

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ

На правах рукопису

Онанко Анатолій Федорович

ВЗАЄМОДІЯ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ
З ПОВІТРЯНИМИ ЛІНІЯМИ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Спеціальність: 05.09.05 – Теоретична електротехніка

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1996

715 57.000

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українській енергетичній науково-промисловій акціонерній компанії "ЕНПАС-ЕЛЕКТРО", м.Київ.

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Ємець Юрій Петрович.

Офіційні опоненти: член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук
Резцов Віктор Федорович;
доктор технічних наук,
Романович Станіслав Семенович.

Провідна установа - Національний диспетчерський центр
електроенергетики України Міністерства
енергетики та електрифікації, м. Київ.

Захист відбудеться "25" червня 1998 р. о 14 год. на
засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.98.02 в Інституті
електродинаміки НАН України за адресою: 252680, Київ-57, проспект
Перемоги, 58. Тел. 448-91-15.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту електродинаміки НАН України.

Автореферат розіслано "15" травня 1998 р.

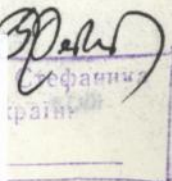
Вчений секретар
спеціалізованої вченої пали

Федій В.С.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00740484 (R)



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми та ступінь дослідження тематики дисертації. Задачі про розповсюдження електромагнітних хвиль вздовж повітряних ліній електропередачі являють теоретичний інтерес та мають практичне значення в енергетиці для організації каналів зв'язку, релейного захисту та протиаварійної автоматики. Аналогічні задачі розв'язуються при дослідженні грозових та комутаційних перенапруг на лініях електропередачі, а також у розрахунках електромагнітних перешкод.

В енергетиці для організації каналів передачі інформації по лініях електропередачі використовують електромагнітні хвилі в діапазоні частот 30-1000 кГц, розповсюдження яких вздовж ліній складним чином залежить від багатопровідної конструкції лінії, питомої провідності землі та зовнішніх метеоумов. У випадку дії зовнішнього електромагнітного поля в проводах лінії електропередачі індукуються струми, амплітудно-часові характеристики яких складним чином залежать від хвильових процесів на лінії.

Вперше розв'язок задачі про розповсюдження електромагнітних хвиль вздовж одиночного круглого провода з кінцевою провідністю, що знаходиться в однорідному необмеженому середовищі, одержав А.Зоммерфельд. Задачу про розповсюдження електромагнітних хвиль вздовж повітряної лінії передачі, яка розташована над поверхнею землі, розв'язав Дж.Р. Карсон. На основі загальної теорії електромагнітного поля, не беручи до уваги поперечне електричне поле в землі та хвильовий характер поля в повітрі, автор одержав розв'язок для постійної розповсюдження електромагнітних хвиль у лінії з урахуванням кінцевої провідності землі. Надалі розв'язок Дж. Р. Карсона повторювався та уточнювався.

Г.А. Грінберг, Б.Е. Бонштедт та Х.Кікучі на основі хвильової теорії електромагнітного поля одержали точний розв'язок задачі про розповсюдження електромагнітних хвиль вздовж повітряних ліній передачі. Незважаючи на різні підходи до розв'язку задачі, автори одержали практично однакові формули для розрахунку коефіцієнтів розповсюдження. Було показано, що для точного розрахунку розповсюдження та взаємодії електромагнітних хвиль вздовж багатопровідних ліній електропередачі необхідно розв'язувати крайову задачу електродина-

міки з відповідними граничними умовами.

В усіх вказаних роботах розв'язувались задачі про розповсюдження електромагнітних хвиль вздовж лінії при зосередженому джерелі напруги або струму на кінці лінії. Нині в зв'язку з широким застосуванням мікроелектронної техніки являє практичний інтерес розв'язання задач про взаємодію зовнішніх електромагнітних полів з лініями електропередачі. При цьому питання електромагнітних перешкод в каналах передачі інформації має велике значення для підвищення надійності релейного захисту та протиаварійної автоматики.

Предмет та об'єкт дослідження. В дисертації досліджується взаємодія електромагнітного поля з повітряними лініями електропередачі.

