

ГОНЧАРЕНКО Ю. П.
<https://orcid.org/0000-0002-2631-2956>
ПРЯДКО В. А., ПОЛЕЩУК І. І.,
СИНЬКІВСЬКИЙ В. А.
e-mail: vantus121212@gmail.com
Поліський національний університет
ОСТРА Н. В.
e-mail: natalyaostro@ukr.net
Вінницький національний технічний університет

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ ЗОНДУЮЧОГО СИГНАЛУ ЗАСОБІВ ЛОКАЦІЙНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

В роботі представлено режими виявлення ожеледі на повітряній лінії 110 кВ. Проаналізовано методи виявлення пошкоджень при ожеледі проводів ліній електропередачі. Розроблено пропозиції вдосконалення підходів визначення пошкоджень, що спричинені ожеледдю на провадах повітряних ліній електропередачі. В статті основна увага сфокусована на методі локаційного зондування, який полягає в подачі імпульсного сигналу в лінію та визначенні сумарного часу, витраченого на його поширення вздовж дроту у прямому та зворотному напрямках після відображення від кінця лінії або від високочастотного загороджувача. При локаційному способі виявлення ожеледі інформацію про появу ожеледі несуть імпульси, відображені від будь-якої неоднорідності хвильового опору лінії, що є на ній. Всі негативні фактори, зокрема і ожеледь, змінюють хвильовий опір довгої лінії, створюючи неоднорідності в повітряних ліній електропередачі та збільшується час проходження відбитим імпульсом заданої ділянки лінії при наявності ожеледі. Їх можна визначити за допомогою активного зондування. Проблема полягає в тому ці неоднорідності можуть бути малими за амплітудою і активне зондування не в змозі виявити відбитий сигнал від однорідності так, як потужність шумів та завад можуть бути більшими, а головне вони можуть знаходитися на розгалужених лініях електропередачі. В роботі показано, що збільшення тривалості зондуючого імпульсу із застосуванням різних видів модуляції дозволяє збільшити енергію зондуючого сигналу, забезпечити необхідну ширину спектра та відповідно роздільну здатність приладу на відстані. В статті запропоновано спосіб врахування "сліпої зони", в якій неможливо визначити відбиті сигнали від місця неоднорідності повітряних ліній електропередачі. На час випромінювання зондуючого сигналу вхід приймача закритий і тому відбиті від однорідності сигнали не поступають на приймач. У FMICW-радіолокаторі процес вимірювання для визначення дальності полягає у вимірюванні різниці між поточною частотою сигналу, що випромінюється, і частотою відбитого сигналу то в іонозонді час запізнення відбитого сигналу від неоднорідності визначається після оптимальної (кореляційної) обробки всього сигналу. Алгоритм та метод роботи іонозонду пропонується впровадити для розробки пристрою діагностування технічного стану розподільних електричних мереж.

Ключові слова: зондуючий сигнал, метод локаційного зондування, діагностування, повітряні лінії електропередач.

YURI HONCHARENKO, VOLODYMYR PRIADKO, I. POLESHCHUK, VIKTOR SYNKIVSKIY
Polissya National University
NATALIYA OSTRA
Vinnytsia National Technical University

APPROACHES OF PROBING SIGNAL TYPE DETERMINATION OF MEANS LOCAL PROBING FOR DISTRIBUTED POWER GRIDS TECHNICAL CONDITION DIAGNOSTIC

The paper presents the modes of ice detection on a 110 kV overhead line. Methods of detecting damage during ice of power transmission wires are analyzed. Proposals for improving the approaches to determining the damage caused by ice on the wires of overhead power lines have been developed. The article focuses on the method of location probing, which consists in applying a pulse signal to the line and determining the total time spent on its propagation along the wire in the forward and reverse directions after reflection from the end of the line or from high-frequency barrier. In the locational method of detecting ice, information about the appearance of ice is carried by pulses reflected from any inhomogeneity of the wave resistance of the line on it. All negative factors, including ice, change the wave resistance of a long line, creating inhomogeneities in overhead power lines and increases the travel time of the reflected pulse of a given section of the line in the presence of ice. They can be determined by active probing. The problem is that these inhomogeneities can be small in amplitude and active sounding is unable to detect the reflected signal from the homogeneity as the power of noise and interference can be greater, and most importantly they can be on branched power lines. The paper shows that increasing the duration of the probing pulse with the use of different types of modulation allows to increase the energy of the probing signal, to provide the required spectrum width and, accordingly, the resolution of the device at a distance. The article proposes a method of taking into account the "blind zone", in which it is not possible to determine the reflected signals from the place of heterogeneity of overhead power lines. At the time of emission of the probing signal, the input of the receiver is closed and therefore reflected from the homogeneity of the signals do not arrive at the receiver. In FMICW radar, the measurement process to determine the range is to measure the difference between the current frequency of the emitted signal and the frequency of the reflected signal in the ion probe. It is proposed to introduce an algorithm and a method of ionosonde operation for the development of a device for diagnosing the technical condition of electrical distribution networks.

