

УДК 621.315

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ДО МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ НА ЛЕП-110 КВ ЗА МЕТОДОМ ПАРАМЕТРІВ АВАРІЙНОГО РЕЖИМУ (ПАР)

*Т.П. Резніченко, кандидат технічних наук
Б.І. Олексієнко, слухач магістратури*

Стаття присвячена питанню зниження перерв в електропостачанні, підвищенню надійності та ефективності роботи ПЛ-110 кВ за допомогою використання пристроїв фіксації місць пошкодження.

Лінія електропередач, пошкодження, засоби визначення місця пошкодження, експлуатація.

Пошкодження на ЛЕП приносять збитки електропостачальним компаніям і споживачам електричної енергії, обсяги збитків прямопропорційні часу виявлення і усунення пошкоджень.

За даними Головкина П.І. [7] в ряді країн заходу (США, Англія, ФРН, Швеція) втрати споживачів електроенергії від непоставки (обмеження) 1 кВт потужності в 40 – 100 разів перевищують вартість 1 кВт·год відповідно до тарифів для промислових підприємств (з врахуванням тривалості перерв).

В Україні у даний час практично не проводяться дослідження щодо визначення збитків споживачів від недовідпуску електроенергії в окремих галузях виробництва. Аналізуючи дослідження ряду зарубіжних та вітчизняних авторів за попередні періоди (1980 – 2000 р.р.) [7] можна приблизно сказати, що питомі збитки, які виникають внаслідок недовідпуску електроенергії сягають в середньому 6 \$ США за 1 кВт·год (від 3 – 4 \$ в с.г. і ЖКГ та до 25,8 \$ в нафтопереробній галузі). На даний час ці значення питомих збитків суттєво зростають.

Мета досліджень – швидке виявлення та усунення пошкодження дозволяє значно скоротити час перерв в електроживленні підприємств і відповідно пов'язані з цим збитки. Наявність засобів визначення місця пошкодження (ВМП) згідно ПУЕ обов'язкове для ліній напругою 110 кВ і вище, якщо їхня довжина більше 20 км [5]. Проте такі засоби бажано було б мати для ліній будь-якої довжини і напруги. Для визначення місця пошкодження використовуються фіксуючі прилади, які спеціально призначені для ВМП – ФІП, ЛИФП, ФИС, ФВП-01, та мікропроцесорні пристрої нового покоління – реєстратори «Регіна», КРАС, РЕКОН та ін. Крім того сьогодні застосовуються мікропроцесорні пристрої (МП) у функціях яких передбачено запис параметрів короткого замикання (КЗ), наприклад «Діамант» [2]. Необхідно проаналізувати можливість підвищення точності ВМП ЛЕП у мережах напругою 110 кВ, за рахунок застосування МП пристроїв.

Матеріал і методика досліджень. Розглянемо комплекси "РЕКОН" [4], що складаються з автономних реєстраторів, пов'язаних з об'єктами сигналами

льними ланцюгами, і програмного забезпечення для детального аналізу і документування процесів у середовищі персональних комп'ютерів, віддалених від об'єктів спостереження на певну відстань. Особливостями приладу є:

- здатність обробляти струм або напругу (пост./змін.) одним і тим же аналоговим каналом по вибору користувача;
- фіксація поточної промислової частоти вхідних сигналів, вимірної вбудованим швидкодіючим частотоміром;
- здатність виконувати прикладну обробку даних: визначати місце пошкодження для ЛЕП; виконувати аналіз аварійної ситуації і сповіщати оперативному персоналу; ідентифікувати аварійне пошкодження, роботу пристроїв релейного захисту і протиаварійної автоматики (РЗА).

Усі перераховані функції виконуються автоматично без застосування зовнішніх ПК і концентраторів, передбачено використання реєстраторів в автоматизованих системах, реалізованих у вигляді локальної обчислювальної мережі промислових об'єктів (Обленерго, МЕМ, Укренерго), або Smart Grid.