Методи досліджень. Для розв'язання поставлених задач використовувались методи математичного моделювання із застосуванням обчислювальної техніки, а також експериментальні дослідження.

Отримані результати узгоджуються з дослідними даними.

Мета та основні завдання наукового дослідження. Метою роботи є дослідження взаємодії зовнішнього електромагнітного поля з лініями електропередачі, експериментальне дослідження хвильових процесів та електромагнітних перешкод в каналах передачі інформації, які організовано по фазних проводах лінії електропередачі.

Для досягнення поставленої мети розв'язувались наступні завдання:

- розв'язок задачі про взаємодію зовнішнього електромагнітного поля з циліндричним проводом, розташованим над поверхнею землі;
- розробка методики розрахунку напруг на проводах ліній електропередачі, індукованих електромагнітним імпульсом;
- експериментальні дослідження електромагнітних перешкод у каналах передачі інформації по лініях електропередачі.

Наукова новизна досліджень. В роботі одержано такі нові результати:

1. Розв'язано задачу про взаємодію зовнішнього імпульсного електромагнітного поля з циліндричним проводом, що розташований над поверхнею землі.
2. Досліджено залежність для струму, індукованого в повітряній лінії передачі зовнішньою електромагнітною хвилею, від кінцевої провідності матеріалу провода та землі.

3. Розроблено методику розрахунку індукованих напруг на проводах лінії електропередачі при дії зовнішнього імпульсного електромагнітного поля з урахуванням взаємного впливу фазних проводів та кінцевої провідності землі.

4. Досліджено фактори, що впливають на амплітудно-часові характеристики індукованих напруг на проводах ліній електропередачі від дії зовнішнього імпульсного електромагнітного поля.

5. Наведено результати експериментальних досліджень хвильових процесів та електромагнітних перешкод в каналах передачі інформації по лініях електропередачі.

Теоретична цінність роботи. На основі загальної теорії електромагнітного поля розв'язано задачу про взаємодію зовнішнього електромагнітного поля з циліндричним проводом над землею. На основі розв'язку задачі одержано вираз для струму, індукваного в проводі електромагнітним полем з урахуванням кінцевої провідності матеріалу провода та землі.

Практична цінність роботи. В результаті проведених досліджень створено програми для ПЕОМ, які дають змогу виконувати інженерні розрахунки для підвищення надійності каналів передачі інформації, організованих по фазних проводах або грозозахисних тросах ліній електропередачі. На основі експериментальних досліджень надано рекомендації по підвищенню надійності каналів релейного захисту, протиаварійної автоматики та зв'язку по лініях електропередачі.

Конкретний особистий внесок дисертанта в розробку наукових результатів, які виносяться на захист:

1. Розв'язок задачі про взаємодію зовнішнього електромагнітного поля з циліндричним проводом, розташованим над поверхнею землі.

2. Методика розрахунку напруг на проводах ліній електропередачі, індукованих зовнішнім імпульсним електромагнітним полем.

3. Результати дослідження напруг на проводах ліній електропередачі, індукованих зовнішнім електромагнітним полем.

4. Результати експериментальних досліджень хвильових процесів у каналах передачі інформації по лініях електропередачі.

Рівень реалізації результатів досліджень. Результати роботи впроваджено на лініях електропередачі Трипільська ДРЕС - ПС Житомир та ПС Західноукраїнська - ПС Альбертирша для підвищення надійності

каналів релейного захисту та зв'язку.

Апробація результатів наукових досліджень. Основні положення дисертаційної роботи та її результати доповідались на технічній раді Української енергетичної науково-промислової акціонерної компанії ЕНПАС-ЕЛЕКТРО (1996 р.), а також на науковому семінарі "Електромагнітні поля та електрофізичні процеси" Інституту електродинаміки НАН України (1996 р.).

Публікація результатів досліджень. По темі дисертації опубліковано п'ять робіт.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох глав та заключення, поданих на 124 машинописних сторінках, має 30 рисунків, 4 таблиці та список літературних джерел із 101 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі до дисертації обґрунтовано актуальність теми та сформульовано завдання досліджень, викладено структуру дисертації та короткий зміст глав.

