

УДК 621.31

## ВИБІР АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ ТА НЕОБХІДНИХ ДЛЯ ЦЬОГО ІНФОРМАЦІЙНИХ СКЛАДОВИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ

**Б.С. Стогній**<sup>1</sup>, акад. НАН України, **М.Ф. Сопель**<sup>2</sup>, докт. техн. наук, **М.В. Гребченко**<sup>3</sup>, докт. техн. наук, **В.Ф. Максимчук**<sup>4</sup>, **Ю.В. Пилипенко**<sup>5</sup>, канд. техн. наук

1, 2, 5 – Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна

3 – Національний університет біоресурсів та природокористування України,

вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна

4 – Укрзалізниця,

вул. Тверська, 5, Київ-150, 03680, Україна

*Наведено результати розробки методу визначення відстані замикання на землю повітряної лінії в мережі з ізольованою нейтраллю. Запропонований метод засновано на вимірюванні параметрів режиму лінії. Для реалізації методу на початку лінії її фази підключаються до землі через ємності. Наведено результати експериментальних досліджень замикань на лінії, що знаходиться в роботі. Аналіз експериментальних даних показує, що використанню традиційних методів визначення відстані замикання заважає складний електромагнітний стан, значною мірою обумовлений впливом близько розташованої високовольтної лінії та іншого обладнання, що перебуває під високою напругою. Використання перших гармонік струмів та напруг суттєво підвищує точність визначення відстані замикання. Бібл. 6, рис. 2, таблиця.*

**Ключові слова:** замикання на землю, метод визначення відстані, експериментальні дослідження.

Замикання на землю в мережі з ізольованою нейтраллю супроводжується зміною параметрів режиму лінії. Багато існуючих методів визначення відстані замикання використовують ці зміни [1-4, 5]. Ступінь зміни параметрів режиму обумовлено параметрами мережі, від якої вона отримує живлення: чим більша сумарна ємність фаз по відношенню до землі, тим точніше можна визначати відстань замикання. Лінія живлення пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) залізниці є однією лінією електричної мережі, а тому значення струмів замикання на землю виявляються дуже малими. Крім того, робочі напруги фаз лінії по відношенню до землі значно відрізняються одна від одної. Особливістю лінії СЦБ є також те, що навантаження її розподілене вздовж всієї лінії.

**Мета роботи** – розробка методу визначення відстані місця замикання на землю на повітряній лінії 10 кВ СЦБ, яка є єдиним елементом мережі й експлуатується в умовах значної несиметрії та завад.

Для розв'язання задачі запропоновано підвищити частку аварійної складової на тлі робочих струмів шляхом збільшення струмів замикання на землю, для чого з'єднати з землею кожну фазу лінії через електричну ємність, тобто, по суті, з'єднати штучну нейтраль з землею [6]. Однією з переваг такого рішення є майже повна відсутність активних втрат енергії. Крім того, підключення ємностей вирівнює значення напруг фаз відносно землі. У методі визначення відстані комплексний опір ділянки лінії  $\underline{z}_l^*$  від початку лінії до місця замикання знаходиться на основі вимірних векторів напруги  $\dot{U}_{A0}$  та струму фази  $\dot{I}_A$ :

$$\underline{z}_l^* = \frac{\dot{U}_{A0}}{\dot{I}_A}. \quad (1)$$

Розрахункова віддаленість до точки замикання у відносних одиницях по відношенню до всієї довжини лінії

$$b_r = \frac{\underline{z}_l^*}{r_0 \cdot l_{\text{СЦБ}} + jx_0 \cdot l_{\text{СЦБ}}}. \quad (2)$$

Перехідний опір у місці замикання знаходиться так:

$$R_3 = \frac{\dot{U}_{A0} - \dot{I}_A \cdot \dot{Z}_{Л}}{\dot{I}_3} \quad (3)$$

Для отримання інформації про параметри лінії СЦБ та перевірки ефективності запропонованих методів визначення відстані замикання проведені експериментальні дослідження на одній з ліній СЦБ. При проведенні дослідів змінювались фази, у яких створювалось замикання, а також змінювалась відстань до місця замикання. Деякі результати для дев'яти дослідів представлено на рис. 1 та 2. Аналіз їх показав, що значення напруг фаз не змінюються лінійно залежно від відстані замикання.