Параметри аварійного режиму (ПАР) – фіксовані (вимірні) під час КЗ струми і напруги різних фаз або послідовностей. [8] Методи визначення місця пошкодження щодо ПАР можна розділити на методи двостороннього та методи одностороннього замірів. Двосторонні методи ВМП щодо ПАР, основані на теорії багатополісників, передбачають наявність повної і синхронізованої інформації з двох кінців лінії. Односторонні ВМП щодо ПАР основані на рішенні рівняння петлі КЗ або використанні моделі лінії. Всі вони поділяються на методи що використовують діюче і миттєве значення параметрів аварійного режиму. [3]

Результати досліджень. При визначенні місць пошкодження методом ПАР на основі розрахунків знаходять характеристику залежності струму (напруги) від відстані до місця КЗ (рис. 1) з якої видно, що її крутизна максимальна на початку ПЛ і мінімальна у кінці лінії[1].

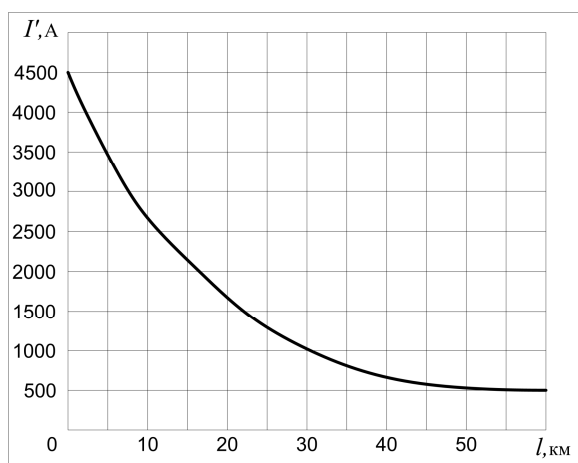


Рис.1. Характеристика $l = f(I')$

При визначенні місць КЗ на основі односторонніх вимірів (рис. 2) струму (напруги) розрахункові характеристики виконуються для найбільш

характерних режимів енергосистеми, що значно впливає на зміну абсолютних значень параметрів аварійного режиму.

З урахуванням викладеного, розглянутий спосіб одностороннього ВМП слід використовувати в основному для відносно коротких ліній (не більше 50 км), що відходять від шин потужних підстанцій.

При однофазних КЗ можливе визначення місць пошкодження на основі одночасного виміру струмів (напруги) нульової і зворотної послідовностей [1]. У цьому випадку (враховується тільки індуктивний опір ПЛ і мережі) відстань до місць КЗ визначається за формулою:

$$l = \left[1 - \frac{(X'_{c2} - X_{л2} + X''_{c2})X''_{c0} - \varepsilon(X'_{c0} - X_{л0} + X''_{c0})X''_{c2}}{\varepsilon(X'_{c0} - X_{л0} + X''_{c0})X''_{л2} - X''_{л0}(X'_{c2} - X_{л2} + X''_{c2})} \right] L \quad \text{де} \quad \varepsilon = \frac{I'_0}{I'_2} = \frac{U'_0 X'_{c2}}{U'_2 X'_{c0}} \quad (1)$$

де $U'_0, I'_0, X_{c0}, X_{л0}$ – відповідно напруга, струм, опір системи і лінії нульової послідовності; $U'_2, I'_2, X_{c2}, X_{л2}$ – відповідно напруга, струм, опір системи і лінії зворотної послідовності.

З формули (1) видно, що відстань до місця КЗ не залежить від перехідного опору в місці пошкодження, проте його точність визначається співвідношенням параметрів ПЛ і системи в схемах заміщення нульової і зворотної послідовностей.

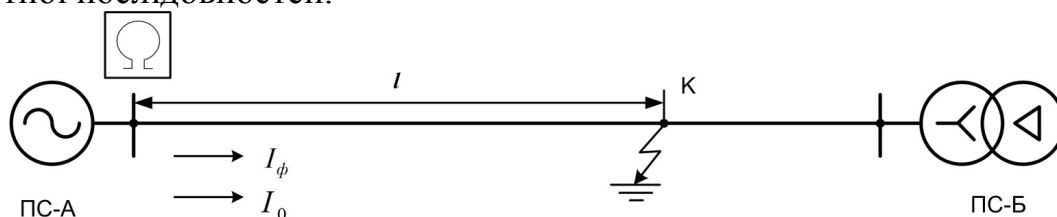


Рис. 2. Схема застосування приладів ВМП на радіальній ПЛ-110 кВ

Розглянемо спосіб визначення місця двофазного КЗ на основі вимірів параметрів зворотної послідовності [4]. В цьому випадку, якщо нехтувати перехідним опором у місці пошкодження, напруга зворотної послідовності в місці КЗ складає половину фазної напруги. Виходячи з цього, напруга зворотної послідовності, виміряна на початку ПЛ, рівна:

$$\underline{U}'_2 = \underline{U}_{2k} - \underline{z}_1 I I'_2 = \underline{U}_\phi / 2 - \underline{z}_1 I I'_2. \quad (2)$$