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

Ринкові відносини між виробниками та споживачами електроенергії вимагають якісного та безперебійного електропостачання. На жаль, електроенергетичне обладнання, яке використовується сьогодні в Україні, значною мірою фізично та морально застаріло [1]. Повітряні лінії електропередачі, що охоплюють величезні території, є найменш надійними елементами сучасної енергосистеми [2].

Питання про надійність електропостачання споживачів виникає у зв'язку з тим, що практично всі елементи електричної мережі з часом ушкоджуються. Скорочення кількості можливих пошкоджень часто пов'язано з великими додатковими витратами. Тому при конструюванні електричних мереж орієнтуються на середні умови їхньої роботи. В більш важких режимах, які виникають порівняно не часто, вдаються до розрахунку ймовірності пошкодження елементів мереж. Ці ушкодження можуть спостерігатися як від витрат монтажу та умов експлуатації повітряної лінії, але й певних зовнішніх умов - підвищеної грозової діяльності, посиленних вітрових впливів, особливо тяжких утворень ожеледі тощо. Одним із основних факторів, що призводять до порушення працездатного стану повітряної лінії та їх пошкодження, які пов'язані з навантаженнями від дії ожеледі, снігу, вітрові навантаження, та атмосферної перенапруги. На даний момент застосовуються різні методи діагностування технічного стану розподільчих електричних мереж, такі як: візуальний огляд, метод акустичної емісії, контроль деревини опор на загнивання за допомогою огляду або простукування, метод вимірювання навантаження від ожеледі за допомогою вимірювання ваги одного або кількох прольотів лінії, локаційний метод зондування, прямі та непрямі методи перевірки ізоляції.

В даній роботі пропонуються напрямки удосконалення методів локаційного зондування для оцінки технічного стану розподільчих електричних мереж. Новизна полягає у використанні спеціальних ширококутових сигналів для зондування та їх оптимальна обробка, вибрано спосіб визначення місць пошкоджень (неоднорідності) в розгалужених повітряних лініях електропередачі, які можуть бути основою діагностичного пристрою ЛЕП, що значно покращить діагностичні якості локаційного методу.

1. Аналіз методів виявлення пошкоджень при ожеледі проводів ЛЕП.

Ожеледні відкладення на проводах повітряних ліній електропередачі (ЛЕП) зазвичай утворюються на території кількох енергосистем. При цьому виникають масові провисання та обриви проводів, руйнування арматури, поломки опор повітряних ліній електропередачі.

Ці аварії становлять близько 25% від загальної кількості пошкоджень на повітряних лініях, а їх тривалість – близько 40 % від зальної тривалості всіх аварійних вимкень [3].

При навантаженні від ожеледі нижче норми в результаті аеродинамічного впливу можуть виникати коливання (танець) проводів при односторонньому відкладенні ожеледі або вібрації при циліндричній формі ожеледі [4].

На даний час існують два напрями виявлення ожеледі:

- 1) прогнозування ймовірності можливого ожеледоутворення на основі метеорологічних даних повітряного середовища, що оточує проводи, з урахуванням технічних параметрів ЛЕП;
- 2) безпосередній контроль процесу ожеледі на проводах за допомогою датчиків та пристроїв виявлення ожеледі [5, 6], що дозволяє достатньо точно визначати момент початку її утворення.

Прогнозування ожеледі на основі метеорологічних даних повітряного середовища застосовують у багатьох країнах, де зледеніння ліній електропередачі є актуальною проблемою, щоб пом'якшити або уникнути його впливу на працездатність цих ліній.

Роботи з прогнозування ожеледі на проводах повітряних ліній ведуться в дослідницьких центрах Чехії [7], Ісландії [8], Канади [9], Франції [10], Великобританії [11] та ін.

Основою прогнозу є модельні закономірності таких метеорологічних явищ, як вологість та температура навколишнього повітря, вітрові тиски, їх зміни з висотою від землі. При цьому враховуються рельєф місцевості, де проходить траса повітряної ЛЕП, висота траси над рівнем моря, а також кліматичні та погодні умови. Прогноз здійснюється з врахуванням технічних параметрів повітряної лінії. У застосовуваних моделях впливу ожеледі робиться ряд припущень, тому що невідомі точний діапазон температур для умов випадання вологого снігу, тривалість опадів, вміст рідкої води у зледеніння. Все це знижує прогностичні можливості моделі. Крім того, важливим фактором, який має бути прийнятий до уваги в моделі, є нагрівання дроту за рахунок ефекту Джоуля, викликане електричним струмом. В даний час немає певної моделі виникнення ожеледі, яка може достовірно враховувати всі фізичні та механічні процеси, що беруть участь при зледеніння, тому кількість помилкових спрацювань протиаварійної автоматики дуже висока. На жаль, дані прогнозу є попередженням про можливу загрозу виникнення ожеледі і не можуть бути конкретною вказівкою про початок плавлення ожеледі, що утворилась на проводах повітряних ліній електропередачі.