На сьогоднішній день встановлено, що основною причиною низької точності визначення відстані замикання на землю (2) за експериментальними даними параметрів режиму лінії СЦБ є несиметричний режим роботи лінії СЦБ. Підключення трьох ємностей між фазами та землею значно впливає на напруги фаз по відношенню до землі й суттєво зменшує несиметрію. Але незначна несиметрія залишається, й навіть вона також негативно впливає на точність визначення відстані.

З осцилограм (рис. 1, 2) видно, що чим далі замикання, тим більше спотворюються струми й напруги за рахунок вищих гармонік.

Амплітуди першої гармоніки струмів фаз та напруг фаз по відношенню до землі майже у всіх дослідях зменшуються при зростанні відстані до місця замикання (рис. 1, 2, таблиця).

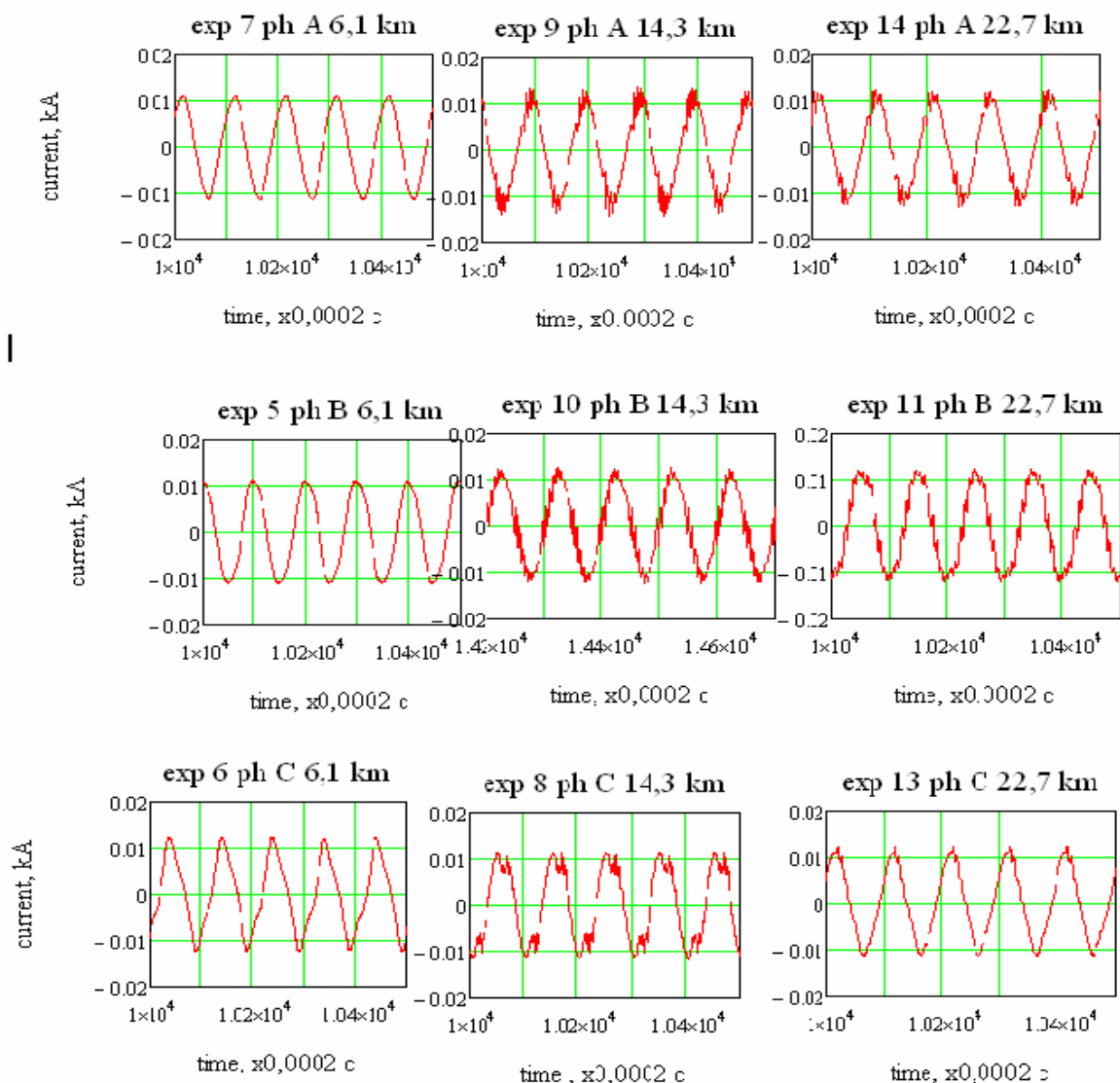


Рис. 1

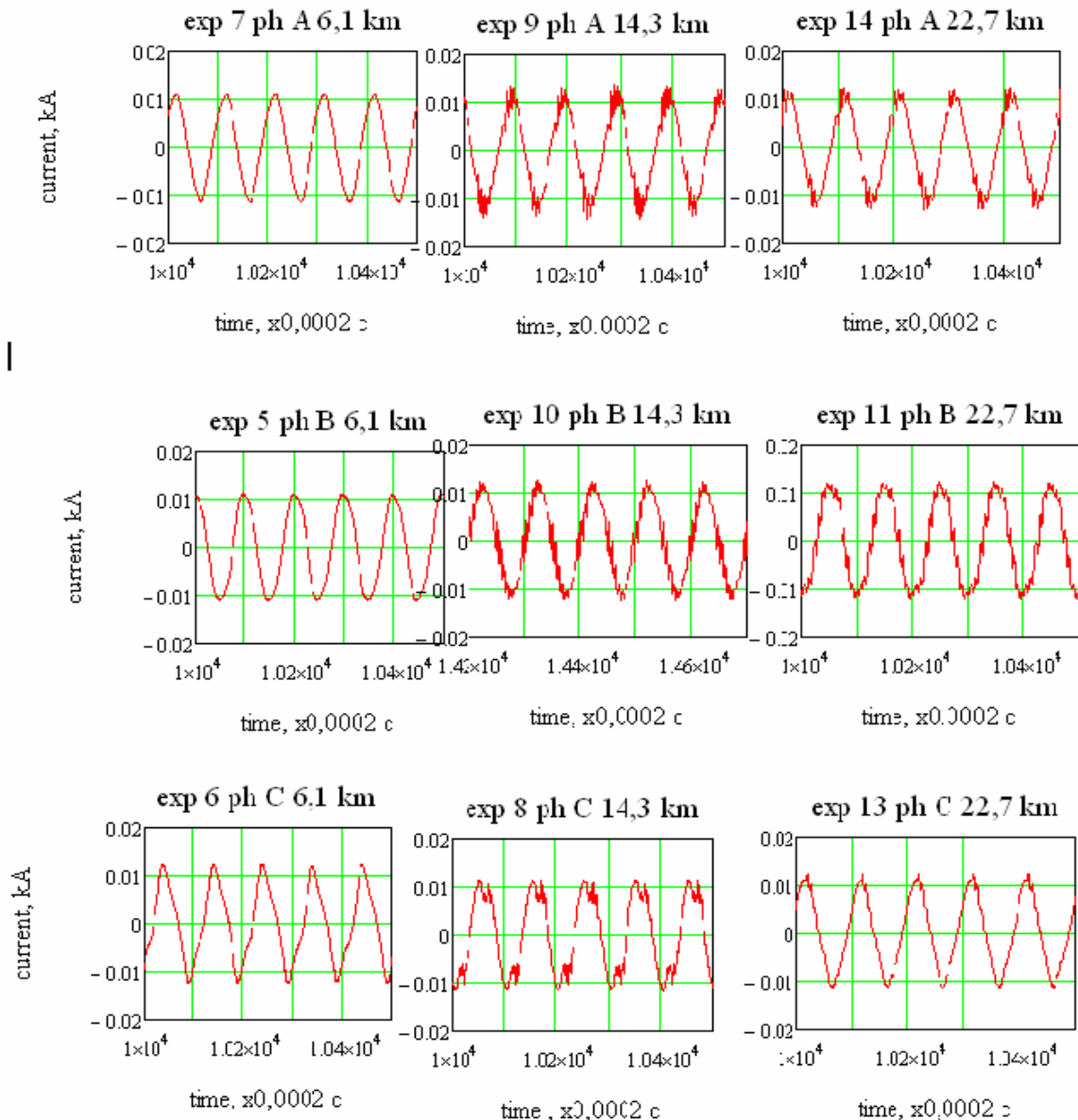


Рис. 2

Алгоритми визначення відстані засновані на залежності вектора напруги пошкодженої фази від віддаленості замикання на землю (1) – (3). При цьому розглядалися два основних алгоритми: спрощений, у якому використовувались тільки вектори струму та напруги пошкодженої фази (окремо за повними значеннями струму та напруги та за першими гармоніками); уточнений, у якому використовуються вектори струмів та напруг трьох фаз, а також струм у місці замикання.