Звідси отримуємо розрахункову формулу для визначення відстані до місця двофазного КЗ :

$$l = \frac{\underline{U}_\phi - 2\underline{U}'_2}{2\underline{z}_1 I'_2}, \quad (3)$$

де \underline{U}_ϕ – фазна напруга на шинах підстанції, звідки ведеться відлік відстані до місць КЗ; \underline{U}'_2, I'_2 – відповідно напруга і струм зворотної

послідовності на початку ПЛ; z_l – питомий повний опір прямої послідовності ПЛ.

Цей спосіб слід застосовувати на повітряних лініях, де велика кількість міжфазних коротких замикань. Перехідним опором у місці пошкодження можна знехтувати [6].

Двостороннє ВМП лінія з одним відгалуженням [1]. Схеми заміщення нульової і зворотної послідовності при пошкодженнях на першій і другій ділянках ПЛ показані на (рис. 3). При пошкодженні на ділянці L_1 (точка K_1) параметри холостого ходу і короткого замикання чотириполіусника, що знаходиться зліва від місця кз, рівні:

$$z'_{1x} = \infty; \quad z'_{2x} = \infty; \quad z'_{2K} = 0, \quad (4)$$

Звідси отримуємо відповідні значення пасивних параметрів:

$$A'_1 = 1; \quad B'_1 = 0; \quad C'_1 = 0; \quad D'_1 = 1; \quad (5)$$

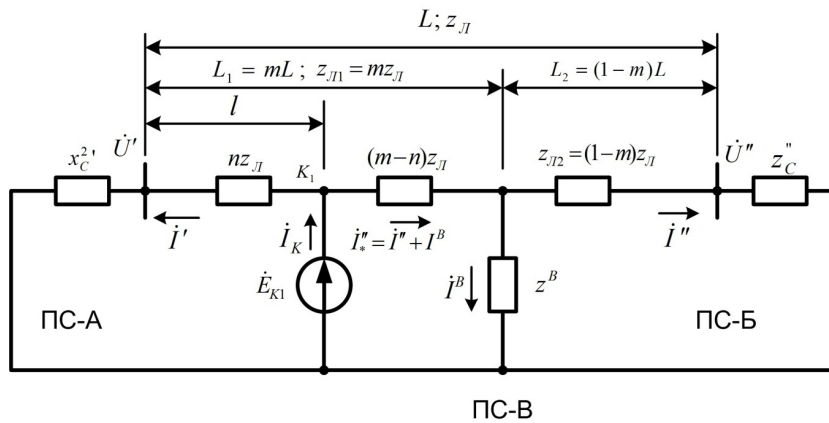


Рис. 3. Схема заміщення лінії з одним відгалуженням

Для визначення місця пошкодження на ділянці L_1 :

$$l_1 = \frac{(z_{L1} + z^B) \dot{U}_2'' - z^B \dot{U}_2' + [z_{L2} z^B + z_{L1} (z_{L2} + z^B)] \dot{I}_2''}{z_{y0} [\dot{U}_2'' + z^B \dot{I}_2' + (z_{L2} + z^B) \dot{I}_2'']}. \quad (6)$$

Для випадку пошкодження на ділянці L_2 отримуємо аналогічні значення пасивних параметрів чотириполіусників, розміщених справа і зліва від місця кз:

$$\left. \begin{aligned} \dot{A}'_2 = 1; \quad \dot{B}'_2 = z_{L1}; \quad \dot{C}'_2 = \frac{1}{z^B}; \quad \dot{D}'_2 = \frac{z_{L1} + z^B}{z^B}; \\ \dot{A}''_2 = 1; \quad \dot{B}''_2 = 0; \quad \dot{C}''_2 = 0; \quad \dot{D}''_2 = 1. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Місце пошкодження на ділянці L_2 визначається по виразу:

$$l_2 = \frac{z^B(\dot{U}_2'' - \dot{U}_2') - z_{Л1}z^B\dot{I}_2' + z_{Л2}z^B\dot{I}_2''}{z_{num}[\dot{U}_2' + (z_{Л1} + z^B)\dot{I}_2' + z^B\dot{I}_2'']} \quad (8)$$

Для визначення пошкодженої ділянки потрібно скористатися формулами для визначення розрахункових напруг при пошкодженнях ПЛ з одним відгалуженням (табл. 1).

