

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Калюжний Дмитро Миколайович

УДК 621.315

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕННЯ
ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ
В МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 110 КВ**

Спеціальність 05.14.02 - електричні станції, мережі і системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2004

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Харківській національній академії міського господарства Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Гриб Олег Герасимович
Харківська національна академія міського господарства, завідувач
кафедри електропостачання міст.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Жежеленко Ігор Володимирович,
Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь,
завідувач кафедри електропостачання промислових підприємств;

кандидат технічних наук, доцент
Романченко Валентина Іванівна,
Харківський державний технічний університет
сільського господарства, м. Харків,
доцент кафедри електропостачання сільського господарства.

інститут електродинаміки НАН України,
відділ автоматизації електроенергетичних систем, Міністерство освіти і
науки України, м. Київ.

Провідна установа:

Захист відбудеться "27" травня 2004 р. о 12 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2004 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Мінченко А.А.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У мережах напругою 110 кВ для визначення місць пошкодження (ВМП) ліній електропередачі (ЛЕП) найбільше розповсюдження отримали методи, засновані на вимірах параметрів аварійного режиму (ПАР). При цьому одно- і двосторонні методи ВМП за ПАР використовуються спільно. Незважаючи на це відносне лінійне відхилення розрахункових відстаней до місць пошкодження складає 5,4%, а імовірності ВМП з похибками, що знаходяться в довірчому інтервалі $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ і $\pm 15\%$, відповідно рівні 0,5, 0,8 і 0,92. Ці цифри справедливі і на сьогоднішній день. Головною причиною тут є подальше використання методів і засобів ВМП за ПАР, орієнтованих на аналогову базу.

Використання нових цифрових вимірювальних пристроїв, виконаних на базі електронно-обчислювальних машин, дозволяє по-новому підійти до вирішення питання підвищення точності ВМП. У зв'язку з цим удосконалення методів і засобів ВМП ЛЕП у мережах напругою 110 кВ є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідної роботи "Розробка і впровадження цифрового вимірювача параметрів режимів роботи електричних мереж", що проводилась Північно-Східним науковим центром НАН і МОН України за держбюджетним замовленням МІНТОПЕНЕРГО України відповідно до договору № 917/11 від 26.02.99 в рамках державної програми 5.51.5 "Управління режимами систем електропостачання як ефективний засіб вирішення проблеми енергозбереження і ресурсозбереження" (номер державної реєстрації 0199U001147).

Мета і задачі дослідження. Метою даного дослідження є підвищення точності ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виявити основні причини відхилень розрахункових відстаней до місць пошкодження ЛЕП при ВМП в мережах напругою 110 кВ і визначити напрямки досліджень;
- одержати аналітичні залежності для ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ у випадках одно-, дво- і трифазних коротких замикань (КЗ), які дозволять підвищити точність ВМП;
- розробити методикку ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ;
- оцінити ефективність розробленої методики ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ.

Об'єктом дослідження є перехідні процеси, викликані пошкодженням ЛЕП в мережах напругою 110 кВ.

Предметом дослідження є методи ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проведені з використанням теоретичних основ електротехніки (при отриманні аналітичних залежностей для ВМП ЛЕП у випадках одно-, дво- і трифазних КЗ) і чисельних методів математичного аналізу (метод простої ітерації для вирішення нелінійних рівнянь).

Наукова новизна одержаних результатів. Нові наукові рішення, одержані в роботі, полягають в наступному:

1. Вперше одержано аналітичні залежності для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах

напругою 110 кВ у випадках одно-, дво- і трифазних КЗ, які відрізняються від існуючих тим, що в них усунута залежність від перехідного опору.

2. Одержано аналітичні залежності, які дозволяють за результатами односторонніх вимірів визначати ПАР протилежного кінця лінії, які вперше використовуються для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено методику одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ, яка дозволяє визначати ВМП з урахуванням ПАР протилежного кінця лінії, які одержані за результатами вимірів.

Дано рекомендації щодо підвищення точності одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ залежно від місця установки фіксуючих пристроїв.

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при розробці систем реєстрації, автоматики та захисту, а також в навчальному процесі. Зокрема, вони впроваджені в ПСНЦ МОН і НАН України при розробці цифрового вимірювача параметрів режимів роботи електричних мереж і в навчальному процесі в Харківській національній академії міського господарства на кафедрі електропостачання міст.

