

ГОНЧАРЕНКО Ю. П.

<https://orcid.org/0000-0002-2631-2956>

КОВБАСЮК С. В.

<https://orcid.org/0000-0002-6003-7660>

ПОЛЕЩУК І. І.,

Поліський національний університет

ТЕПТЯ В. В.,

<https://orcid.org/0000-0002-2792-0160>e-mail: teptyavira@gmail.com

Вінницький національний технічний університет

ПРЯДКО В. А.

e-mail: vaprvadko@gmail.com

Поліський національний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Дане наукове дослідження присвячене обґрунтуванню структури пристрою технічного стану розподільних електричних мереж. В роботі розглянуто будову пристрою діагностики технічного стану ліній електропередачі та запропонована його функціональна схема. В статті описано принцип роботи діагностичного пристрою згідно функціональної схеми. Розглянуто схему ЛЕП з трьома розгалуженнями та часовими відмітками від відомих місць, які мають неоднорідності при зондуванні основним діагностичним пристроєм та схема ЛЕП з трьома розгалуженнями та часовими відмітками від відомих місць, які мають неоднорідності при зондуванні допоміжним діагностичним пристроєм. Запропонований пристрій діагностування технічного стану розподільних електричних мереж оснований на способі обробки радіолокаційного сигналу з частотною модуляцією безперервної хвилі. На відміну від існуючих пристроїв, даний пристрій дозволяє забезпечити виявлення несправності на окремих ділянках розгалужених ЛЕП; має малу вихідну потужність; значне відношення С/Ш дає можливість діагностувати якість ЛЕП великої протяжності з великою кількістю розгалужених ділянок та покращити точність визначення параметрів. Необхідно для діагностування ЛЕП великої протяжності та з великим кількістю розгалужень, а також для дослідження ділянок місць неоднорідності з малими амплітудами відбитих сигналів. Діагностичний пристрій може стати основою для створення сучасного всеукраїнського диспетчерського пункту аналізу технічного стану та керування обладнанням електричних мережами лініями енергопостачання.

Ключові слова: технічний стан, розподільні електричні мережі, пристрій діагностування, повітряні лінії електропередачі.

YURII GONCHARENKO, SERGII KOVBASYUK, I. POLESCHUK

Polissya National University

VIRA TEPTYA

Vinnytsia National Technical University

V. PRYADKO

Polissya National University

APPROACHES OF PROBING SIGNAL TYPE DETERMINATION OF MEANS LOCAL PROBING FOR THIS STUDY IS DEVOTED TO SUBSTANTIATING THE STRUCTURE OF THE DEVICE OF THE TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL DISTRIBUTION NETWORKS

The structure of the device for diagnostics of technical condition of power transmission lines is considered in the work and its functional scheme is offered. The article describes the principle of operation of the diagnostic device according to the functional diagram. The scheme of power lines with three branches and timestamps from known places with inhomogeneities in the sounding of the main diagnostic device and the scheme of power lines with three branches and timestamps from known places that have inhomogeneities in the sounding of auxiliary sounding are considered. The proposed device for diagnosing the technical condition of power distribution networks is based on the method of processing a radar signal with frequency modulation of a continuous wave. Unlike existing devices, this device allows you to detect faults in certain areas of branched transmission lines; has low output power. The use of a software-tuned radio station in the development and production of a diagnostic device significantly reduces material costs. It is necessary to diagnose high-voltage power lines with a large number of branches, as well as to study areas of inhomogeneity with small amplitudes of reflected signals. This paper substantiates the structure and principle of operation of the location sensing device for assessing the technical condition of electrical distribution networks in ice. The novelty is the use of special broadband signals for sounding and their optimal processing, in determining the location of damage (heterogeneity) in the branched overhead power lines, which are the basis of the diagnostic device of the transmission line. The diagnostic device can become a basis for the creation of the modern all-Ukrainian dispatching point of the analysis of a technical condition and management of the equipment of electric networks by power supply lines.

Keywords: probing signal, location probing method, diagnostics, overhead power lines.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Надійність електропостачання споживачів в складних погодних умовах зобов'язує електропостачальні структури постійно проводити моніторинг стану електричних мереж. Особливо актуальним являються режими при виникненні ожеледиці на проводах повітряних ліній.

Сьогодні застосовуються різні методи діагностування технічного стану розподільчих електричних мереж для виявлення ожеледиці. До них можна віднести такі як: візуальний огляд, метод акустичної емісії, вимірювання ваги проводів в одному або кількох прольотів лінії електропередачі, локаційний метод зондування.

В даній роботі обґрунтована структура та принцип роботи пристрою локаційного зондування для оцінки технічного стану розподільчих електричних мереж при ожеледиці. Новизна полягає у використанні спеціальних ширококутових сигналів для зондування та їх оптимальна обробка, при визначенні місць пошкоджень (неоднорідності) в розгалужених повітряних ліній електропередачі, які являються основою діагностичного пристрою ЛЕП.

Склад пристрою діагностики технічного стану ліній електропередачі (ЛЕП)

На рис.1 показана функціональна схема діагностичного пристрою технічного стану ЛЕП, яка в своєму складі має:

- Пристрій керування та синхронізації, призначений для управління всіх функціональних складових діагностичного пристрою в різних режимах роботи.

- Формувач М-послідовності.

Формує М-послідовності для формування модифікованого (Frequency-Modulated Continuous Wave radar) FMICW сигналу.

- Перемикач надвисокочастотного випромінювання (НВЧ) входу діагностичного пристрою - для захисту входу діагностичного пристрою від зондуючого сигналу та його відкриття при отримання відбитих сигналів.