На лінії з одним відгалуженням при визначенні пошкодженої ділянки потрібно порівняти в точці відгалуження (кінець ділянки L_1 і початок L_2) значення двох розрахункових напруг $\dot{U}'_{р.н}$ і $\dot{U}''_{р.н}$. Напряга більша на тій ділянці де відбулось пошкодження. При КЗ на відгалуженні обидві напруги рівні.

Лінія з двома відгалуженнями. Схеми заміщення нульової і зворотної послідовності при пошкодженнях на першій, другій і третій ділянках ПЛ показані на (рис. 4).

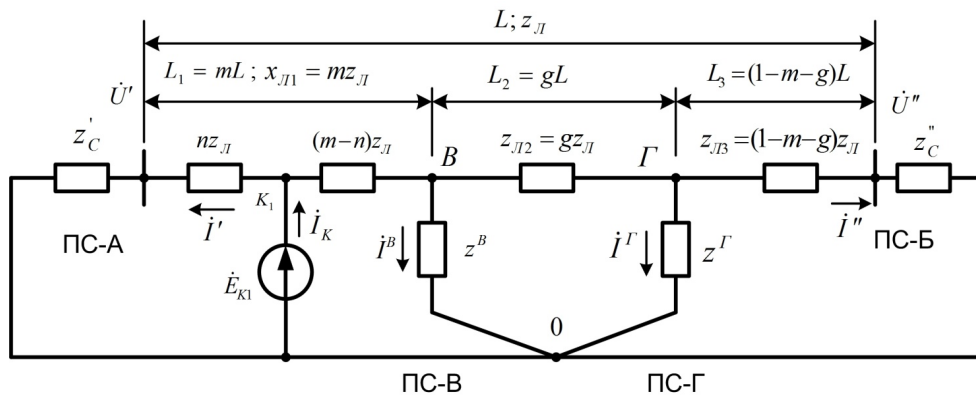


Рис. 4. Схема заміщення лінії з двома відгалуженнями

Як і для ПЛ з одним відгалуженням – визначаються постійні коефіцієнти чотирьохполюсників. Значення розрахункових напруг при пошкодженнях на різних ділянках лінії приведені в таблиці.

Визначення розрахункових напруг на ПЛ з відгалуженнями

Розрахункові напруги	Пошкоджена ділянка ($\dot{U}'_{р.н} < \dot{U}''_{р.н}$ – і $\dot{U}'_{р.к} > \dot{U}''_{р.к}$)		
	L_1	L_2	L_3
$\dot{U}'_{р.н}$	\dot{U}'	$\dot{U}' + z_{Л1}\dot{I}'$	$\frac{(z_{Л2} + z^B)\dot{U}'}{z^B} + \frac{(z_{Л1}z_{Л2} + z_{Л1}z^B)}{z^B} + \frac{z_{Л2}z^B}{z^B}\dot{I}'$