Особистий внесок здобувача. В опублікованих в співавторстві роботах здобувача належить: аналіз методів ВМП ЛЕП; розробка аналітичних залежностей для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП у випадках одно-, дво- і трифазних КЗ; розробка аналітичних залежностей для визначення параметрів системи і ПАР протилежного кінця лінії за результатами односторонніх вимірів; розробка методики одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП; програмне забезпечення, засноване на розробленій методиці одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ; аналіз аварійних відключень ЛЕП, зафіксованих в мережах напругою 110 кВ.

Апробація результатів дисертації. Положення дисертації і результати досліджень доповідались та обговорювались на:

- міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" (Харківський державний технічний університет сільського господарства, 15 листопада 2001р.);
- II міжнародній науково-практичній конференції "Керування режимами роботи об'єктів електричних систем - 2002" (Донецький Національний технічний університет, 13 вересня 2002р.)
- міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" (Харківський державний технічний університет сільського господарства, 3 жовтня 2003р.);

Публікації. Основні наукові положення дисертації опубліковані у 8 статтях у фахових збірниках наукових праць, 1 тезі доповідей на конференції і 2 навчальних посібниках з грифом МОН України.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і п'яти додатків. Повний обсяг дисертації складає 195 сторінок, з них 33 ілюстрацій за текстом, 22 ілюстрацій на 31 сторінках; 11 таблиць за текстом; 5 додатків на 47 сторінках, 107 найменувань використаних літературних джерел на 11 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі показано актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, сформульовані мета і задачі дослідження, висвітлені наукова новизна і практична цінність роботи, сформульовані наукові положення, що виносяться на захист, визначений особистий внесок здобувача, наведено інформацію з апробації роботи та публікацій.

У першому розділі проведено аналіз існуючих методів ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ. Розглянуто найбільш розповсюджені методи ВМП за ПАР ЛЕП, зокрема одно- і двосторонні методи.

У процесі аналізу існуючих методів виявлено основні причини відхилень розрахункових відстаней до місць пошкодження ЛЕП при ВМП в мережах напругою 110 кВ. Так, відхилення розрахункових відстаней при двосторонньому ВМП залежить від їх реалізації, а саме від правильної роботи вимірювальних пристроїв, каналів зв'язку і синхронності вимірів, відхилення при односторонньому ВМП - від наявності невідомої інформації про перехідний опір у місці пошкодження.

За результатами виконаного аналізу обґрунтовано напрямок досліджень дисертаційної роботи, який полягає в удосконаленні методів і засобів одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП шляхом зменшення впливу невідомої інформації про перехідний опір у місці пошкодження.

У другому розділі розглянуто математичні моделі одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ у випадках одно-, дво- і трифазного КЗ. Математичні моделі засновані на методі симетричних складових і рівняннях, складених за петлею КЗ. При складанні математичних моделей враховувалися: перехідний опір у місці пошкодження R_p , наявність відгалужень та магнітозв'язаних ліній.

У випадку однофазного КЗ через R_p на дволанцюговій лінії (рис. 1) при вимірах ПАР за допомогою цифрового реєстратора (ЦР) відстань до місця пошкодження визначається в такий спосіб:

$$L_X = L_{ab} + \frac{\operatorname{Re}(\underline{U}_\phi) - \operatorname{Re}(\Delta \underline{U}_{ab}) - [\operatorname{Im}(\underline{U}_\phi) - \operatorname{Im}(\Delta \underline{U}_{ab})] \cdot \operatorname{ctg} \varphi_R}{\operatorname{Re}(\underline{I}_\Sigma) - \operatorname{Im}(\underline{I}_\Sigma) \cdot \operatorname{ctg} \varphi_R} \cdot \frac{1}{X_{1уд}^{bd}}, \quad (1)$$

$$\operatorname{ctg} \varphi_R = \frac{\operatorname{Re}(\underline{I}_0^{Ibc}) + \operatorname{Re}(\underline{I}_0^{IIbc}) + \operatorname{Re}(\underline{I}_0^{C2})}{\operatorname{Im}(\underline{I}_0^{Ibc}) + \operatorname{Im}(\underline{I}_0^{IIbc}) + \operatorname{Im}(\underline{I}_0^{C2})}. \quad (2)$$

У формулі (1): $\Delta \underline{U}_{ab}$ - сумарне падіння напруги на ділянці ab від власних і взаємних струмів симетричних складових; \underline{I}_Σ - еквівалентний струм прямої послідовності, що створює на пошкодженій ділянці bc падіння напруги, рівне падінню напруги від власних і взаємних струмів симетричних складових, що проходять по ділянці bc; $X_{1уд}^{bd}$ - питомий опір прямої послідовності

пошкодженої ділянки лінії bd. У формулі (2) I_0^{Ibc} - струм нульової послідовності пошкодженої ділянки лінії; I_0^{IIbc} - струм нульової послідовності магнітозв'язаної лінії і I_0^{IC2} - струм нульової послідовності з протилежного виміру кінця лінії - від системи C2.