У першій главі подано огляд сучасного стану проблеми розповсюдження електромагнітних хвиль вздовж ліній електропередачі. Розглянуто класичні задачі електродинаміки А.Зоммерфельда, Дж.Р.Карсона, Д.Р.Уайта, А.І.Потехіна, Г.А.Грінберга, Х.Кікучі та визначено нерозв'язані задачі в сфері передачі сигналів релейного захисту, протиаварійної автоматики та зв'язку по фазних проводах повітряних ліній електропередачі.

В другій главі розв'язано крайову задачу електродинаміки при взаємодії плоскої електромагнітної хвилі з тонким циліндричним проводом, розташованим над поверхнею землі. Розв'язок задачі зводиться до інтегрування системи рівнянь Максвелла для напруг електричного та магнітного полів в середині провода, в навколишньому середовищі та землі з урахуванням граничних умов на поверхнях розділу цих середовищ, а також до задовільнення умови на нескінченності. В розглянутій задачі умови на нескінченності через фізичні обставини зводяться до вимог наближення всіх компонент до нуля при необмеженому віддаленні від осі провода.

У випадку гармонічної залежності від часу компонент електромагнітного поля та падаючої плоскої електромагнітної хвилі крайова задача зводиться до розв'язання хвильового рівняння

$$\Delta^2 \Psi + k_i^2 \Psi = 0, \quad (1)$$

де Δ - двохмірний лапласіан;

Ψ - будь-яка із складових напруженостей магнітного або електричного поля;

k_i - хвильове число, де індекс i означає відповідне середовище (провід, повітря, земля).

З урахуванням малого параметру (відношення радіуса провода до висоти його підвісу над землею) задача розв'язується методом послідовних наближень. У першому наближенні визначається поле циліндричного провода без урахування впливу струмів, які протікають у землі. Рівняння (1) інтегрується методом розділення змінних з урахуванням умови, що поле має кінцевий характер на осі провода та наближається до нуля на нескінченності. Розв'язок для компонент електричного та магнітного поля в середині провода знаходять у вигляді нескінченного ряду функцій Бесселя, а розв'язок для компонент поля за межами провсду записується у вигляді нескінченного ряду функцій Ханкеля, котрі задовольняють умовам на нескінченності.

Вторинне поле землі, індуковане струмами у проводі, визначається також із розв'язку хвильового рівняння (1) методом розділення змінних. Можна прийняти умову, що вторинне поле землі збуджується ниткою струму, тому функцію Ханкеля можна записати в інтегральній формі. З урахуванням одержаного розв'язку та граничних умов на поверхні розділу повітря - земля, знаходимо розв'язок для поздовжньої компоненти електричного поля у вигляді невластного інтегралу з невідомою постійною інтегрування (аналогічного інтегралу в розв'язку Дж.Р.Карсона). Постійні інтегрування, котрі входять до одержаного розв'язку, одержують із граничних умов на поверхні циліндричного провода. При цьому розв'язок для вторинного поля землі розкладається в ряд Тейлора поблизу точки підвісу провода та береться до уваги малий параметр для функцій Бесселя.

Зрештою маємо дві системи рівнянь виду

$$A_0 J_0(k_1 a) = C_0 H_0^{(2)}(k_2 a) + E_x^*(0, h) + E_m e^{ik_2 h} + \rho \cdot E_m e^{-ik_2 h}, \quad (2)$$

$$k_1 A_0 J_0'(k_1 a) = k_2 C_0 H_0^{(2)'}(k_2 a), \quad (3)$$

$$A_1 J_1(k_1 a) = C_1 H_1^{(2)}(k_2 a) + a \cdot \frac{\partial E_x^*(0, h)}{\partial z}, \quad (4)$$

$$A_1 J_1'(k_1 a) = C_1 H_1^{(2)'}(k_2 a) + \frac{E_m}{W_2} e^{ik_2 h} + \rho \cdot \frac{E_m}{W_2} e^{-ik_2 h}, \quad (5)$$

де A_0 , A_1 , C_0 і C_1 - невідомі постійні;

a і h - радіус та висота підвісу провoda над поверхнею землі;