- 2 генератора сигналу з лінійно-частотною модуляцією (ЛЧМ) з різним законом зміни частоти.

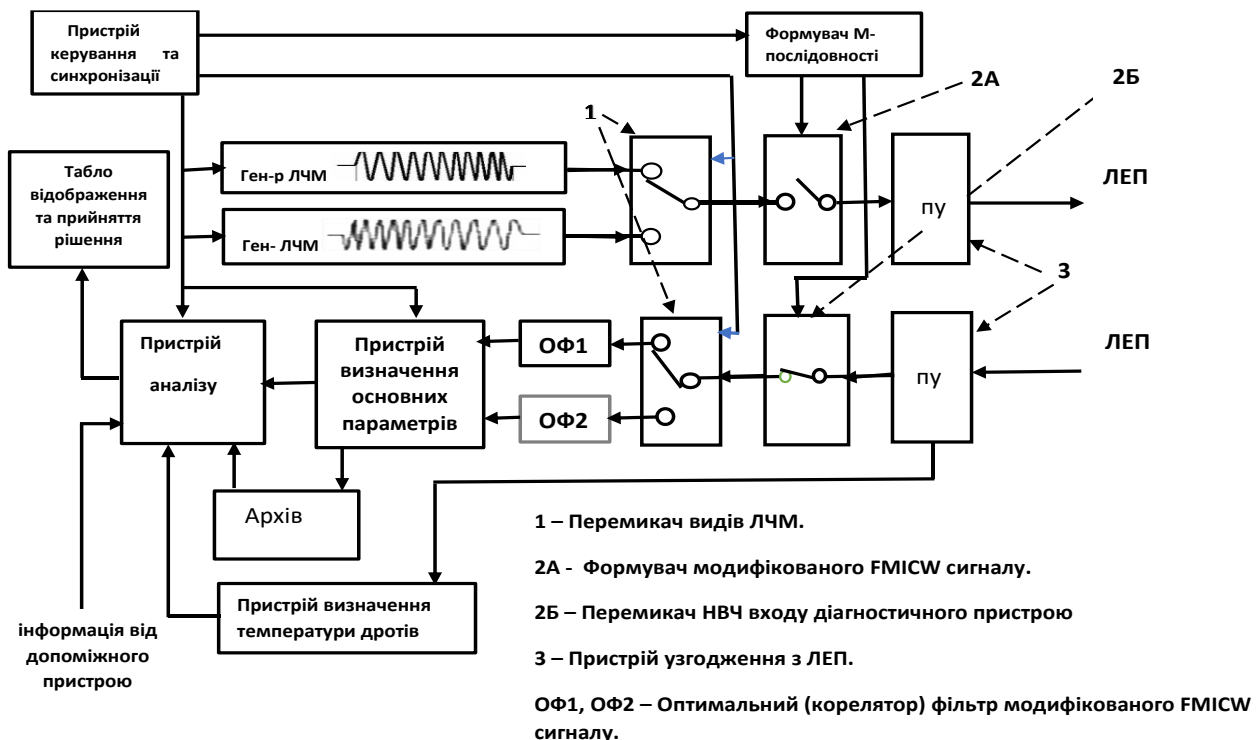


Рис. 1. Функціональна схема діагностичного пристрою технічного стану ЛЕП

- 2 генератора ЛЧМ сигналу з різним законом зміни частоти.

- Табло відображення та прийняття рішення. Відображає технічний стан ЛЕП. При перевищенні допусків контрольованих параметрів видається звукова та візуальна сигналізація.

- Перемикач видів ЛЧМ сигналів – перемикає подачу ЛЧМ з різними законами зміни частоти при частотних вимірювань в умовах диспергуючого середовища ЛЕП [3].

- ПУ – пристрій узгодження з ЛЕП, призначений для з’єднання пристрою з ЛЕП, фільтрація сигналів.

- ОФ1, ОФ2 – оптимальна обробка сигналу (отримання автокореляційної функції, стиснення сигналу за часом).

- Пристрій визначення основних параметрів. Для кожного місця неоднорідності визначається час запізнювання відбитого сигналу та його амплітуда, а також відношення значень амплітуд відбитих сигналів на вході та виході (початок та кінець) кожної ділянки.

- Пристрій аналізу, що порівнює отримані результати вимірювання з архівними даними, оцінює отримані результати (допуски), визначає технічний стан ЛЕП.

- Архів призначений для зберігання попередньої інформації.

- Пристрій визначення температури дротів ЛЕП, призначений для аналізу отриманих сигналів.
- Інформація від допоміжного пристрою необхідна для визначення місць неоднорідності, які знаходяться на розгалуженнях ділянках ЛЕП.

Робота діагностичного пристрою згідно функціональної схеми

Припустимо, що ми маємо ЛЕП довжиною 150 км, яка має три розгалуження. Знаємо всі місця неоднорідності, які притаманні цій ЛЕП, знаємо їх відстань часову та просторову від діагностичних пристроїв при нормальних умовах. Для основного діагностичного пристрою це – $Tr1, T1, T2, T3, T4, T5, T6, Tr2$. Для допоміжного пристрою це – $\overline{Tr1}, \overline{T1}, \dots, \overline{T6}, \overline{Tr2}$. Кількість окремих ділянок, які визначаються місцями неоднорідності на вході та кінці представлена на рис. 1.2.