Для визначення відстані замикання на землю використовувались:

1. Повні значення струмів трьох фаз та напруг відносно землі:
  - миттєві значення;
  - дієві значення.
2. Перші гармоніки струмів трьох фаз та напруг відносно землі:
  - миттєві значення;
  - дієві значення (з врахуванням і без врахування значення частки перших гармонік у повному сигналі).
3. Опір нульової послідовності контура замикання.
4. Значення частки першої (третьої) гармоніки у струмах та напругах.

## Значення струмів та напруг пошкодженої фази

Пошкоджена фаза	Параметри	Відстань до місця замикання, км								
		6,1			14,3			22,7		
		Дієве значення	1-а гармоніка, %		Дієве значення	1-а гармоніка, %		Дієве значення	1-а гармоніка, %	
			До замикання	При замиканні		До замикання	При замиканні		До замикання	При замиканні
А	Струм фази, А	7,6	85,1	93	7,8	78,1	89,7	7,7	79,4	88,5
	Напруга, В	166,1	96,4	78,2	261,9	95,9	56	243,5	96,1	15,1
В	Струм фази, А	7,8	84,6	91,9	8,0	76,3	87,8	8,4	80,4	83,7
	Напруга, В	161,9	95,9	68,7	363,4	93,9	45,3	453,3	92,9	40,9
С	Струм фази, А	7,6	76,3	79,4	7,7	62,9	73	7,5	75,8	84,3
	Напруга, В	170,5	94,3	75,6	303	89,2	80,2	288,4	94,6	57,6

Експериментальні та розрахункові дослідження підтвердили достатність використання тільки перших гармонік струмів та напруг як основних інформаційних складових у методі визначення відстані замикання. У цьому випадку точність визначення місця замикання задовольняє вимогам експлуатації.

**Висновки.** 1. Запропоновано метод визначення відстані замикання на землю на повітряній лінії 10 кВ, яка є єдиним елементом мережі й експлуатується в умовах складної електромагнітної обстановки вздовж всієї лінії через вплив близько розташованої іншої лінії та обладнання під високою напругою промислової частоти.

2. З метою наближення до нормальних умов експлуатації повітряної лінії шляхом симетрування режиму її роботи, а також для збільшення значення струму замикання на землю на початку лінії до кожної її фази необхідно підключати ємності, другі виводи яких підключені до землі.

Таке схемне рішення також дає змогу знизити ймовірність виникнення замикань на землю за рахунок рівномірного розподілу напруги по ізоляції повітряної лінії.

3. Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що на інформаційну складову параметрів режиму лінії впливають несиметрія режиму та вищі гармоніки у струмах та напругах. У зв'язку з цим зміна параметрів режиму залежно від відстані замикання має не тільки нелінійний характер, а й відбувається не пропорційно відстані. У багатьох дослідках у напругах фаз присутня постійна складова.

У зв'язку з наявністю таких завод використання безпосередньо повних значень параметрів режиму лінії є недоцільним для визначення відстані замикання.

4. Використання перших гармонік струмів і напруг лінії суттєво підвищує точність визначення відстані замикання. Але встановлено, що частка першої гармоніки струму у повному його значенні та частка першої гармоніки напруги у повному значенні напруги в одному й тому ж досліді відрізняються. У зв'язку з цим запропоновано виконувати приведення до однакового рівня перші гармоніки струмів та напруг у кожному досліді.

5. Результати визначення відстані за експериментальними даними параметрів режиму замикання підтвердили ефективність запропонованих методів. Похибка у багатьох випадках не перевищувала 3...4%.