$\dot{U}''_{p.n}$	$\frac{[(z_{Л1} + z_{Л2} + z^{\Gamma})z^B]}{z^B z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{z_{Л1}z_{Л2} + z_{Л1}z^{\Gamma}}{z^B z^{\Gamma}} \dot{U}'' +$ $+ \frac{[(z_{Л1} + z_{Л2} + z_{Л3})z^B z^{\Gamma}]}{z^B z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{(z_{Л1} + z_{Л2})z_{Л3}z^B}{z^B z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{(z_{Л2} + z_{Л3})z_{Л1}z^{\Gamma}}{z^B z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{z_{Л1}z_{Л2}z_{Л3}}{z^B z^{\Gamma}} \dot{I}''$	$\frac{(z_{Л2} + z^{\Gamma})\dot{U}''}{z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{(z_{Л2}z_{Л3} + z_{Л2}z^{\Gamma})}{z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{z_{Л3}z^{\Gamma}}{z^{\Gamma}} \dot{I}''$	$\dot{U}'' + z_{Л3}\dot{I}''$
$\dot{U}'_{p.k}$	$\dot{U}' + z_{Л1}\dot{I}'$	$\frac{(z_{Л2} + z^B)\dot{U}'}{z^B} +$ $+ \frac{(z_{Л1}z_{Л2} + z_{Л1}z^B)}{z^B} +$ $+ \frac{z_{Л2}z^B}{z^B} \dot{I}'$	$\frac{[(z_{Л1} + z_{Л2} + z^{\Gamma})z^B]}{z^B z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{z_{Л1}z_{Л2} + z_{Л1}z^{\Gamma}}{z^B z^{\Gamma}} \dot{U}'' +$ $+ \frac{[(z_{Л1} + z_{Л2} + z_{Л3})z^B z^{\Gamma}]}{z^B z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{(z_{Л1} + z_{Л2})z_{Л3}z^B}{z^B z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{(z_{Л2} + z_{Л3})z_{Л1}z^{\Gamma}}{z^B z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{z_{Л1}z_{Л2}z_{Л3}}{z^B z^{\Gamma}} \dot{I}''$
$\dot{U}''_{p.k}$	$\frac{(z_{Л2} + z^{\Gamma})\dot{U}''}{z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{(z_{Л2}z_{Л3} + z_{Л2}z^{\Gamma})}{z^{\Gamma}} +$ $+ \frac{z_{Л3}z^{\Gamma}}{z^{\Gamma}} \dot{I}''$	$\dot{U}'' + z_{Л3}\dot{I}''$	\dot{U}''

Аналогічним чином можна розрахувати пасивні параметри чотириполісників для ліній з трьома і більше відгалуженнями, отримуючи відповідні вирази для визначення пошкодженої ділянки і місця КЗ на ній.

Висновки

Пріоритетним напрямком досліджень щодо визначення місця пошкодження 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.

Відносна простота приладів двостороннього заміру оснований на методі ПАР обумовила їх широке поширення у мережах 110 кВ.

Двосторонні методи ВМП щодо ПАР є найбільш точними, однак вони мають ряд суттєвих недоліків, до яких відносяться значні капіталовкладення для їх реалізації; надійність, що залежить від правильної роботи фіксуючих пристроїв з обох кінців ЛЕП, засобів синхронізації показників цих приладів і каналів зв'язку. При відмові приладів, а також неправильній роботі на одному з кінців лінії чи при пошкодженні каналу зв'язку ці засоби виходять з ладу.

Проведений аналіз свідчить, що похибка одностороннього ВМП на ПЛ-110 кВ може бути в межах 3-4 прольотів, а двостороннього не більше 1 – 2 прольотів.

Список літератури

1. Айзенфельд А.И., Определение мест короткого замыкания на линиях с ответвлениями / А.И. Айзенфельд, Г.М. Шалыт 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1988.
2. Аржанников Е.А., Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях: Учебное пособие / Е.А. Аржанников, А.М. Чухин Ивановский государственный энергетический университет Иваново, 1998.– 74 с.
3. Аржанников Е.А., Определение места короткого замыкания на высоковольтных линиях электропередачи / Е.А. Аржанников, В.Ю. Лукоянов, М.Ш. Мисриханов / Под ред. В.А. Шуина. –М.: Энергоатомиздат, 2003. – 272 с.
4. Арцишевський Я.Л. Определение мест повреждения линий электропередачи в сетях с заземленной нейтралью: Учеб. Пособие для СПТУ.–М.: Высш. шк., 1988. – 94 с.
5. Правила улаштування електроустановок, Мінпаливенерго України 2010 видання 3-тє, перероб. і доп. – 736с.
6. РД 34.35.517-89 Методические указания по определению мест повреждения воздушных линий напряжением 110 кВ и выше с помощью фиксирующих приборов.
7. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: – 4-е изд., испр. и доп. – СПб.: ПЭИПК, 2010. – 350 с.
8. Шалыт Г.М., Определение мест повреждения линий электропередачи по параметрам аварийного режима / Г.М. Шалыт, А.И. Айзенфельд, А.С. Малый 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

Стаття посвящена вопросу по снижению перерывов в электроснабжении, повышению надежности и эффективности работы ВЛ-110 кВ с помощью использования устройств фиксации мест повреждения.

Линия электропередач, повреждение, средства определения места повреждения, эксплуатация.

This article is sacred to the question on the decline of interruptions in a power supply, increase of reliability and efficiency work of transmission line 110 kV by means of the use devices fixing sites of damage.

Line of electricity transmissions, damage, facilities location of damage, exploitation.