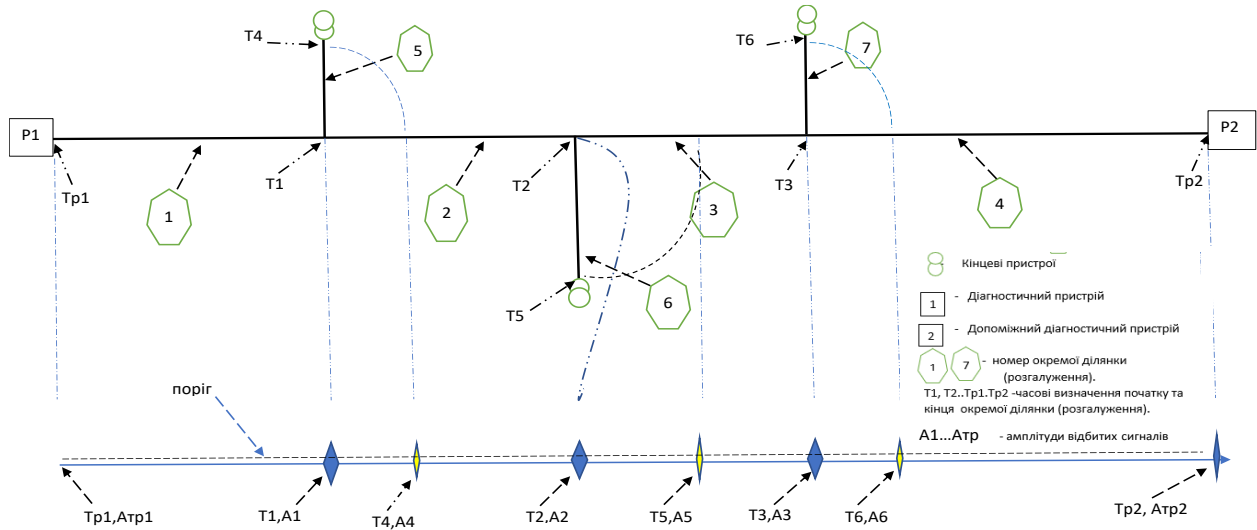


Рис. 2. Схема ЛЕП з трьома розгалуженнями та часовими відмітками від відомих місць, які мають неоднорідності при зондуванні основним діагностичним пристроєм

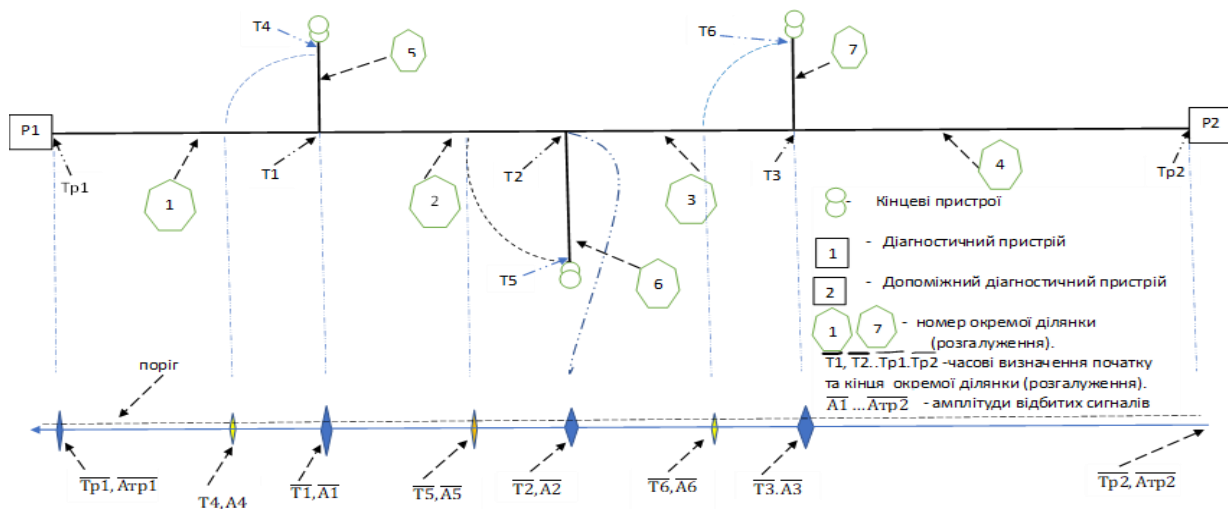


Рис. 3. Схема ЛЕП з трьома розгалуженнями та часовими відмітками від відомих місць, які мають неоднорідності при зондуванні допоміжним діагностичним пристроєм

Опираючись на алгоритм, який вказаний в [2] тривалість T_s зондуючого ЛЧМ повинна бути:

$$T_s \geq \frac{2 \cdot L'_{\max}}{C}, \tag{1}$$

де: L'_{\max} - час затримки відбитого сигналу від найбільш віддаленого місця неоднорідності до

діагностичного пристрою для нашої схеми $\overline{\text{Tr}2}$, $\overline{\text{Tr}1}$, C – швидкість світла.

Тоді:

$$T_s \geq \frac{2 \cdot 150 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8} = 10^{-3} (c).$$

Чим більше тривалість зондуючого сигналу тим більше відношення C/Π .
Візьмемо:

$$T_s = 1,5 \cdot 10^{-3} c.$$

Як вказано вище, що роздільна здатність за дальністю S_r визначається:

$$S_r = C/2B ,$$

де: C – швидкість світу, B – ширина смуги, а для нашого ЛЧМ сигналу значення девіації частоти.

Якщо візьмемо $S_r = 50$ м, то значення девіації частоти B буде дорівнювати:

$$B = C/2S_r = 3 \cdot 10^8 / (2 \cdot 50) = 3 \cdot 10^6 (Гц).$$

Визначимось з M -послідовністю. Алгоритм вказано в [28].