На сьогоднішній день є велика кількість патентів, що пропонують методи та датчики для виявлення ожеледі [6]. Датчики при появі ожеледі на ЛЕП реагують на зміни:

- фізичних параметрів середовища, навколишнього дроту;
- електричних характеристик дротів;

- ваги чи натягу проводів;
- умов поширення високочастотних та імпульсних сигналів по дротах повітряних ліній.

Практичне застосування для виявлення ожеледі знайшли методи відмічені в [6, 12–17]. Найбільш цікавим та перспективним з відмічених методів являється метод локаційного зондування.

Метод локаційного зондування полягає в подачі імпульсного сигналу в лінію та визначенні сумарного часу, витраченого на його поширення вздовж дроту у прямому та зворотному напрямках після відображення від кінця лінії або від високочастотного (ВЧ) загороджувача. При локаційному способі виявлення ожеледі інформацію про появу ожеледі несуть імпульси, відображені від будь-якої неоднорідності хвильового опору лінії (реперної точки), що є на ній. Неоднорідності це кінці ліній або розгалужень від них, ВЧ загороджувачі, місця приєднання розгалужень до лінії електропередачі, місця з'єднання повітряних ліній з кабельними вставками і та інше.

При утворенні відкладення від ожеледі збільшується час проходження Δt відбитим імпульсом заданої ділянки лінії з одночасним зменшенням його амплітуди U .

Локаційний пристрій, що здійснює зондування ЛЕП, називається рефлектометром, функціональна схема якого представлена на рис. 1.

З генератора імпульсів рефлектометра імпульси подаються до лінії. Відбиті імпульси надходять з лінії до приймача. З виходу приймача перетворені сигнали надходять на графічний індикатор. Усі блоки рефлектометра керуються сигналами блоку управління. На графічному індикаторі відтворюється рефлектограма лінії – зображення відображених імпульсів на часовій осі як реакція неоднорідності лінії на зондувальний імпульс.

Відкладення від ожеледі на дротах це неоднорідний діелектрик, що зменшує швидкість розповсюдження сигналу вздовж лінії і викликає його додаткове згасання, зумовлене діелектричними втратами енергії електромагнітної хвилі, яка витрачається на нагрівання шару покриття від ожеледі. Локаційний метод дозволяє визначити появу відкладення від ожеледі на провадах ЛЕП шляхом порівняння часу розповсюдження відбитих сигналів або їх амплітуд за наявності та за відсутності утворень ожеледі.

При зондуванні лінії імпульсним локатором спрощена схема підключення якого до лінії показана на Рис. 2 а, сукупність відбитих імпульсів утворює рефлектограму, що змінюється при появі відкладення від ожеледі на лінії.

Якщо від штатної (еталонної) рефлектограми (Рис. 2,б – суцільна лінія) відняти поточну рефлектограму (Рис. 2,б – пунктирна лінія), то різниці зміни надійно виявляються за появою сигналу, що відповідає кінця лінії в точці Б (рис. 2,в).

Чим більший хвильовий опір лінії буде змінюватися під дією товщини відкладення від ожеледі через зміну діелектричної проникності між провадами лінії, тим більша буде різниця між рефлектограмами, тим більше будуть збільшення затримки імпульсу Δt і зменшення амплітуди імпульсу ΔU (Рис. 2,б).

Недоліком класичного локаційного методу є неможливість відрізнити наявність невеликої за товщиною ожеледі на великій довжині повітряної лінії від небезпечної концентрації льоду в окремих її прольотах (розгалуження). В цьому у разі застосовується метод розбиття повітряної лінії на окремі локаційні ділянки, для них визначається питома товщина стінки ожеледі, за найбільшою величиною якого приймається рішення про необхідність плавки ожеледі [18].

Виходячи з вище вказаного приходимо до висновку, що всі негативні фактори змінюють хвильовий опір довгої лінії, створюючи неоднорідності в ЛЕП та збільшується час проходження Δt відбитим імпульсом заданої ділянки лінії при наявності ожеледі. Їх можна визначити за допомогою активного зондування. Проблема полягає в тому ці неоднорідності можуть бути малими за амплітудою і активне зондування не в змозі виявити відбитий сигнал від однорідності так, як потужність шумів та завад можуть бути більшими, а головне вони можуть знаходитися на розгалужених лініях електропередачі.