Рис. 1. Схема заміщення мережі у випадку однофазного КЗ через перехідний опір на дволанцюговій лінії

При використанні інформації, отриманої з одного кінця пошкодженої лінії, для розрахунку відстані до місця пошкодження за формулою (1) є всі дані, крім нульової складової струму КЗ I_0^{C2} (2). Але, зважаючи на те, що струми КЗ в мережах одного ступеня напруг близькі за фазою можна зробити допущення, що фазові зрушення нульових складових струмів КЗ з обох кінців лінії однакові ($\arg(I_0^{Ibc} + I_0^{IIbc}) \approx \arg(I_0^{C2})$). Тоді результати розрахунків не будуть залежати від величини струму I_0^{C2} і ними можна знехтувати:

$$\text{ctg}\varphi_R \approx \frac{\text{Re}(I_0^{Ibc}) + \text{Re}(I_0^{IIbc})}{\text{Im}(I_0^{Ibc}) + \text{Im}(I_0^{IIbc})}. \quad (3)$$

Якщо пошкоджена лінія має відгалуження, то воно впливає на струм КЗ по ділянці лінії bc. При цьому основний вплив відбувається за рахунок струму нульової послідовності відгалуження, який має місце при заземлених нейтралях трансформаторів.

У струмі на ділянці між відгалуженням і точкою КЗ (рис. 1) повинен бути врахований струм нульової послідовності відгалуження, що визначається в такий спосіб:

$$I_0^{Iотв} = \frac{\begin{vmatrix} -\underline{U}_0^{Iотв} & \underline{Z}_M^{отв} \\ -\underline{U}_0^{IIотв} & \underline{Z}_0^{IIотв} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \underline{Z}_0^{Iотв} & \underline{Z}_M^{отв} \\ \underline{Z}_M^{отв} & \underline{Z}_0^{IIотв} \end{vmatrix}}, \quad I_0^{IIотв} = \frac{\begin{vmatrix} \underline{Z}_0^{Iотв} & -\underline{U}_0^{Iотв} \\ \underline{Z}_M^{отв} & -\underline{U}_0^{IIотв} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \underline{Z}_0^{Iотв} & \underline{Z}_M^{отв} \\ \underline{Z}_M^{отв} & \underline{Z}_0^{IIотв} \end{vmatrix}}, \quad (4)$$

де $\underline{Z}_0^{Iотв} = \underline{Z}_0^{Iлин} + \underline{Z}_0^{Iтр}$; $\underline{Z}_0^{IIотв} = \underline{Z}_0^{IIлин} + \underline{Z}_0^{IIтр}$ - опори елементів відгалужень;

$\underline{Z}_M^{отв}$ - опір взаємоіндукції відгалужень;

$\underline{U}_0^{Iотв}$ і $\underline{U}_0^{IIотв}$ - напруги нульової послідовності в місці підключення відгалужень, що

визначаються таким чином:

$$\left. \begin{aligned} \underline{U}_0^{I \text{ отв}} &= \underline{U}_0^I - \underline{I}_0^{I \text{ ab}} \cdot \underline{Z}_0^{\text{ab}} + \underline{I}_0^{\text{II ab}} \cdot \underline{Z}_M^{\text{ab}}, \\ \underline{U}_0^{\text{II отв}} &= \underline{U}_0^{\text{II}} - \underline{I}_0^{\text{II ab}} \cdot \underline{Z}_0^{\text{ab}} + \underline{I}_0^{I \text{ ab}} \cdot \underline{Z}_M^{\text{ab}}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

У випадку відключених нейтралей трансформаторів відгалуження мають місце тільки струми прямої і зворотної послідовностей. Їх розрахунок аналогічний розрахунку струму нульової послідовності відгалуження. Однак він ускладнений урахуванням реального опору навантаження і можливим підживленням від двигунів. Виходячи з того, що струми прямої і зворотної послідовностей набагато менше струму нульової послідовності, ними можна знехтувати.