1. Баран П.М., Кідиба В.П., Равлик О.М. Визначення виду та місця пошкодження на лініях з відгалуженням // Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2008. – № 615. – С. 8–13.
2. Кузнецов А.П. Определение мест повреждения на воздушных линиях электропередачи. – М: Энергоатомиздат, 1989. – 94 с.
3. Сарин Л.И., Шалин А.И., Ильиных М.В., Пичхадзе А.Б., Михель А.А. Определение места замыкания на землю на воздушных линиях 6-35 кВ // IV-Conference-2006-19.pdf/static.pnpbolid.com

4. *Фигурнов Е.П., Бодров П.А.* Определение места однофазного замыкания на землю в высоковольтных линиях электроснабжения автоблокировки железных дорог // Релейная защита и автоматика энергосистем, 2004: Сборник докладов. – М.: ВВЦ. – 2004. – С. 88–93.
5. *Пат. 94145 Україна*, МПК G 01 R 31/08 (2011.01). Спосіб визначення відстані до місця однофазного замикання на землю або дефекту ізоляції в електричних мережах з ізолюваною та компенсованою нейтраллю / *О.С. Миронов, М.Д. Дяченко, В.В. Бурлака, С.К. Бублик*. Власник – Приазовський державний технічний університет. UA. – №а200908198; Заявл. 03.08.2009; Опубл. 10.02.2010, Бюл. № 3.
6. *Пат. 116005 Україна*, МПК (2017.01) G06F 11/00 / Мікропроцесорна система визначення відстані до місця замикання на землю в нерозгалуженій системі з ізолюваною нейтраллю напругою 6-35 кВ / *Б.С. Стогній, М.Ф. Сопель, О.І. Гребченко М.В., Стретович В.М., Максимчук В.Ф., Стасюк О.І., Пилипенко Ю.В., Тутик В.Л.*; Заявник та патентовласник мале приватне підприємство «Анігер», UA. – №u2016 09336; Заявл. 08.09.2016; Опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.

УДК 621.31

**Б.С. Стогній<sup>1</sup>**, акад. НАН України, **М.Ф. Сопель<sup>2</sup>**, докт. техн. наук, **М.В. Гребченко<sup>3</sup>**, докт. техн. наук, **В.Ф. Максимчук<sup>4</sup>**, **Ю.В. Пилипенко<sup>5</sup>**, канд. техн. наук

1, 2, 5 – Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна

3 – Національний університет біоресурсів і природопольовання України,

ул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна

4 – Укрзалізниця,

ул. Тверська, 5, Київ-150, 03680, Україна

**Выбор алгоритма определения расстояния до замыкания на землю и необходимых для этого информационных составляющих параметров режима**

*Приведены результаты разработки метода определения расстояния до замыкания на землю воздушной линии в сети с изолированной нейтралью. Предложенный метод основан на измерении параметров режима линии. Для реализации метода в начале линии ее фазы подключаются к земле через емкости. Приведены результаты экспериментальных исследований замыканий на работающей линии. Анализ экспериментальных данных показывает, что использование традиционных методов определения расстояния до замыкания затруднено из-за сложной электромагнитной обстановки, которая в значительной мере обусловлена влиянием близко расположенной высоковольтной линии и другого оборудования, которое находится под высоким напряжением. Использование первых гармоник токов и напряжений значительно повышает точность определения расстояния до места замыкания. Библиограф. 6, рис. 2, таблица.*

**Ключевые слова:** замыкание на землю, метод определения расстояния, экспериментальные исследования.

**B.S. Stognii<sup>1</sup>**, **M.F. Sopol<sup>2</sup>**, **M.V. Grebchenko<sup>3</sup>**, **V.F. Maksymchuk<sup>4</sup>**, **Yu.V. Pylypenko<sup>5</sup>**

1, 2, 5 – Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,

Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine

3 – National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine,

st. Heroyiv Oborony, 15, Kyiv, 03041, Ukraine

4 – Ukrzaliznytsa,

st. Tverska, 5, Kyiv -150, 03680, Ukraine

**Selection of distance determination algorithm to the ground fault and necessary information components of mode parameters**

*The results of the development of a distance determination method to the ground fault of an overhead line in the network with isolated neutral are presented. The proposed method is based on the measurement of mode parameters of the line. To implement the method at the beginning of the line, the phases of this line are connected to ground through the tanks. The results of experimental studies of the line-in-use faults are presented. Analysis of experimental data shows that the use of traditional distance determination methods to the fault is difficult due to the complex electromagnetic environment, which is caused by the influence of a closely located high-voltage line and other equipment that is under high voltage. The use of first harmonics of currents and voltages significantly improves the accuracy of distance determination to the fault location. References 6, figures 2, table.*

**Key words:** ground fault; distance determination method; experimental studies.

Надійшла 07.09.2017

Received 07.09.2017