E_m - амплітуда падаючої хвилі;

$\rho = (W_2 - W_3) / (W_2 + W_3)$ - коефіцієнт відбиття;

$W_2 = (\mu_0 / \epsilon_0)^{1/2}$ - хвильовий опір повітря;

$W_3 = (\mu_0 / \epsilon_3)^{1/2}$ - хвильовий опір землі;

$\epsilon_3 = \epsilon_3' + i\sigma_3 / \omega \epsilon_0$ - комплексна діелектрична проникність землі;

ϵ_3' і σ_3 - діелектрична проникність та провідність землі;

$E_x^*(0, h)$ - поздовжня компонента електричного поля в повітрі.

Виходячи з розв'язку задачі можна обчислити повний струм, який протікає по циліндричному провodu, за формулою

$$I = \int_0^{2\pi} \int_0^a \sigma_1 E_x^* r dr d\theta, \quad (6)$$

Підставляючи розв'язок для поздовжньої компоненти електричного поля E_x^* в середині провoda та інтегруючи рівняння (6), після перетворень отримуємо наступну формулу для розрахунку струму, індукованого в циліндричному провodi при дії зовнішнього електро-

магнітного поля

$$I = \frac{E_m (1 + \rho e^{-k_2 h})}{\frac{k_2 J_0(k_1 a)}{2\pi a \sigma_1 J_1(k_1 a)} + \frac{i\omega\mu_0}{2\pi} \cdot F + \frac{\omega\mu_0}{4} \cdot [H_0(k_2 2h) + H_0(k_2 a)]}, \quad (A) \quad (7)$$

де $\frac{k_2 J_0(k_1 a)}{2\pi a \sigma_1 J_1(k_1 a)}$ - внутрішній опір провода з урахуванням поверхневого ефекту, (Ом/м);

$$\frac{i\omega\mu_0}{2\pi} \cdot \int_0^{\infty} \frac{1}{\nu + \sqrt{\nu^2 - (k_2^2 - k_1^2)}} e^{-\nu h} \cos(\nu y) d\nu - \text{додатковий опір про-}$$

вода над землею, зумовлений кінцевою провідністю землі, (Ом/м);

$$\frac{\omega\mu_0}{4} [H_0(k_2 2h) + H_0(k_2 a)] \approx \frac{i\omega\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2h}{a} - \text{зовнішній опір провода}$$

над землею, (Ом/м);

$E_m \cdot (1 + \rho e^{-k_2 h})$ - поздовжня компонента електричного поля падаючої хвилі на висоті підвісу провода, (В/м).

Одержаний розв'язок (7) використано для розрахунку струму, індукованого в повітряній лінії внаслідок взаємодії з плоскою електромагнітною хвилею в діапазоні частот $10^{-2} - 10^2$ кГц. Для ілюстрації на рис.1 наведено частотну залежність модуля повного струму, індукованого в провіді радіусом 0,01 м на висоті 10 м внаслідок взаємодії з плоскою електромагнітною хвилею з напругою 1В/м для різної провідності матеріалу провода, де залежність (1) розраховано для ідеального провідника (розв'язок Р.Г.Олсена); (2) - для провода із алюмінію з питомою провідністю $3,8 \cdot 10^7$ См/м; (3) - для сталевого провода з питомою провідністю $1,0 \cdot 10^7$ См/м.

Залежності розраховано для питомої провідності землі 0,01 См/м. У випадку ідеального провідника (1) отримані результати добре узгоджуються з розв'язком Р.Г.Олсена. Одержані в дисертації залежності дозволяють оцінити вплив кінцевої провідності матеріалу про-