Знаємо що:

$$t_b < \tau < t_b(N_b - 1) \quad (2)$$

Де: t_b – часова тривалість одного біта в M -послідовності. τ – час затримки відбитого сигналу від місця неоднорідності. N_b – кількість бітів в M -послідовності.

Формула (7) допомагає визначити, де є сліпі зони в діапазоні прийняття відбитих сигналів від неоднорідності. Це на початку ЛЕП та на кінці лінії.

Щоб ліквідувати сліпу зону на кінці ЛЕП необхідно виконати вимоги формули (6). А це значить тривалість T_s зондуючого ЛЧМ повинна бути більшою ніж час затримки відбитого сигналу від найбільш віддаленого місця неоднорідності до діагностичного пристрою хоча на t_b . Що ми і зробили збільшив тривалість T_s зондуючого сигналу в 1,5 раз, що значно більше ніж t_b . Остається сліпа зона на початку ЛЕП. Знаючи з [2], що:

$$T_s = t_b N_b \quad (3)$$

То при постійній T_s та бажаній t_b можна визначити M -послідовність, де:

$$N_b = T_s / t_b \quad (4)$$

Ми не можемо нескінченно зменшувати t_b , що приведе до стрімкого збільшення кількості бітів N_b у M -послідовності. Знаходимо компроміс, t_b обираємо рівним часовій відстані до першого розгалуження $T1$ (рис. 2, 3). Цей компроміс дозволить визначити місця неоднорідності на всіх розгалужених лініях. Тоді діагностичний аналіз першої ділянки будемо проводити за даними допоміжного діагностичного пристрою. Є й інші методи вирішення даної проблеми.

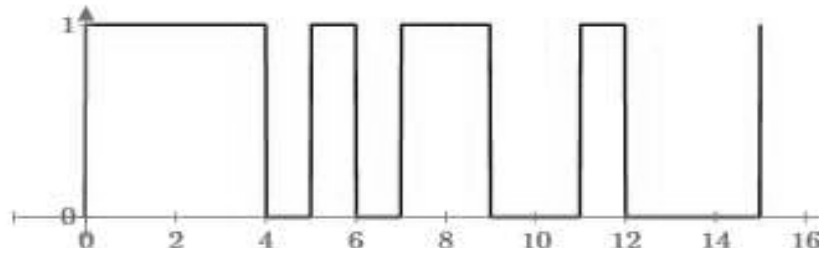
Припустимо що відстань між діагностичним пристроєм та першим розгалуженням 15 км тоді:

$$t_b = T1 = 2 \cdot 15 \cdot 10^3 / (3 \cdot 10^8) = 10^{-4} (c).$$

Тоді визначимо розрядність M -послідовності:

$$N_b = \frac{1,5 \cdot 10^{-3}}{10^{-4}} = 15 .$$

Вигляд 15 бітової послідовності може бути $g(t) = [111101011001000]$ візуально показано на рис. 4.

Рис. 4. Один період функції $g(t) = [111101011001000]$

Розглянемо роботу діагностичного пристрою згідно функціональної схеми рис. 1, епюрами рис. 5.

На початку роботи діагностичного пристрою в пам'ять (архів) вносяться початкові данні про ЛЕП.

Для основного діагностичного пристрою це час проходження сигналу від основного діагностичного пристрою до неоднорідності та назад – $\overline{Tr1}$, $\overline{T1}$, $\overline{T2}$, $\overline{T3}$, $\overline{T4}$, $\overline{T5}$, $\overline{T6}$, $\overline{Tr2}$.

Для допоміжного пристрою – $\overline{Tr1}$, $\overline{T1}$, ... $\overline{T6}$, $\overline{Tr2}$.

Визначаємо кількість окремих ділянок, які позначаються місцями неоднорідності на вході та виході (початок так кінець). Часовими позначками на рис. 2, 3 виділені сім ділянок, показані в таблиці 1.

При першому запуску діагностичного пристрою проводиться юстирування:

- Визначаються всі місця неоднорідності ЛЕП їх положення на цифровій карті, вводяться необхідні поправки.

- Вимірюються амплітуди відбитих сигналів всіх часових позначок: A_{tr1} , $A1$, $A2$, $A3$, $A4$, $A5$, $A6$, A_{tr2} основним діагностичним пристроєм $\overline{A_{tr1}}$, $\overline{A1}$, $\overline{A2}$, $\overline{A3}$, $\overline{A4}$, $\overline{A5}$, $\overline{A6}$, $\overline{A_{tr2}}$ допоміжним діагностичним пристроєм.

- Вираховується різниця початкових часових меж кожної окремої ділянки (дивись Таблиця 1, стовб. 4. 5.)

- Вираховують відношення значень амплітуд відбитих сигналів від місць неоднорідності, які визначають кожну ділянку (дивись Таблиця 1, стовб. 6. 7).

- Визначають необхідні допуски для всіх вимірювань та параметрів.

- Всі ці дані вносяться в архів та стають еталонними.

Після юстирування, апаратура діагностування готова до роботи. Пристрій керування та синхронізації подає сигнали до генератора ЛЧМ де формується сигнал див рис. 5,а,б, та одночасно на формувач М- послідовності.

З виходу генератор ЛЧМ, сигнал поступає на перемикач видів ЛЧМ (вибирається в режимі частотних вимірювань в умовах диспергуючого середовища ЛЕП для уточнення вимірювання).