У випадку двофазного КЗ через перехідний опір між фазами В і С (рис. 2) відстань до місця пошкодження визначається за формулою:

$$L_X = \frac{\text{Re}(\underline{U}) - \text{Im}(\underline{U}) \cdot \text{tg} \varphi_{A2}}{\text{Re}(\underline{I}) \cdot (k_R + \text{tg} \varphi_{A2}) + \text{Im}(\underline{I}) \cdot (k_R \cdot \text{tg} \varphi_{A2} - 1)} \cdot \frac{1}{x_{уд}}, \quad (6)$$

$$\text{tg} \varphi_{A2} = \frac{\text{Im}(\underline{I}_{A2}) + \text{Im}(\underline{I}_{A2}^{C2})}{\text{Re}(\underline{I}_{A2}) + \text{Re}(\underline{I}_{A2}^{C2})}. \quad (7)$$

Рис.2. Схема заміщення мережі у випадку двофазного КЗ через перехідний опір

У формулі (6) $\underline{U} = \underline{U}_B - \underline{U}_C$ - різниця між напругами пошкоджених фаз у місці виміру; $\underline{I} = \underline{I}_B - \underline{I}_C$ - різниця струмів пошкоджених фаз у місці виміру; $k_R = r_L / x_L$ - коефіцієнт зв'язку між активним і реактивним опорами лінії; $x_{уд}$ - питомий опір лінії. У формулі (7) \underline{I}_{A2} , \underline{I}_{A2}^{C2} - струми зворотної послідовності особливої фази відповідно від систем С1 та С2.

При допущенні, що \underline{I}_{A2} і \underline{I}_{A2}^{C2} мають близькі за величиною фазові значення, тобто

$$\text{tg} \varphi_{A2} \approx \frac{\text{Im}(\underline{I}_{A2})}{\text{Re}(\underline{I}_{A2})}, \quad (8)$$

вираз (6) цілком визначений при вимірі з однієї сторони.

У випадку трифазного КЗ через перехідний опір (рис.3) відстань до місця пошкодження визначається як

$$L_X = \frac{\operatorname{Re}(\underline{U}_\Phi) - \operatorname{Im}(\underline{U}_\Phi) \cdot \operatorname{ctg} \varphi_K}{\operatorname{Re}(\underline{I}_\Phi) \cdot (k_R - \operatorname{ctg} \varphi_K) - \operatorname{Im}(\underline{I}_\Phi) \cdot (1 + k_R \cdot \operatorname{ctg} \varphi_K)} \cdot \frac{1}{x_{yd}}, \quad (9)$$

$$\operatorname{ctg} \varphi_K = \frac{\operatorname{Re}(\underline{I}_\Phi) + \operatorname{Re}(\underline{I}_\Phi^{C2})}{\operatorname{Im}(\underline{I}_\Phi) + \operatorname{Im}(\underline{I}_\Phi^{C2})}. \quad (10)$$

У формулі (9) \underline{U}_Φ - фазна напруга в місці виміру; \underline{I}_Φ - фазний струм КЗ з боку виміру. У формулі (10) \underline{I}_Φ^{C2} - фазний струм КЗ від системи С2.

Рис.3. Схема заміщення мережі у випадку трифазного КЗ через перехідний опір

При допущенні, що $\arg \underline{I}_\Phi \approx \arg \underline{I}_\Phi^{C2}$, тобто

$$\operatorname{ctg} \varphi_K \approx \frac{\operatorname{Re}(\underline{I}_\Phi)}{\operatorname{Im}(\underline{I}_\Phi)}, \quad (11)$$

вираз (9) також цілком визначений при вимірі з однієї сторони.

В одержаних аналітичних виразах для одностороннього ВМП за ПАР у випадках одно- (1), дво- (6) і трифазних (9) КЗ в мережах напругою 110 кВ усунуто залежність від перехідного опору в місці пошкодження, враховано наявність відгалужень і магнітозв'язаних ліній. Точність ВМП ЛЕП за одержаними виразами залежить від впливу системи С2, а саме від розбіжності фаз струмів КЗ з протилежних кінців пошкодженої лінії (3), (8), (11).

У третьому розділі розглянуто врахування впливу системи протилежного кінця лінії.