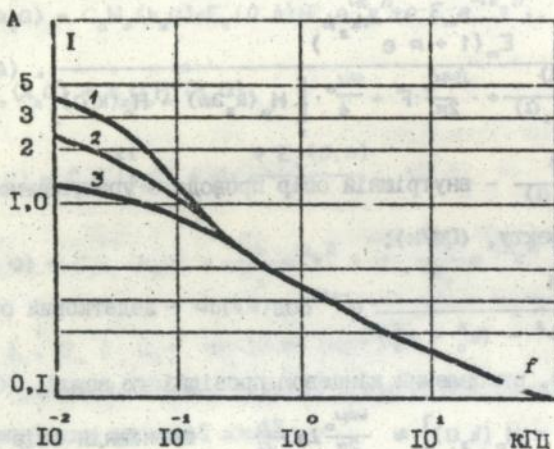
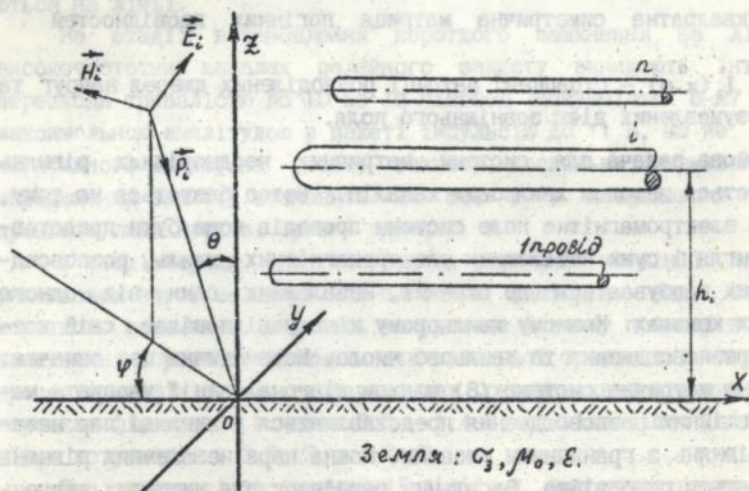


Рис. I.

вода на величину повного струму, індукованого в повітряній лінії передачі. Встановлено, що на абсолютну величину повного струму в проводі впливає кілька факторів. При дуже низьких частотах абсолютна величина повного струму в проводі обмежується тільки кінцевою провідністю матеріалу провода, а поверхневий ефект в проводі та землі не грає суттєвої ролі. Із ростом частоти впливаючого поля проявляються поверхневий ефект в тонкому проводі та діелектричні властивості землі, одночасно збільшується результуюче поле на висоті підвісу провода за рахунок відбиття від поверхні землі. Ступінь впливу названих факторів залежить від реальних характеристик землі, радіусу провода та висоти його підвісу над поверхнею землі.

Одержаний розв'язок дозволяє більш точно розраховувати вплив зовнішніх електромагнітних полів на повітряні лінії передачі в широкому діапазоні частот, наприклад, дію віддалених розрядів блискавки на лінії електропередачі.

У третій главі викладено методику та результати дослідження напруг на проводах ліній електропередачі, індукованих дією зовнішнього імпульсного електромагнітного поля, джерело якого розташоване на значному віддаленні, як показано на рис.2. Методика враховує взаємний вплив фаєзних проводів та грозозахисних тросів, поверхневий ефект в сталевобалумінієвих провадах та вплив кінцевої провідності землі на затухання електромагнітних хвиль в широкому діапазоні частот..



- \vec{P}_i - напрямок падіння електромагнітної хвилі;
- θ - кут падіння плоскої електромагнітної хвилі;
- ϕ - азимутальний кут;
- h_i - висота і-го проваду над поверхнею землі;
- n - кількість проводів в лінії електропередачі.

Рис.2.

Для дослідження хвильових процесів, які відбуваються на лінії електропередачі, як розрахункову модель розглянуто матричну систему неоднорідних рівнянь виду

$$\frac{d U(x, \omega)}{d x} + Z(\omega) \cdot I(x, \omega) = U_x(x, \omega),$$

$$\frac{d I(x, \omega)}{d x} + Y(\omega) \cdot U(x, \omega) = I_x(x, \omega),$$
(8)

де $U(x, \omega)$, $I(x, \omega)$ - стовпцеві матриці напруг та струмів у проводах (фазні величини), в розглянутому поперечному розрізі лінії;

$Z(\omega)$ - квадратна симетрична матриця погінних опорів повітряної лінії;

$Y(\omega)$ - квадратна симетрична матриця погінних провідностей лінії;

$U_x(x, \omega)$, $I_x(x, \omega)$ - стовпцеві матриці розподілених джерел напруг та струму, зумовлених дією зовнішнього поля.