Для усунення вказаних недоліків, а саме, неоднорідності можуть бути малими за амплітудою і активне зондування не в змозі виявити відбитий сигнал від однорідності так, як потужність шумів та завад

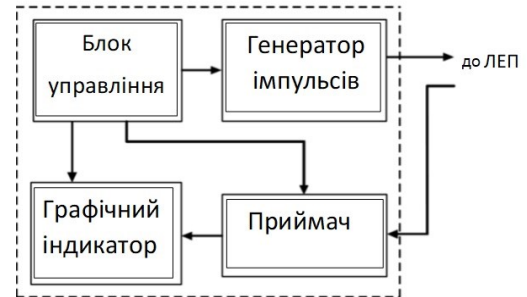


Рис. 1. Функціональна схема локаційного пристрою

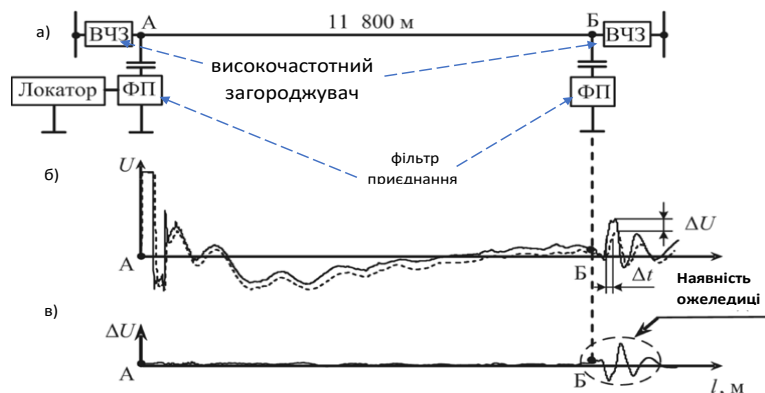


Рис. 2. Режим виявлення ожеледі на повітряній лінії 110 кВ завдовжки 11 800 м: а – схема лінії; б – рефлектограми лінії без ожеледі (—) та за наявності ожеледі (---); в – різниця рефлектограм лінії без ожеледі та за наявності ожеледі з коливаннями сигналу в точці Б, обумовленими наявністю ожеледиці

можуть бути більшими, а головне вони можуть знаходитися на розгалужених лініях електропередачі, потрібно вибрати:

- метод (спосіб) визначення місць які мають неоднорідності хвильового опору не тільки на основній лінії ЛЕП, а і в окремих її прольотах (розгалуження) [19];
- вид зондуючого сигналу та його оптимальну (кореляційну) обробку.

2. Визначення виду зондуючого сигналу для його оптимальної (кореляційної) обробки

Виходячи з вище вказаного приходимо до висновку, що всі негативні фактори змінюють хвильових опір ЛЕП, створюючи неоднорідності в ній, тому їх можна визначити за допомогою активного зондування. Проблема полягає в тому ці неоднорідності можуть бути малими за амплітудою і активне зондування не зможе виявити відбитий сигнал від однорідності так, як потужність завад можуть бути більшими ніж інформаційний сигнал. Показником якості та основною характеристикою передачі сигналу для будь-якої системи є відношення сигнал-шум (С/Ш), Очевидно, що чим більше дане відношення, тим краще працює система або пристрій.

Вирішення проблеми можливо наступними методами:

- підвищення потужності зондуючого сигналу;
- накопичення відбитих сигналів;
- використання широкосмугових сигналів (ЛЧМ, КФМ) та їх оптимальна обробка;
- використання широкосмугових сигналів (ЛЧМ,КФМ) та їх накопичення з подальшою оптимальною обробкою;
- використання спеціально сформованих сигналів та їх оптимальна обробка.

Підвищення потужності зондуючого сигналу з метою підвищення відношення сигнал-шум (С/Ш) не доцільно так, як відбиті сигнали від неоднорідності можуть ввести перші каскади підсилювачів в режим насичення і ми не отримаємо бажаного результату. Тому використовується накопичування відбитих сигналів [20].

Точність визначення дальності

Теоретична максимально досяжна точність вимірювання дальності методом радіолокаційної імпульсної далекометрії залежить від точності вимірювання часу запізнення відбитого сигналу.

Як видно з рис. 3, точність виміру дальності в основному залежить від рівня шуму або, точніше, співвідношення між амплітудою імпульсу і рівнем шуму. Кількісно це співвідношення описується відношенням "сигнал-шум". Рівень шуму залежить від ширини смуги пропускання приймального тракту. Крутизна фронту і спаду минулого відбитого імпульсу також залежить від цієї ширини.