Далі з допомогою сигналів М – послідовності (див. рис. 5, г), які приходить від формувача М – послідовності, формується модифікований FMICW сигнал (рис. 5, д).

Далі через пристрій узгодження потрапляє у ЛЕП. У складі пристрою узгодження може бути керований підсилювач потужності.

Таблиця 1

Номера ділянки та їх часові позначки

Номер ділянки ЛЕП	Часові позначки для основного діагностичного пристрою (Рис.15)	Часові позначки для допоміжного діагностичного пристрою (Рис.16)	Різниця початкових часових меж кожної окремої ділянки основного діаг-го пристрою	Різниця початкових часових меж кожної окремої ділянки допоміжного діаг-го пристрою	Відношення значень амплітуд основного діагностичного пристрою	Відношення значень амплітуд допоміжного діагностичного пристрою
1	2	3	4	5	6	7
1	$\overline{Tr1}, \overline{T1}$.	$\overline{T1}, \overline{Tr1}$	$\Delta L1 = \overline{Tr1} - \overline{T1}$.	$\overline{\Delta L1} = \overline{T1} - \overline{Tr1}$	$K1 = \overline{A_{tr1}} / A1$	$\overline{K1} = \overline{A1} / \overline{A_{tr1}}$
2	$\overline{T1}, \overline{T2}$.	$\overline{T2}, \overline{Tr1}$	$\Delta L2 = \overline{T1} - \overline{T2}$.	$\overline{\Delta L2} = \overline{T2} - \overline{Tr1}$	$K2 = A1 / A2$	$\overline{K2} = \overline{A2} / \overline{A1}$
3	$\overline{T2}, \overline{T3}$.	$\overline{T3}, \overline{Tr2}$	$\Delta L3 = \overline{T2} - \overline{T3}$.	$\overline{\Delta L3} = \overline{T3} - \overline{Tr2}$	$K3 = A2 / A3$	$\overline{K3} = \overline{A3} / \overline{A2}$
4	$\overline{T3}, \overline{Tr2}$.	$\overline{Tr2}, \overline{T3}$	$\Delta L4 = \overline{T3} - \overline{Tr2}$.	$\overline{\Delta L4} = \overline{Tr2} - \overline{T3}$	$K4 = A3 / A_{tr2}$	$\overline{K4} = \overline{A_{tr2}} / \overline{A3}$
5	$\overline{T1}, \overline{T4}$.	$\overline{T1}, \overline{Tr4}$	$\Delta L5 = \overline{T1} - \overline{T4}$.	$\overline{\Delta L5} = \overline{T1} - \overline{Tr4}$	$K5 = A1 / A4$	$\overline{K5} = \overline{A1} / \overline{A4}$
6	$\overline{T2}, \overline{T5}$.	$\overline{T2}, \overline{Tr5}$	$\Delta L6 = \overline{T2} - \overline{T5}$.	$\overline{\Delta L6} = \overline{T2} - \overline{Tr5}$	$K6 = A2 / A5$	$\overline{K6} = \overline{A2} / \overline{A5}$
7	$\overline{T3}, \overline{T6}$.	$\overline{T3}, \overline{T6}$	$\Delta L7 = \overline{T3} - \overline{T6}$.	$\overline{\Delta L7} = \overline{T3} - \overline{T6}$	$K7 = A3 / A6$	$\overline{K7} = \overline{A3} / \overline{A6}$

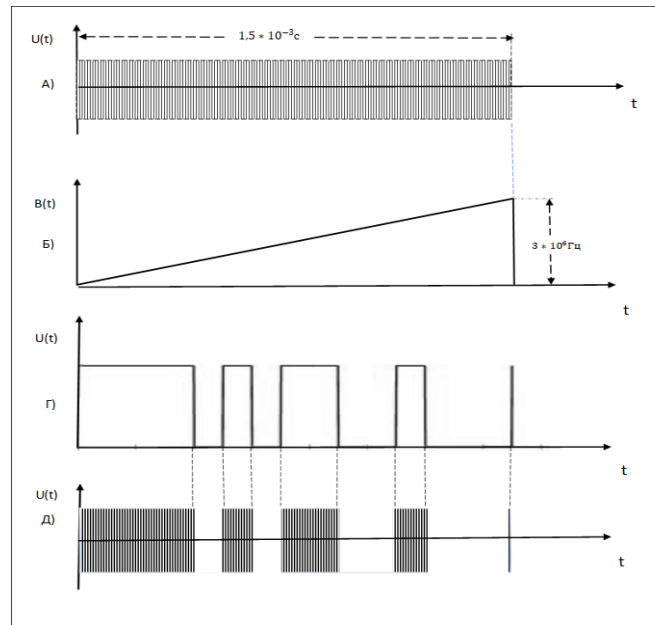


Рис. 5. Епюри формування модифікованого FMICW сигналу діагностичного пристрою

Сигнал, який поступив в ЛЕП відбивається від всіх місць неоднорідності і через пристрій узгодження поступає на перемикач НВЧ входу діагностичного пристрою для захисту входу від зондуючого сигналу та його відкриття при отримання відбитих сигналів. Через перемикач видів ЛЧМ поступає на ОФ1 (ОФ2) (де відбувається, як правило цифрова оптимальна (кореляційна) обробка сигналів). Після стиснення, на виході ОФ1, функціонально, має вигляд як показано на рис. 2. Імпульси, амплітуда яких перевищує заданий поріг, поступають до пристрою визначення основних параметрів.

На першому етапі проходить визначення часових та амплітудних позначок сигналів, які вище за поріг, а також порівняння сформованого кадру з попереднім, який надходить від архіву, як у основного діагностичного пристрою так і допоміжного. Якщо кадри ідентичні то приймають рішення про справність ЛЕП яка контролюється.