Крайова задача для системи матричних неоднорідних рівнянь розв'язується методом хвильових каналів. Метод базується на тому, що єдине електромагнітне поле системи проводів може бути представлене у вигляді суми незалежних електромагнітних хвиль, розповсюдження яких відбувається по окремих, незалежних один від одного хвильових каналах. Кожному хвильовому каналу відповідає свій коефіцієнт розповсюдження та хвильове число. Математично це означає, що вихідна матрична система (8) шляхом діагоналізації квадрата матриці постійних розповсюдження представляється у вигляді пар незалежних рівнянь з граничними умовами. Кожна пара незалежних рівнянь розв'язується самостійно. Загальний розв'язок для миттєвих значень фазних напруг та струмів обчислюється шляхом зворотнього перетворення Фур'є.

Прийнята математична модель дозволяє тестувати методику шляхом порівняння розрахункових коефіцієнтів розповсюдження хвильових каналів із результатами експериментальних вимірювань на діючих лініях електропередачі.

Дослідження показали, що амплітудно-часові характеристики індукованих напруг на лінії електропередачі залежать від багатьох факторів, однак визначальними є висота підвісу фазних проводів над

поверхнею землі, їх взаємне розташування, значення питомої провідності землі та часова форма діючого поля.

Результати досліджень напруг на фазних проводах лінії електропередачі, індукованих зовнішнім імпульсним полем, уточнюють відомі розв'язки, одержані для однопровідної моделі з припущенням відсутності втрат у землі.

У четвертій главі наведено результати експериментальних досліджень електромагнітних перешкод в каналах релейного захисту, протиаварійної автоматики та зв'язку внаслідок коротких замкнень на лінії електропередачі 750кВ. Дослідження показали, що внаслідок коротких замкнень на лінії в каналах передачі інформації виникають електромагнітні перешкоди, амплітудні та часові характеристики яких складним чином залежать від хвильових процесів, які відбуваються на лінії.

На стадії встановлення короткого замкнення на лінії в високочастотних каналах релейного захисту виникають інтенсивні перешкоди тривалістю до 10 мс із піковою потужністю 8-27 дБ та максимальною амплітудою в пакеті імпульсів до 11 В, що не створює негативного впливу на роботу захисту, оскільки нормований час спрацювання захисту становить 22 мс, і у початковому періоді працюють лише пускові органи захисту.

У стаціонарній фазі короткого замкнення на лінії перешкоди випадковим чином залежать від багатьох факторів: виду та місця короткого замкнення, миттєвої напруги на фазному проводі в момент виникнення короткого замкнення та загальної тривалості перехідних процесів на лінії. В експериментах середньоквадратичний рівень перешкод фіксувався в межах 0,3 - 1,4 В, що відповідає відносному рівню потужності - 0,5 дБ - +12 дБ.

При вмиканні та вимиканні лінії у високочастотних каналах фіксувались перешкоди рівнем до 20 дБ, зумовлені розривом електричної дуги в контактах високовольного вимикача. При вмиканні лінії під напругу тривалість таких перешкод становила 8 - 10 мс, а при вимиканні внаслідок різного часу спрацювання контактів вимикача досягала 20-35 мс.

На основі отриманих результатів досліджень було обрано оптимальну чутливість приймачів апаратури високочастотного захисту 0,6 В, яка забезпечила потрібну швидкість та надійну роботу в

подальшій експлуатації.

Проведені дослідження не підтвердили гіпотезу про тривалі електромагнітні перешкоди значного рівня, які виникають в каналах релейного захисту внаслідок пробоя іскрових проміжків ізольованих грозотросів при коротких замкненнях на лініях електропередачі.

Наведено також результати досліджень на лінії електропередачі 330 кВ. під час яких було встановлено причини виникнення електромагнітних перешкод підвищеного рівня в каналах передачі інформації по фазних проводах лінії. Доведено, що джерелом таких перешкод є іскріння, яке виникає внаслідок несправності пристроїв заземлення грозозахисних тросів ліній електропередачі.