Для значень відношення «сигнал-шум», значно більших одиниці, між цими величинами існує таке співвідношення:

$$\delta R \cong \frac{C}{2B\sqrt{2SNR}}, \quad (1)$$

де δR – помилка виміру; C – швидкість світла; B – ширина смуги пропускання; SNR – відношення «сигнал-шум». Як видно з формули чим більше SNR тим менша помилка виміру часу затримки сигналу. Однак ширина смуги пропускання є також суттєвим фактором, що впливає на роздільну здатність за дальністю:

$$S_r = C / 2B. \quad (2)$$

Таким чином, максимально досяжна точність вимірювання дальності (характеризується помилкою вимірювання дальності) може бути представлена, як функція роздільної здатності за дальністю:

$$\delta R \cong S_r \frac{C}{2B\sqrt{2SNR}}. \quad (3)$$

Застосування складних сигналів – як імпульсів зондування ЛЕП докладно описано в [18]. Збільшення тривалості зондуючого імпульсу із застосуванням різних видів модуляції дозволяє збільшити енергію зондуючого сигналу, забезпечити необхідну ширину спектра та відповідно роздільну здатність приладу на відстані. Але є один суттєвий недолік, це “сліпа зона” в якій не можливо визначити відбиті сигнали від місця неоднорідності ЛЕП. На час випромінювання зондуючого сигналу вхід приймача закритий і тому відбиті від однорідності сигнали не поступають на приймач рис. 4.

Вимоги до діагностичного пристрою:

- для визначення незначних місць неоднорідності в ЛЕП великої протяжності, покращення точності вимірювання та завадозахищеність, необхідно отримувати відношення С/Ш від крайньої точки лінії не менш ніж 10 дБ;
- розподільна спроможність визначення місця пошкодження та іншого місця неоднорідності повинна бути не гірша ніж 50 м;
- при виборі зондуючого сигналу та обробку відбитих сигналів від місць неоднорідності добитися зменшення “сліпих зон”;

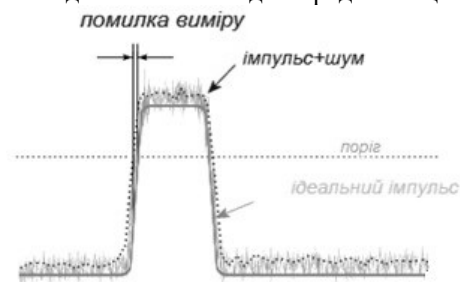


Рис. 3. Спотворення фронту імпульсу під впливом

- спроможність діагностування технічного стану ЛЕП, яка має розгалужений вид;
- вихідний сигнал повинен бути малої потужності;

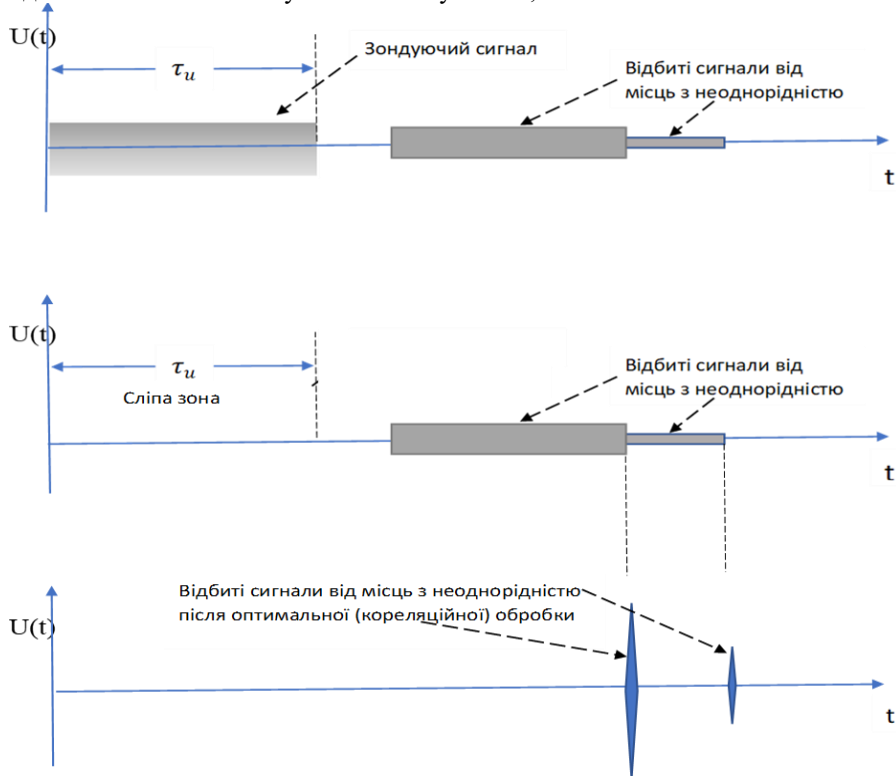


Рис. 4. Формування “сліпої зони” при застуданні імпульсної локації для діагностики технічного стану ЛЕП

- дешевий при виготовленні, функціональний та зручний в експлуатації.