Розглянемо КЗ відносно дволанцюгової лінії (рис.4, 5) при КЗ у системі С1. Опори нульової і зворотної послідовностей системи С2 визначаються як

$$\underline{Z}_0^{C2} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\underline{U}_{\Phi 0}}{\underline{I}_0} - \underline{Z}_{0Л} - \underline{Z}_M \right), \quad \underline{Z}_2^{C2} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\underline{U}_{\Phi 2}}{\underline{I}_2} - \underline{Z}_{2Л} \right). \quad (12)$$

Рис.4. Схема заміщення нульової (зворотної) послідовності мережі відносно дволанцюгової лінії при КЗ в системі С1

Рис.5. Схема заміщення прямої послідовності мережі відносно дволанцюгової лінії при КЗ в системі С1

Електрорушійна сила (ЕРС) прямої послідовності системи С2 у припущенні, що $\underline{Z}_1^{C2} \approx \underline{Z}_2^{C2}$

$$\underline{E}^{C2} \approx \underline{U}_{\Phi 1} - \underline{I}_1 \cdot (\underline{Z}_{1Л} + 2 \cdot \underline{Z}_2^{C2}). \quad (13)$$

Знаючи параметри системи С2, струми окремих послідовностей у виразах (2), (7), (10) визначаються в такий спосіб:

- нульової послідовності:

$$\underline{I}_0^{C2} = \frac{\underline{I}_0^I \cdot \underline{Z}_{0Л} + \underline{I}_0^{II} \cdot \underline{Z}_{ML} - \underline{I}_0^{II} \cdot \underline{Z}_{0(L-Л)} - \underline{U}_{\Phi 0}}{\underline{Z}_{0(L-Л)} + \underline{Z}_0^{C2}}; \quad (14)$$

- зворотної послідовності:

$$\underline{I}_2^{C2} = \frac{\underline{I}_2^I \cdot \underline{Z}_{2Л} + \underline{I}_2^{II} \cdot \underline{Z}_{2(L-Л)} - \underline{U}_{\Phi 2}}{\underline{Z}_{2(L-Л)} + \underline{Z}_2^{C2}}; \quad (15)$$

- прямої послідовності:

$$\underline{I}_1^{C2} = \frac{\underline{E}^{C2} - \underline{U}_{\Phi 1} + \underline{I}_1^I \cdot \underline{Z}_{1Л} - \underline{I}_1^{II} \cdot \underline{Z}_{1(L-Л)}}{\underline{Z}_{1(L-Л)} + \underline{Z}_2^{C2}}. \quad (16)$$

На основі одержаних аналітичних залежностей для одностороннього ВМП за ПАР і визначення ПАР протилежного кінця лінії розроблено методику одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ. Особливістю розробленої методики є ВМП у два етапи. Під час першого етапу проводиться попереднє визначення відстані до місця пошкодження, без урахування впливу системи С2, а під час другого - уточнене, з урахуванням впливу системи С2.

У четвертому розділі проведено аналіз ряду аварійних відключень ліній, зафіксованих програмно-апаратними комплексами ЦПРС і Рекон-06БС у ході їх експлуатації в мережах напругою 110 кВ, а також зроблено оцінку ефективності розробленої методики одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП.

Аналіз аварійних відключень ліній виконували за допомогою програмного продукту "АНФАС", створеного на базі розробленої методики одностороннього ВМП за ПАР в мережах

напругою 110 кВ. Відносне лінійне відхилення розрахункових відстаней до місць пошкодження розглянутих аварійних відключень ліній не перевищувало 4%.

Для оцінки ефективності запропонованої методики одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ було використано модель пошкодження повітряної лінії з двостороннім живленням у випадку однофазного КЗ через перехідний опір (рис.6), засновану на методі симетричних складових. Вираз для визначення відносного лінійного відхилення розрахункових відстаней має вигляд:

$$\Delta L = \frac{\operatorname{Re}(\underline{U}_\phi) - \operatorname{Im}(\underline{U}_\phi) \cdot \operatorname{ctg}\varphi_R - L_{\text{ист}} \cdot [\operatorname{Re}(\underline{I}_\Sigma) - \operatorname{Im}(\underline{I}_\Sigma) \cdot \operatorname{ctg}\varphi_R]}{\operatorname{Re}(\underline{I}_\Sigma) - \operatorname{Im}(\underline{I}_\Sigma) \cdot \operatorname{ctg}\varphi_R} \cdot \frac{100}{L \cdot x_{1\text{уд}}}, \quad (17)$$

де $L_{\text{ист}}$ - дійсна відстань до місця пошкодження;

L - довжина пошкодженої лінії.