Результати досліджень використовувались для підвищення надійності каналів релейного захисту, протиаварійної автоматики та зв'язку, організованих по лініях електропередачі.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Дисертаційну роботу присвячено дослідженню задач розповсюдження та взаємодії електромагнітних хвиль з повітряними лініями електропередачі.

1. Дослідження показали, що аналітичні розрахунки струмів та напруг у проводах повітряних ліній електропередачі, індукованих дією зовнішнього електромагнітного поля, зводяться до розв'язання крайових задач для системи рівнянь Максвелла з урахуванням граничних умов на поверхні провода та землі.

2. Із розв'язку крайової задачі електродинаміки випливає, що внаслідок дії плоскої електромагнітної хвилі величина індукованого струму в проводі, розташованому поблизу поверхні землі, залежить від питомої провідності матеріалу провода, його радіусу та висоти підвісу над землею.

3. Встановлено, що для розрахунків взаємодії зовнішніх електромагнітних полів з повітряними лініями електропередачі в широкому діапазоні частот необхідно враховувати кінцеву провідність матеріалу провода та землі. В діапазоні частот, вищих від 10 кГц, вплив кінцевої провідності землі суттєво перевищує поверхневий ефект у проводі, і точне рішення практично співпадає з відомим розв'язком

Р.Г. Олсена та Д.Г. Чанга для ідеального провода.

4. Доведено, що взаємодія зовнішніх імпульсних електромагнітних полів з лініями електропередачі з достатньою точністю описується матричною системою неоднорідних диференціальних рівнянь, коефіцієнти якої необхідно обчислювати з урахуванням взаємного впливу сусідніх проводів та реальних значень провідностей матеріалу проводів та землі. Коефіцієнти розповсюдження запропонованої розрахункової моделі добре співпадають із результатами експериментальних вимірювань.

5. Встановлено, що амплітудно-часові характеристики напруг на проводах повітряної лінії електропередачі, індукованих зовнішнім імпульсним електромагнітним полем, залежать від багатьох факторів, однак визначальними є висота підвісу проводів лінії електропередачі над поверхнею землі, значення питомої провідності землі, часова форма діючого поля та наявність близько розташованих сусідніх фазних проводів. Ефект зчуження індукованих напруг на повітряних лініях електропередачі проявляється сильніше при збільшенні загальної кількості проводів та зменшенні відстаней між ними.

6. Експериментальні дослідження на лінії електропередачі номінальною напругою 750 кВ ПС Західноукраїнська - ПС Альбертирша показали, що складні хвильові процеси, які виникають на лінії електропередачі внаслідок коротких замкнень та зовнішніх впливів, викликають інтенсивні перешкоди в каналах передачі інформації та являть основну причину відмов та уповільнень у роботі височастотного захисту. На основі отриманих результатів було обрано оптимальну чутливість приймачів апаратури височастотного захисту.

7. Дослідження не підтвердили висунуту раніше гіпотезу про тривалі електромагнітні перешкоди в каналах релейного захисту по лініях електропередачі 750 кВ внаслідок перекриття іскрових проміжків грозотросів при коротких замкненнях.

8. На основі виконаних експериментів на лінії електропередачі номінальною напругою 330 кВ встановлено причини виникнення електромагнітних перешкод підвищеного рівня в каналах передачі інформації по фазних проводах лінії. Доведено, що джерелом таких перешкод є іскріння через несправність пристроїв заземлення грозо-

захисних тросів.

9. Результати досліджень хвильових процесів на лініях електропередачі, одержані в поданій дисертаційній роботі, використовувались для підвищення надійності діючих високочастотних каналів релейного захисту, протиаварійної автоматики та зв'язку по лініях електропередачі енергосистем України.

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

Основний зміст дисертації викладено у наступних роботах.