В ході пошуку зондуєчого сигналу, який би міг допомогти реалізувати вимоги до діагностичного пристрою, проведено аналіз сучасних РЛС в яких реалізовано використання широкосмугових сигналів та їх обробка, особливо РЛС вертикального зондування іоносфери. Перші іонозонди були використані ще у 20 роках і потужність зондуєчого сигналу з вузькою смугою дорівнювала 10-20 кВт. Надсучасна система DPS-4, що складається з іонозонда і чотирьох прийомних антен, відрізняється від своїх попередніх аналогів тим, що має передавач малої потужності (300 Вт проти 10 кВт для попередніх своїх прототипів). Це досягнуто завдяки фазовому кодуванню сигналів, цифровому стиску імпульсу і доплерівському інтегруванню.

Але нашу увагу привернув апаратно-програмний комплекс частотного забезпечення ближнього декаметрового зв'язку з використанням ЛЧМ сигналів [21]. Потужність – 5-10 Вт.

Апаратно-програмний комплекс використовує зондуєчий сигнал з лінійною частотною модуляцією виду FMICW [22]. Якщо в радіолокатор безперервного випромінювання з частотною модуляцією та перериваннями (Frequency Modulated Interrupted Continuous Wave, FMICW - Radar або FMICW-Radar) займає особливе місце в ряді різноманітних радіолокаційних технологій. Принцип його дії у тому, що під час процесу вимірювання випромінювання сигналу втрачається деякий час. Таким чином, формально такий радіолокатор є імпульсним радіолокатором. Під час відключення передавальної антени, генерація коливань у передавачі не припиняється і на приймач надходить опорне коливання, тому необхідне перетворення частоти прийнятого сигналу. Процес вимірювання для визначення дальності полягає у вимірюванні різниці між поточною частотою сигналу, що випромінюється, і частотою відбитого сигналу, як і в FMICW-радіолокаторі. Тобто це не вимір часу запізнення відбитого сигналу, подібне до виконуваного в імпульсному радіолокаторі з внутрішньо імпульсною модуляцією. У РЛС вертикального зондування є істотні відмінності.

Формування FMICW сигналу аналогічно, як в FMICW-радіолокаторі тільки функція перемикачання має вигляд не меандра, а вид М-последовності (рис. 5).

Кількість біт у М-последовності називається довжиною та обчислюється за формулою:

$$N_b = 2^n - 1, \tag{3}$$

де $n = 1, 2, \dots, \bar{n}$.

Крім того, у нашому випадку інтерес представляють ще 3 властивості М-последовності:

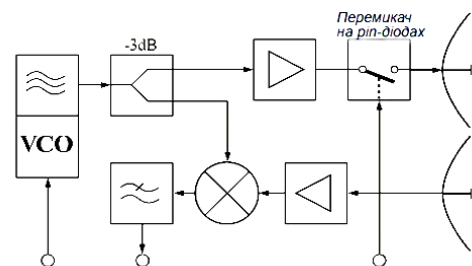


Рис. 5. У FMICW-радіолокаторі використовується додатковий перемикач на рп-діодах для вимкнення випромінювання потужності

- кількість бітів, що приймають значення одиниця, на довжині одного періоду М-послідовності на одиницю більше, ніж кількість символів, що набирають значення нуль;
- будь-які комбінації бітів довжини n на довжині одного періоду М-послідовності за винятком комбінації з n нулів зустрічаються трохи більше одного разу;
- серед груп бітів із періоду послідовності, складених з послідовних 1 і 0, половина має тривалість в один біт, четверта частина має тривалість у два біти, восьма частина має тривалість в чотири біти.

Таким чином, коефіцієнт заповнення послідовності буде наближатись до 50% зі зростанням довжини послідовності N_b при цьому інтервали прийому та передачі будуть розподілені рівномірно на періоді послідовності.

Якщо у FMICW-радіолокаторі процес вимірювання для визначення дальності полягає у вимірюванні різниці між поточною частотою сигналу, що випромінюється, і частотою відбитого сигналу то в іонозонді час запізнення відбитого сигналу від неоднорідності визначається після оптимальної (кореляційної) обробки всього сигналу. Алгоритм та метод роботи іонозонду пропонується впровадити для розробки пристрою діагностування технічного стану розподільних електричних мереж.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Застосування М-послідовності в якості перемикаючої функції при одно позиційному зондуванні складним сигналом великої тривалості дозволяє отримати постійний середній рівень відбитого сигналу на періоді послідовності. При цьому втрати енергії щодо безперервного сигналу становлять $\frac{1}{4}$. З врахуванням наведених особливостей функціонування можна зробити висновок, що М-послідовність найкраще підходить для використання, як функція перемикачів.