Рис. 6. Пошкодження лінії з двостороннім живленням у випадку однофазного КЗ через перехідний опір

Визначення відхилень розрахункових відстаней зроблено для двох випадків мережі: перший випадок - еквівалентна система С1 відповідає мережі 110 кВ, а С2 - мережі 330 кВ, другий - системи С1 і С2 відповідають мережі 110 кВ.

На рис.7, 8 показано відносне лінійне відхилення розрахункових відстаней у випадку С1 - мережа 110 кВ, С2 - мережа 330 кВ залежно від місця положення пошкодження на лінії, величини перехідного опору і місця установки цифрового реєстратора.

За результатами оцінки ефективності розробленої методики одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ рекомендовано проводити виміри ПАР з кінця лінії, що примикає до більш потужної системи.

Рис. 7. Відносне лінійне відхилення розрахункових відстаней до місць пошкодження при односторонньому ВМП за ПАР у випадку еквівалентних систем С1 і С2 “мережа 110 кВ - мережа 330 кВ” при вимірі ПАР з кінця лінії, що примикає до С1

Рис. 8. Відносне лінійне відхилення розрахункових відстаней до місць пошкодження при односторонньому ВМП за ПАР у випадку еквівалентних систем С1 і С2 “мережа 110 кВ - мережа 330 кВ” при вимірі ПАР з кінця лінії, що примикає до С2

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі поставлено і вирішено науково-практичну задачу підвищення точності ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ. Основні результати полягають у наступному:

1. Пріоритетним напрямком досліджень в області підвищення точності ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ є удосконалення односторонніх методів і засобів ВМП за ПАР шляхом зменшення впливу невідомої інформації про перехідний опір у місці пошкодження.

2. Одержано аналітичні залежності для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП у випадках одно-, дво і трифазних КЗ, в яких усунута залежність від перехідного опору в місці пошкодження, враховано наявність відгалужень і магнітозв'язаних ліній. Точність одержаних залежностей залежить від впливу системи протилежного кінця лінії, а саме від розбіжності фаз струмів КЗ з обох кінців пошкодженої лінії.

3. Одержано аналітичні залежності для визначення параметрів системи протилежного кінця лінії за результатами односторонніх вимірів.

4. Одержано аналітичні залежності для визначення ПАР протилежного кінця лінії за результатами односторонніх вимірів.

5. Розроблено методику одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ, що включає у себе два етапи. 1-й етап - попередній розрахунок відстані до місця пошкодження без урахування впливу системи протилежного кінця лінії. 2-й етап - уточнений розрахунок відстані до місця пошкодження з урахування впливу системи протилежного кінця лінії.

6. Проведено експериментальні дослідження одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в умовах експлуатації мереж напругою 110 кВ, за результатами яких відносне лінійне відхилення розрахункових відстаней від дійсних значень не перевищувало 4%.

7. Проведено оцінку ефективності розробленої методики одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ, за результатами якої рекомендується проводити виміри ПАР з кінця лінії, що примикає до більш потужної системи.

8. Встановлено перспективи розвитку подальших досліджень в області підвищення точності ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ.

9. Результати дисертаційної роботи використано:

- при розробці й впровадженні цифрового вимірювача параметрів режимів роботи електричних мереж в Північно-Східному науковому центрі НАН і МОН України;

- в навчальному процесі з курсу електрозабезпечення і електрозбереження для студентів спеціальності 6.090603 "Електротехнічні комплекси електроспоживання" в Харківській національній академії міського господарства.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н., Светелик А.А. Расчетные выражения для определения места повреждения при однофазных коротких замыканиях в сетях с эффективно заземленной нейтралью // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. - Харків: НТУ “ХПІ”. - 2001. - №14. - С. 300-305.

Здобувачу належить розробка аналітичних залежностей для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП у випадку однофазного КЗ в мережах з ефективно-заземленою нейтраллю.

2. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н., Светелик А.А. Определение места повреждения при однофазных коротких замыканиях в питающих сетях сельскохозяйственных районов Украины // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - Харків: ХДТУСГ. - 2001. - Випуск 6. - С. 292-297.

Здобувачу належить розробка аналітичних залежностей для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП у випадку однофазного КЗ в живлячих мережах сільськогосподарських районів.

3. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н., Светелик А.А., Кольченко А.В. Расчетные выражения для определения места повреждения при многофазных коротких замыканиях в сетях с эффективно заземленной нейтралью // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. - Харків: НТУ “ХПІ”. - 2002. - №3. - С. 241-246.