1. Емец Ю.П., Онанко А.Ф. Воздействие внешнего электромагнитного поля на цилиндрический провод, расположенный вблизи поверхности земли // Техническая электродинамика. - 1993. - №5. - С.7-11.
2. Мольков А. Н., Хмелёвский П. М., Онанко А. Ф., Погорелый Л. Г. Экспериментальное исследование помех в канале релейной защиты ВЛ 750 кВ при коротких замыканиях // Техническая электродинамика. - 1994. - № 5-6. - С.85-88.
3. Онанко А.Ф. Взаимодействие импульсных электромагнитных полей с многопроводной линией электропередачи // Техническая электродинамика. - 1991. - № 6. - С.26-30.
4. Онанко А. Ф., Погорелый Л. Г. Исследование импульсных помех на ВЛ 330 кВ // Энергетика и электрификация. - 1993. - № 4. - С.26-27.
5. Бобашко А.И., Давиденко Г.И., Книжник Р.Г., Кочубей А.Н., Онанко А.Ф. Сеть передачи данных объединенной энергетической системы Украины // В сб.: Автоматизация и релейная защита в энергетических системах. Киев: Ин-т электродинамики АН Украины. 1992. - С.89-93.

Особистий внесок. В роботах, які написані в співавторстві, результати належать авторам у рівній мірі (1,2 і 5); в роботі (4) дисертантові належить постановка завдання та розробка методики експерименту.

Onanko A.F. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

The dissertation is Presented for Ph.D degree in speciality 05.09.05 - "Theoretical electric engineering", Institute of electrodynamics of Ukrainian National Academy of Sciences, Kiev, 1996.

5 scientific works are submitted which contain theoretical studies of interaction of external elektromagnetic fields with power line wires and results of experimental investigation of electromagnetic hindrance on power line carrier, based on phase wire and lightning protective wire. The proposed recommendations improving reliability of informations channels has been implemented at a number of power lines of Ukrainian energie systems.

Онанко А.Ф. Взаимодействие внешнего электромагнитного поля с воздухом и линиями электропередачи.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.05 - "Теоретическая электротехника". Институт электродинамики Национальной академии наук Украины, Киев, 1996.

Защищаются 5 научных работ, которые содержат теоретические исследования взаимодействия внешних электромагнитных полей с проводами линии электропередачи и результаты экспериментальных исследований электромагнитных помех в каналах передачи информации по фазным проводам линий электропередачи. Предложенные рекомендации по повышению надежности каналов передачи информации реализованы на ряде линий электропередачи энергосистем Украины.

Ключові слова: електромагнітне поле, лінія електропередачі, канали високочастотного зв'язку, релейний захист, протиаварійна автоматика.

ЛНБ ім. В. Стефанівського
АН України

Chapter A.I. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

The dissertation is presented for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty of "Electrical Engineering" by the candidate of Technical Sciences, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Electrical Engineering, Kyiv National University of Engineering and Architecture, Kyiv, Ukraine.

The scientific work is devoted to the study of the interaction of external electromagnetic fields with power lines and results of experimental investigation of electrodynamic processes on power lines based on phase wire and lightning protective wire. The proposed recommendations for the design of lightning protective systems has been implemented at a number of power lines of Ukraine.

11-7-3-3-3331-3331

1. Chapter A.I. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

2. Chapter A.II. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

3. Chapter A.III. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

4. Chapter A.IV. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

5. Chapter A.V. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

6. Chapter A.VI. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

7. Chapter A.VII. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

8. Chapter A.VIII. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

9. Chapter A.IX. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

10. Chapter A.X. The Interaction of the External Electromagnetic Field with the Power Line.

Підписано додруку 24.04.96 р. Формат 60x84/16
 ПапІр офсетний. Умовн.-друк.аркуш. 1,0.
 Об.-вид.аркуш 1,0. Тираж 100 .,Замовл.188.

ПолІграф.дІльн. Інституту електродінемІки АН України,
 252680,Київ-57, проспект Перемоги,56

AB3H.88

AB 34.885

Классификация документа: 0.04.267. Форма: 0106/15

Вид документа: Указ. - инт. архив. 1/1

Обл.-инт. архив: 0. - Тип: 100 2. Секция: 100.

Наименование: Институт электродинамики АН УССР.

21250, Київ-57, проспект Перемоги, 56