Література

1. 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.
2. Матвієнко С. В. Моніторинг технічного стану електричних мереж з ізольованою нейтраллю на основі розподіленої системи РС-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.
3. Шалыт Г.М. Определение мест повреждений линий электропередачи импульсным методом / Г.М. Шалыт. – Москва : Энергия, 1968. – 216 с.
4. Яковлев Л.В. Комплексные методы и устройства для защиты проводов и грозозащитных тросов воздушных линий от вибрации, «пляски» и гололедообразования / Л.В. Яковлев // Энергетик. – 2018. – № 5 (265). – С. 15 – 17.
5. Минуллин Р.Г. Локационная диагностика воздушных линий электропередачи / Р.Г. Минуллин, И.Ш. Фардиев. – Казань : Изд-во КГЭУ, 2008. – 202 с.
6. Минуллин Р.Г. Обнаружение гололедных образований на линиях электропередачи локационным зондированием / Р.Г. Минуллин. – Казань : Изд-во КГЭУ, 2010. – 207 с.
7. System for prediction and monitoring of ice shedding, antiicing and de-icing for overhead lines. CIGRE Working Group B2.29, 2009.
8. Farzaneh M. Atmospheric Icing of Power Networks. Springer Science, 2008.
9. Fikke S. Cost Action 727. Measuring and forecasting atmospheric icing on structures. Proc. 11th Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Montreal, Canada. 2005. Paper IW64.
10. Gland H., Admirat P. Meteorological conditions for wet snow occurrence in France. Calculated and measured results in a recent case study on March 5th, 1985. Proc. 3rd Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Vancouver, Canada. 1986.
11. Wareing B.J., Nygaard, B.E. WRF Simulation of wet snow and rime icing incidents in the UK. Proc. 13th Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Andermatt, Switzerland. 2009.
12. Дьяков А.Ф. Информационная система контроля гололедо-образования на воздушных линиях электропередачи / А.Ф. Дьяков, И.И. Левченко, А.С. Засыпкин // Энергетик. – 2005. – № 11. – С. 20–25.
13. Левченко И.И. Диагностика, реконструкция и эксплуатация воздушных линий электропередачи в гололедных районах / И.И. Левченко, А.С. Засыпкин, А.А. Аллилуев, Е.И. Сацук. – М. : ИД МЭИ, 2007. – 445 с.
14. Левченко И.И. Система прогнозирования и контроля гололедообразования / И.И. Левченко, Е.И. Сацук // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2011. – № 1. – С. 14–18.
15. Костиков И. Система мониторинга «САТ-1» – эффективная защита ВЛЭП от гололеда / И. Костиков // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2011. – № 1. – С. 32–35.
16. Минуллин Р.Г. Критерии и индикаторы обнаружения гололеда на линиях электропередачи при локационном зондировании / Р.Г. Минуллин, Д.Ф. Губаев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – СПб : Изд-во СПбГПУ. – 2009. – № 4 (82). – С. 191–197.

17. Минуллин Р.Г. Обнаружение гололеда и повреждений на воздушных линиях электропередачи локационным методом / Р.Г. Минуллин // Энергетика Татарстана. – 2011. – № 2 (22). – С. 15–17.
18. Минуллин Р.Г. Локационное обнаружение гололеда на воздушных линиях электропередачи. Часть 1. Способы обнаружения гололеда / Р.Г. Минуллин, В.А. Касимов, Т.К. Филимонова, М.Р. Яруллин // Научно-технические ведомости СПбГПУ: Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2014. – № 2 (193). – С. 61–73.
19. 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.
20. Куликов А.Л. Дистанционное определение мест повреждений ЛЭП методами активного визирования / А.Л. Куликов. – Москва : Энергоатомиздат, 2006. – 148 с.
21. Портативный цифровой ионозонд DPS-4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ikfia.ysn.ru/portativnyj-tsifrovoy-ionozond-dps-4/>– (Дата звернення 30.01.2022).
22. Елсуков О.О. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. “Однопозиционная система частотного обеспечения ближней декаметровый связи на основе технологии программно-конфигурируемого радио”, 2015.

