фазы, опорные фазовые интервалы, сопротивление утечки, аргумент потенциала нейтрали, сопротивление изоляции, переходный процесс, несимметрия сети, высшие гармоники, высокоомная утечка.

O. KOVALIOV, Ye. CHORNOUS

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

**About "Floated" Reference Intervals during Detection the Phase with Leak.** The aim of this investigation is to improve the reliability and acceleration of the faulted phase detection device in electric networks with the isolated neutral. Survey mythology presents the simulation mode of electric transmission network with a single-phase leakage with the asymmetry of the insulation network, which is inserted through the asymmetry factor. The obtained dependence of the neutral potential argument on its amplitude with the transverse asymmetry indicates that the errors in the determination of this argument may be insignificant. Moreover they reveal themselves only with high-resistance leak, allowing approximate the expression for the displacement of the "floating" reference intervals for leakage in any phase of a simple linear function. There is an example of the device work of the faulted phase detection. It refers to the results of mathematical simulation mode of electric network with leakage, where have been the worst testing conditions (distortion and interference of the electric network), namely, a large leakage resistance and as a result, protracted transient, unfavorable phase switching, presence of a third harmonic component in the neutral potential. The digital model of the determination faulted phase device clearly demonstrates the expediency of the reference phase shift intervals. Thus, it demonstrates the possibility of increasing resistance to distortion and interference of the device faulty phase detection by shifting the reference phase intervals in functions of leakage resistance or potential amplitude neutral.

**Key words:** *fault phase detection device, the phase reference intervals, leakage resistance, the argument of potential neutral, insulation resistance, transient, asymmetry in the network, the higher harmonics, high-resistance leak.*