На другому етапі. Якщо, знайдена невідповідність то зразу знаходиться місце невідповідності на ЛЕП способом, який вказаний в [5]. Далі проходить уточнення:

- Наявність часових основних позначок прийнятих діагностичними пристроями з еталонними. По відсутності одної чи більше визначається місце КЗ (коротке замикання) чи обрив дротів ЛЕП.

- Вимірюються різниця початкових часових меж кожної окремої ділянки ($\Delta L1, \dots, \Delta L7, \overline{\Delta L1}, \dots, \overline{\Delta L7}$), відношення, амплітуд ($K1, \dots, K7, \overline{K1}, \dots, \overline{K7}$) основного та допоміжного діагностичних пристроїв та порівнюються з еталоном.

Пристрій аналізу для кожної ділянки розгалуженої ЛЕП визначає, всі нові неоднорідності. Результати отримані в пристрої аналізу передаються на табло відображення та прийняття рішень. Розглянемо алгоритм роботи діагностичного пристрою на прикладі віртуальної ЛЕП, яка представлена на рис. 2, 3, 6, 7. На рис. 6, 7 показана схема ЛЕП, де на одній з ділянок з'явилося місце з неоднорідністю, відмітка показана, як Ta та \overline{Ta} . На першому етапі проходить визначення часових та амплітудних позначок сигналів, які вище за поріг, а також порівняння сформованого кадру з попереднім, який надходить від архіву, як у основного діагностичного пристрою так і допоміжного. Визначили, що часові позначки Ta та \overline{Ta} не ідентифікувалися з попереднім кадром. Далі згідно [5] визначається місце несправності. Так, як $\overline{Tp1}$ та $Tp2$ дорівнюють часу проходження зондуючого сигналу по всій довжині ЛЕП якщо:

$$Ta + \overline{Ta} = \overline{Tp1} = Tp2 ,$$

тоді несправність знаходиться на основній лінії передачі, а якщо:

$$Ta + \overline{Ta} \geq \overline{Tp1} = Tp2 ,$$

тоді несправність знаходиться на розгалуженні.

Найдемо часову мітку розгалуження:

$$Tx = \left[\overline{Tp1} - (Ta + \overline{Ta}) \right] / 2 + Ta;$$

або:

$$Tx = \left[Tp2 - (Ta + \overline{Ta}) \right] / 2 + \overline{Ta}.$$

Після порівняння з попереднім кадром приходимо до висновку, що часова відмітка відповідає: $Tx = T1$ і несправність знаходиться на п'ятій ділянці і часова відстань від головного діагностичного пристрою дорівнює Ta , а від допоміжного \overline{Ta} . Далі аналізуються відношення амплітуд відбитих сигналів країв розгалуження та різницю часових відміток країв визначеної ділянки.

Якщо $T4 - T1 > \Delta L5$, та $A1/A4 > K5$ це є ознака ожеледиці на ділянці 5.

А коли $T4 - T1 = \Delta L5$ та $A1/A4 > K5$ то це може бути:

- ✓ перекриття на дерево-чагарникову рослинність, падіння дерев, сучків на дроти;
- ✓ пожежі на трасі та поблизу повітряної лінії;
- ✓ сторонні дії, вандалізм;
- ✓ недоліки експлуатації;
- ✓ пробій ізоляторів;
- ✓ падіння опор та інше.

Відсутність основних часових позначок показує КЗ або обрив дротів ЛЕП. Місце знаходження несправності своєчасно визначає діагностичний пристрій.

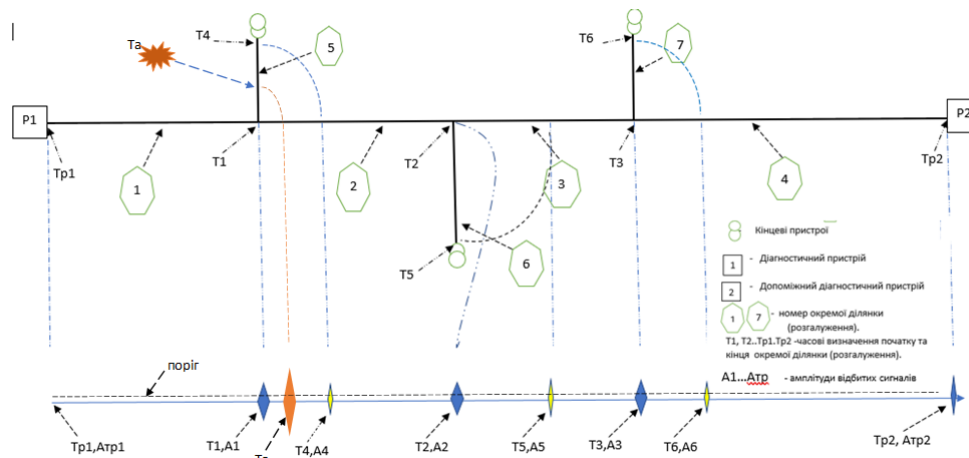


Рис. 6. Схема ЛЕП при виникненні несправності на п'ятій ділянці з відмітками місць неоднорідності при зондуванні основним діагностичним пристроєм