Здобувачу належить розробка аналітичних залежностей для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП у випадках дво- і трифазного КЗ в мережах з ефективно-заземленою нейтраллю.

4. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н., Светелик А.А., Кольченко А.В. Приближенный учет подпитки с противоположного конца линии при определении расстояния до места повреждения // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. - Харків: НТУ “ХПІ”. - 2002. - №7. Том II. - С. 178-184.

Здобувачу належить розробка аналітичних залежностей для визначення параметрів і ПАР системи протилежного кінця лінії.

5. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н., Карпенко К.М., Кольченко А.В. Одностороннее определение места повреждения по параметрам аварийного режима // Збірник наукових праць Донецького Національного технічного університету. Серія “Електротехніка і енергетика”. - Донецьк: ДонНТУ. - 2002. Випуск 50. - С. 98 - 101.

Здобувачу належить розробка аналітичних залежностей для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП у випадках одно- і двофазного КЗ.

6. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н., Кольченко А.В. Методика одностороннего определения места повреждения воздушных линий с двухсторонним питанием в сетях с эффективно заземленной нейтралью // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. - Харків: НТУ “ХПІ”. - 2002. - №20. - С. 191-196.

Здобувачу належить розробка методики одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП з і без урахування системи протилежного кінця лінії.

7. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н., Карпенко К.М. Опыт использования определителя места повреждения “Анфас” в сетях 110 кВ // Вісник Харківського державного

технічного університету сільського господарства. - Харків: ХДТУСГ. - 2003. - Випуск 19. Том I. - С. 42-50.

Здобувачу належить аналіз аварійних відключень ліній.

8. Калюжный Д.Н. Анализ методов определения мест повреждений воздушных линий электропередачи // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ". - 2003. - №11. - С. 57-64.

9. Гриб О.Г., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н., Карпенко К.М., Кольченко А.В. Одностороннее определение места повреждения по параметрам аварийного режима. // Збірник тез доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції "Керування режимами роботи об'єктів електричних систем - 2002". - Донецьк, ДонНТУ, 12-14 вересня 2002 г. с. 29.

Здобувачу належить розробка аналітичних залежностей для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП у випадку одно- і двофазного КЗ.

10. Гриб О.Г., Светелик А.А., Сендерович Г.А., Калюжный Д.Н. Автоматизированные методы и средства определения мест повреждения линий электропередачи: Учебное пособие. - Харьков: ХГАГХ, 2003. - 146 с.

Здобувачу належить: аналіз методів ВМП ЛЕП; розробка аналітичних залежностей для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ у випадках одно-, дво- і трифазного КЗ; розробка аналітичних залежностей для визначення параметрів і ПАР системи протилежного кінця лінії; розробка методики одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП з і без урахування системи протилежного кінця лінії; аналіз аварійних відключень ліній.

11. Абраменко И.Г., Гриб О.Г., Довгалюк О.Н., Калюжный Д.Н., Карпенко К.М., Кольченко А.В., Левин В.И., Пан Н.П., Рябченко И.Н., Сендерович Г.А. Компьютерные информационные технологии в электроэнергетике: Учебное пособие. - Харьков: ХГАГХ, 2003. - 170 с.

Здобувачу належить програмне забезпечення, засноване на розробленій методиці одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ.

АНОТАЦІЇ

Калюжный Д.М. Удосконалення методів і засобів визначення місць пошкодження ліній електропередачі в мережах напругою 110 кВ. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.02 - електричні станції, мережі і системи. Національний технічний університет "ХПІ". Харків, 2004.

Дисертація присвячена удосконаленню методів і засобів ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ.

Пріоритетним напрямком досліджень в області підвищення точності ВМП ЛЕП в мережах напругою 110 кВ є удосконалення односторонніх методів і засобів ВМП за ПАР шляхом зменшення впливу невідомої інформації про перехідний опір у місці пошкодження.

Розглянуто математичні моделі одно-, дво- і трифазного КЗ ЛЕП в мережах напругою 110 кВ, на основі яких одержано аналітичні залежності для одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП, в яких усунута

залежність від перехідного опору в місці пошкодження, враховано наявність відгалужень і магнітозв'язаних ліній. Точність цих залежностей залежить від впливу системи протилежного кінця лінії, а саме від розбіжності фаз струмів КЗ з обох кінців пошкодженої лінії.