References

1. 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.
2. Matviienko S. V. Monitoryng tekhnichnoho stanu elektrychnykh merezh z izolovanoi neutralliu na osnovi rozpodilenoj systemy RC-filtriv z обмеzhuвачаму перенарух та телеметрії напруж./ S.V. Matviienko, V.P. Yanovych, O.O. Rubanenko, V.V. Yavdyk // Zbirnyk naukovykh prats VNAU: Seriya tekhnika, enerhetyka, transport APK. – 2018. – № 2. – С. 48–53.
3. Shalyt G.M. Opredelenie mest povrezhdenij linij elektroperedachi impulsnym metodom / G.M. Shalyt. – Moskva : Energiya, 1968. – 216 s.
4. Yakovlev L.V. Kompleksnye metody i ustrojstva dlya zashity provodov i grozozashitnyh trosov vozdushnyh linij ot vibracii, «plyaski» i gololedoobrazovaniya / L.V. Yakovlev // Energetik. – 2018. – № 5 (265). – С. 15–17.
5. Minullin R.G., Fardiev I.Sh. Lokacionnaya diagnostika vozdushnyh linij elektroperedachi. R.G. Minullin, I.Sh. Fardiev – Kazan : Izd-vo KGEU, 2008. – 202 s.
6. Minullin R.G. Obnaruzhenie gololednyh obrazovaniy na liniyah elektroperedachi lokacionnym zondirovaniem / R.G. Minullin. – Kazan : Izd-vo KGEU, 2010. – 207 s.
7. System for prediction and monitoring of ice shedding, antiicing and de-icing for overhead lines. / CIGRE` Working Group B2.29, 2009.
8. Farzaneh M. Atmospheric Icing of Power Networks / M. Farzaneh. – Springer Science, 2008.
9. Fikke S. Cost Action 727. Measuring and forecasting atmospheric icing on structures // Proc. 11th Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Montreal, Canada. 2005. Paper IW64.
10. Gland H., Admirat P. Meteorological conditions for wet snow occurrence in France. Calculated and measured results in a recent case study on March 5th, 1985 // Proc. 3rd Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Vancouver, Canada. 1986.
11. Wareing B.J., Nygaard, B.E. WRF Simulation of wet snow and rime icing incidents in the UK // Proc. 13th Internat. Workshop on Atmospheric Icing of Structures. Andermatt, Switzerland. 2009.
12. Dyakov A.F., Levchenko I.I., Zasytkin A.S. i dr. Informacionnaya sistema kontrolya gololedo-obrazovaniya na vozdushnyh liniyah elektroperedachi / A.F. Dyakov, I.I. Levchenko, A.S. Zasytkin // Energetik. – 2005. – № 11. – С. 20–25.
13. Levchenko I.I., Zasytkin A.S., Alliluev A.A., Sacuk E.I. Diagnostika, rekonstrukciya i ekspluatatsiya vozdushnyh linij elektroperedachi v gololednyh rajonah / I.I. Levchenko, A.S. Zasytkin, A.A. Alliluev, E.I. Sacuk // Ucheb. Posobie. – M.: ID MEI, 2007. – 445 s.
14. Levchenko I.I., Sacuk E.I. Sistema prognozirovaniya i kontrolya gololedoobrazovaniya / I.I. Levchenko, E.I. Sacuk // Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. – 2011. – № 1. – С. 14–18.
15. Kostikov I. Sistema monitoringa «SAT-1» – effektivnaya zashita VLEP ot gololeda / I. Kostikov // Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie. – 2011. – № 1. – С. 32–35.
16. Minullin R.G., Gubaev D.F. Kriterii i indykatory obnaruzheniya gololeda na liniyah elektroperedachi pri lokacionnom zondirovanii / R.G. Minullin, D.F. Gubaev // Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. Informatika. Telekomunikacii. Upravlenie. SPb.: Izd-vo SPbGPU. – 2009. – № 4 (82). – С. 191–197.
17. Minullin R.G. Obnaruzhenie gololeda i povrezhdenij na vozdushnyh liniyah elektroperedachi lokacionnym metodom / R.G. Minullin // Energetika Tatarstana. – 2011. – № 2 (22). – С. 15–17.
18. Minullin R.G. Lokacionnoe obnaruzhenie gololeda na vozdushnyh liniyah elektroperedachi. Chast 1. Sposoby obnaruzheniya gololeda / R.G. Minullin, V.A. Kasimov, T.K. Filimonova, M.R. Yarullin // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU: Informatika. Telekomunikacii. Upravlenie. – 2014. – № 2 (193). – С. 61–73.
19. Пат. на wynakhid №121486 Ukrainy. МПК (2020) S2 13 Sposib vyznachennia mistsia poshkodzhennia rozghaluzhenoi linii elektroperedachi z dekilkomu dzherelamy zhyvlennia / O.V. Andreiev, P.P. Martynchuk, I.I. Poleshchuk, M.F. Khomenko; zaiavnyk i patentovlasnyk Zhytomirskyi derzhavnyi tehnolohichnyi universytet. – № а 2017 05212 ; zaiav. 10.11.2017; opubl. 10.06.2020, Biul. № 21. – 5 s.
20. Kulikov A.L. Distancionnoe opredelenie mest povrezhdenij LEP metodami aktivnogo vizirovaniya / A.L. Kulikov. – Moskva : Energoatomizdat, 2006. – 148 s.
21. Portativnyj cifrovoy ionozond DPS-4 [Elektronnij resurs] : [vzb-sajt]. – Rezhim dostupu : <https://ikfia.ysn.ru/portativnyj-tsifrovoy-ionozond-dps-4/>– (Data zvernennya 30.01.2022). – Nazva z ekrana.
22. Elsuikov O.O. Disertatsiya na zdobuttya naukovogo stupenya kandidata tehnicnih nauk. “Odnopozicionnaya sistema chastotnogo obespecheniya blizhnej dekametrovoj svyazi na osnove tehnologii programmno-konfiguruemogo radio”, 2015.