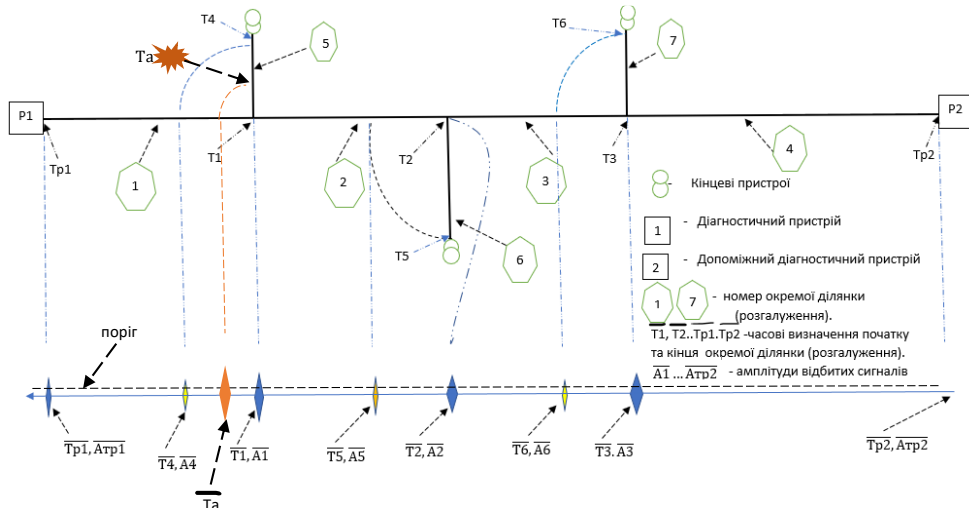


Рис. 7. Схема ЛЕП при виникненні несправності на п'ятій ділянці з відмітками місць неоднорідності при зондуванні допоміжним діагностичним пристроєм

Порівняльні характеристики DiLin (система моніторингу технічного стану повітряних ліній електропередачі) та пропонованого до розробки діагностичного пристрою.

Система марки DiLin призначена для організації стаціонарного моніторингу та оцінки технічного стану ЛЕП [6].

Система DiLin базується на комплексному застосуванні кількох діагностичних методів, що ґрунтуються на використанні аналізу особливостей поширення високочастотних імпульсів уздовж проводів

ЛЕП.

Основні діагностичні методи DiLin:

- Хвильовий метод, що контролює швидкість і згасання хвилі електромагнітного поля в лінії.

Для контролю цих параметрів в лінію інжектуються імпульси від тестового генератора.

➤ Метод аналізу рефлектограм, заснований на реєстрації імпульсів, відбитих від ділянок ЛЕП із локально зміненими електромагнітними властивостями. Цей метод також базується на аналізі реакції лінії на тестові імпульси.

➤ Моніторинг розрядної активності у лінії, що дозволяє контролювати практично всі види імпульсних процесів.

➤ Локація місць виникнення дефектів лінії за різницею часу приходу імпульсів від розрядів до різних кінців лінії.

➤ Оперативний прямий контроль температури проводів ЛЕП із використанням бездротових датчиків температури.

Таблиця 2

Технічні характеристики системи DiLin

Параметр	Значення
Довжина лінії, км	5 – 200
Напруга лінії, кВ	від 6
Кількість контрольованих ліній, шт.	до 2
Амплітуда тестових імпульсів, мВ	до 600
Тривалість тестових імпульсів, мкс	до 500
Розміри захисної шафи, мм	500x700x250
Напруга живлення АС/DC, В	120 – 240
Температура експлуатації, °С	-50 – +50

Для кращого налаштування від перешкод послідовно вводяться кілька імпульсів в лінію, що дозволяє усереднено їх статистичними методами (нажаль немає інформації щодо кількості). Якщо амплітуда тестових імпульсів $U_c = 600$ (В), а середній хвильовий опір $Z_B = 600$ (Ом), то потужність сигналу на виході системи буде:

$$P_c = \frac{U_c^2}{Z_B} = \frac{600^2}{600} = 600 \text{ (Вт)}.$$

Оцінімо сигнал зондування для нашого діагностичного пристрою, який має:

$$T_s = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ (с)}, \quad B = 3 \cdot 10^6 \text{ (Гц)}.$$

То відношення С/Ш після оптимальної фільтрації покращиться відносно вузькосмугового у:

$$SNR = T_s \cdot B = 4500 \text{ (раз)}.$$

А з врахуванням [2] того, що сигнал модулюється М-послідовністю то значення зменшується у чотири рази тоді:

$$SNR = 1250.$$

Іншими словами, якщо вихідна потужність пристрою буде дорівнюватись 10 Вт – еквівалента потужність буде дорівнювати 12.5 кВт. (Еквівалентна потужність це потужність вузькосмугового сигналу яка необхідна для досягнення тих характеристик, що і при використанні широкосмугового сигналу). Якщо використати сигнал потужністю 600 Вт то еквівалента потужність вихідного буде дорівнювати 750 кВт. Еквівалентну потужність можна збільшувати за рахунок когерентного накопичення сигналу, збільшення тривалості сигналу T_s , девіації частоти B , використання інших методів локації. Це необхідно для діагностування ЛЕП великої протяжності та з великим кількості розгалужень, а також для дослідження ділянок місць неоднорідності з малими амплітудами відбитих сигналів. Система DiLin використовує вузькосмуговий сигнал потужність якого 600 Вт тому і еквівалентна потужність дорівнює 600 Вт. Для збільшення відношення С/Ш застосовується накопичення сигналів. Використовується тільки для ЛЕП без розгалужених ділянок. Довжина лінії яка контролюється системою до 200 км. Якщо, діагностичний пристрій використовує сигнал потужністю 10 Вт, то еквівалентна потужність буде дорівнювати 12.5 кВт, а при потужності 600 Вт еквівалентна потужність буде дорівнювати 750 кВт. Що значно збільшує точність виміру необхідних характеристик, довжину контрольованої ЛЕП. Виходячи з вище сказаного, діагностичний пристрій значно перевищує технічні характеристики система DiLin, та на відміну від DiLin,