Для врахування впливу системи протилежного кінця лінії розроблено аналітичні залежності, що дозволяють визначати ПАР протилежного кінця лінії за результатами односторонніх вимірів.

На основі одержаних аналітичних залежностей для одностороннього ВМП за ПАР і визначення ПАР протилежного кінця лінії розроблено методику одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ, яка включає до себе два етапи: 1-й етап - попередній розрахунок відстані до місця пошкодження без урахування впливу системи протилежного кінця лінії, 2-й етап - уточнений розрахунок з урахуванням впливу системи протилежного кінця лінії.

В умовах експлуатації мереж напругою 110 кВ проведено експериментальні дослідження одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП, за результатами яких відносно лінійне відхилення розрахункових відстаней до місць пошкодження ЛЕП не перевищувало 4%.

Проведено оцінку ефективності розробленої методики одностороннього ВМП за ПАР ЛЕП в мережах напругою 110 кВ, за результатами якої рекомендується проводити виміри ПАР з кінця лінії, що примикає до більш потужної системи.

Ключові слова: лінія електропередачі, перехідний опір, електрична мережа, коротке замикання, параметри аварійного режиму.

Калюжный Д.Н. Совершенствование методов и средств определения мест повреждения линий электропередачи в сетях напряжением 110 кВ. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 - электрические станции, сети и системы. Национальный технический университет "ХПИ". Харьков, 2004.

Диссертация посвящена совершенствованию методов и средств определения мест повреждения линий электропередачи в сетях напряжением 110 кВ.

Получены аналитические зависимости для одностороннего ОМП по ПАР ЛЭП в случаях одно-, двух- и трехфазных коротких замыканий, в которых устранена зависимость от переходного сопротивления в месте повреждения.

Получены аналитические зависимости для определения ПАР противоположного конца линии по результатам односторонних измерений.

Разработана методика одностороннего ОМП по ПАР ЛЭП с учетом ПАР противоположного конца линии.

Проведен анализ ряда аварийных отключений линий, зафиксированных в ходе эксплуатации электрических сетей напряжением 110 кВ, для которых относительное линейное отклонение расчетных расстояний до мест повреждения ЛЭП не превысило 4 %.

Оценена эффективность разработанной методики одностороннего ОМП по ПАР ЛЭП в сетях напряжением 110 кВ.

Ключевые слова: линия электропередачи, переходное сопротивление, электрическая система, короткое замыкание, параметры аварийного режима.

Kalyuzhny D.N. The perfection of methods and devices of fault places location of electrotransmission lines in network with voltage 110 kV. – Manuscript.

The thesis for a competition of academic degree of a candidate by a speciality 05.14.02 - electrical power stations, networks and systems. The National Technical University "KPI". Kharkiv, 2004.

The thesis is devoted to a perfection of methods and devices of fault places location of electrotransmission lines in network with voltage 110 kV.

The analytical dependents for one-sided fault place location by emergency rate parameters of electrotransmission lines by one- two- and three-phase short circuits, in which dependence from transient resistance in fault place exclude, are received.

Analytical dependences for definition of parameters of system and PAIRS the opposite end of a line by results of one-sided measurements are received.

The methods one-sided fault place location by emergency rate parameters of electrotransmission lines is developed considering emergency rate parameters the opposite end of a line.

The analysis of some emergency switching-off of the lines fixed during operation of electric networks by a voltage 110 kV for which a relative linear deviation of calculated distances has not exceeded 4 % is made.

Efficiency of the developed technique one-sided ОМІІ on PAIRS ЛЕП in networks by a voltage 110 kV is appreciated.

Key words: electrotransmission line, transient resistance, electric system, short circuit and emergency rate parameters.

Висловлюю щирю подяку к.т.н., доц. кафедри електропостачання міст Харківської національної академії міського господарства Сендеровичу Геннадію Аркадійовичу за наукові консультації і допомогу при проведенні експериментальних досліджень.

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЬ ПОШКОДЖЕННЯ
ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ
В МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 110 КВ**

Відповідальний за випуск

к.т.н. Дьяков Є.Д.

Підп. до друк 10.04.04 Формат 60x84¹/16.

Папір офісний. Друк на ризографі. 1,0 обл. – вид. арк. 0,8 умовн. – друк. арк.

Тираж 100 прим. Замовл. №

ХНАМГ, 61002, Харків, вул. Революції, 12.

Сектор оперативної поліграфії при ІОЦ ХНАМГ.

61002, Харків, вул. Революції, 12.