діагностичний пристрій спроможний діагностувати ЛЕП з розгалуженими ділянками.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Запропонований пристрій діагностування технічного стану розподільних електричних мереж оснований на способі обробки радіолокаційного сигналу з частотною модуляцією безперервної хвилі (FMICW) [1], який модифікований згідно з [2] та [5] за своїми технічними характеристиками значно кращий ніж сучасні аналоги це:

- виявлення несправності на окремих ділянках розгалужених ЛЕП;
- мала вихідна потужність;
- значне відношення С/Ш дає можливість діагностувати якість ЛЕП великої протяжності з великою кількістю розгалужених ділянок та покращити точність визначення параметрів;
- діагностичний пристрій може стати основною клітиною для створення сучасного всеукраїнського диспетчерського пункту аналізу технічного стану та управління лініями енергопостачання.

Література

1. Портативний цифровий іонозонд DPS-4 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ikfia.ysn.ru/portativnyj-tsifrovoy-ionozond-dps-4/>
2. Елсуков О. О. Однопозиционная система частотного обеспечения ближней декаметровой связи на основе технологии программно-конфигурируемого радио : дис. ... канд. тех. наук : 01.02.04 / Елсуков Алексей Александрович – Йошкар-Ола, 2015. – 135 с.
3. WO2003044560A1. Method for processing a frequency modulated interrupted continuous wave (fmicw) radar signal [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://patents.google.com/patent/WO2003044560A1/en>
4. Петрухин А. А. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Совершенствование методов и технических средств определения мест поврежденных воздушных ЛЭП 6-35 кВ : дис. ... канд. тех. наук. – Иваново, 2009. – 135 с.
5. Пат. на винахід №121486 України. МПК (2020) С2 13 Спосіб визначення місця пошкодження розгалуженої лінії електропередачі з декількома джерелами живлення / О.В. Андреев, П.П. Мартинчук, І.І. Полещук, М.Ф. Хоменко ; заявник і патентовласник Житомирський державний технологічний університет. – № а 2017 05212 ; заяв. 10.11.2017; опубл. 10.06.2020, Бюл. № 21. – 5 с.
6. DiLin – Overhead Power Line Monitoring System [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://dimrus.com/dilin_e.html
7. Рубаненко О. О. Аналіз роботи ВДЕ в розподільних мережах та шляхи компенсації їх нестабільності / О.О. Рубаненко, В.П. Янович, І.О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019.– № 5. – С. 176–179.
8. Матвієнко С. В. Моніторинг технічного стану електричних мереж з ізольованою нейтраллю на основі розподіленої системи RC-фільтрів з обмежувачами перенапруг та телеметрією напруг / С.В. Матвієнко, В.П. Янович, О.О. Рубаненко, В.В. Явдик // Збірник наукових праць ВНАУ: Серія техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2018. – № 2. – С. 48–53.

References

1. Portativnyj cifrovoy ionozond DPS-4. URL: <https://ikfia.ysn.ru/portativnyj-tsifrovoy-ionozond-dps-4/> (Data zvernennya 30.01.2022).
2. Elskov O.O. Disertaciya na zdobuttya naukovoogo stupenya kandidata tehnicnih nauk. “Odnopozicionnaya sistema chastotnogo obespecheniya blizhnej dekametrovoj svyazi na osnove tehnologii programmno-konfiguriruемого radio”, 2015.
3. WO2003044560A1. Method for processing a frequency modulated interrupted continuous wave (fmicw) radar signal. URL: <https://patents.google.com/patent/WO2003044560A1/en>
4. Petruhin A. A. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk. Sovershenstvovanie metodov i tehniceskix sredstv opredeleniya mest povrezhdenij vozдушnyh LEP 6-35 kV: dis. ... kand. teh. nauk : – Ivanovo, 2009. – 135 s.
5. Pat. na vynakhid №121486 Ukrainy. MPK (2020) S2 13 Sposib vyznachennia mistsia poshkodzhennia rozghaluzhenoi linii elektroperedachi z dekil'koma dzherelamy zhyvlennia / O.V. Andreiev, P.P. Martynchuk, I.I. Poleshchuk, M.F. Khomenko; zaiavnyk i patentovlasnyk Zhytomirskiy derzhavnyi tekhnolohichnyi universytet. – № a 2017 05212; zaiav. 10.11.2017; opubl. 10.06.2020, Biul. № 21. – 5 s.
6. DiLin – Overhead Power Line Monitoring System. URL: https://dimrus.com/dilin_e.html
7. Rubanenko O.O. Analiz roboty VDE v rozpodilnykh merezhakh ta shliakhy kompensatsii yikh nestabilnosti./ O.O. Rubanenko, V.P. Yanovych, I.O. Hunko // Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences. – 2019. – № 5. – С. 176 –179.
8. Matviienko S. V. Monitorynh tekhnichnoho stanu elektrychnykh merezh z izolovanoi neutralliu na osnovi rozpodilenoї systemy RC-filtriv z obmezhuвачamy perenapruh ta telemetrieyu napruh / S.V. Matviienko, V.P. Yanovych, O.O. Rubanenko, V.V. Yavdyk // Zbirnyk naukovykh prats VNAU: Serii tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2018. – № 2. – С. 48 – 53.

Рецензія/Peer review : 08.01.2022 р.

Надрукована/Printed : 27.02.2022 р.