

ВИЗНАЧЕННЯ ОЗНАК АВАРІЙНОГО РЕЖИМУ ОБРИВУ ПРОВОДУ В ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НАПРУГОЮ 6-35 КВ

М. В. Кутіна, асп.

Вінницький національний технічний університет

Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця, Україна

E-mail: marinakutina@meta.ua

Показано, що в якості ознаки обриву проводу повітряної лінії електропередачі доцільно використовувати значення струмів зворотної послідовності на початку лінії до моменту падіння проводу на землю та значення струму нульової послідовності після падіння проводу на землю. Для повітряних ліній діючих систем електропередачі досліджено значення струму зворотної послідовності в залежності від місця обриву та місця виникнення двофазного короткого замикання.

Ключові слова: обрив проводу, повітряні лінії електропередач, струм зворотної послідовності.

Вступ. Під час обриву проводу повітряної лінії електропередачі (ЛЕП) виникає однофазне замикання на землю зі сторони джерела живлення чи приймача, або з обох сторін, якщо обрив виникає в середині прольоту.

У більшості випадків в повітряних лініях (ПЛ) напругою 6-10 кВ при обриві проводу струми замикання на землю не перевищують 0,3–0,5 А. При таких струмах відбувається згасання дуги і складеться хибне враження про самоусунення однофазних замикань на землю (ОЗЗ). У місці падіння проводу виникає небезпечне поле розтікання струму. На такий вид пошкодження не реагують засоби від ОЗЗ, аварійний режим може існувати довго, тому існує необхідність у розробці методів і засобів підвищення чутливості захисту від ОЗЗ при обриві проводу повітряної лінії електропередачі.

Аналіз попередніх досліджень. Математичні залежності струму ОЗЗ від параметрів електроустановки викладені в ряді досліджень [1, 2-5]. Але в більшості випадків розглядають зв'язок фази із землею як металевий, оскільки визначення перехідного опору через неметалеві предмети є складною задачею. Відсутній і математичний опис процесу ОЗЗ через електричну дугу, оскільки електричний опір дуги є нелінійною функцією струму, який через неї протікає. Розрахунок здійснюється методом кусочно-лінійної апроксимації [6], але цей метод не може забезпечити необхідну для практики точність, оскільки неможливо отримати чітку залежність струму ОЗЗ від часу для розрахунку вхідної ВАХ дуги ОЗЗ навіть осцилографуванням, через коливання параметрів контуру замикання [2, 5]. Крім цього, на стороні низької напруги трансформаторів, які живляться від пошкодженої лінії, спотворюються міжфазні напруги й споживачі переходять в несиметричний режим роботи, небезпечний з точки зору перегріву обмоток трансформаторів і двигунів.

Мета роботи. Підвищення чутливості захисту від обриву проводу в розгалужених розподільних мережах шляхом використання струмів зворотної послідовності, які виникають на початку лінії до моменту падіння проводу на землю і струмів нульової послідовності, які виникають при падінні провідника на землю.

Матеріал і результати дослідження. Для визначення характеристик струму ОЗЗ розділимо аварійний режим обриву проводу на дві стадії: до моменту падіння провідника на землю і після моменту падіння провідника на землю.

Для визначення струмів у фазах при обриві проводу скористаємося методом ідентифікації в часовому просторі через комплексну площину [6]. Розрахункова схема представлена на рис. 1.

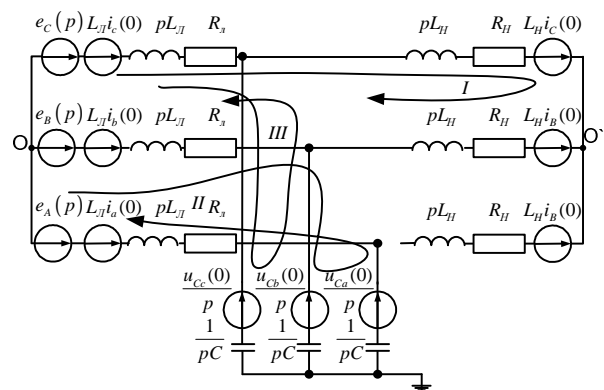


Рисунок 1 – Розрахункова схема для визначення струмів у фазах при обриві проводу операторним методом: L_L – параметр, який враховує опір вторинних обмоток трансформаторів і лінії; R_s – активний опір вторинної обмотки трансформатора і лінії; L_H, R_H – відповідно індуктивність і активний опір навантаження; C – ємність провідників мережі відносно землі; $\omega = 2\pi f$; $f = 50 \text{ Гц}$;

$$e_A(t) = E_M \sin(\omega t); \quad e_B(t) = E_M \sin(\omega t - 120^\circ);$$

$$e_C(t) = E_M \sin(\omega t + 120^\circ)$$

Складемо систему рівнянь для визначення контурних струмів, рис. 1.

$$\begin{vmatrix} E_1(p) \\ E_2(p) \\ E_3(p) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} I_1(p) \\ I_1(p) \\ I_1(p) \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 2m \\ -n \\ 2n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} I_2(p) \\ I_2(p) \\ I_2(p) \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} -n \\ 2o \\ -o \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} I_3(p) \\ I_3(p) \\ I_3(p) \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 2n \\ -o \\ 2o \end{vmatrix},$$

де $m = pL_L + R_L + R_H + pL_H$; $o = pL_L + R_L + \frac{1}{pC}$;

$n = pL_L + R_L$;

$$E_1(p) = \frac{\dot{U}_m(a-a^2)}{p-j\omega} + L_L(i_C(0) - i_B(0)) + L_H(i_C(0) - i_B(0));$$

$$E_2(p) = \frac{\dot{U}_m(a^2-1)}{p-j\omega} + L_L(i_B(0) - i_A(0)) + \frac{1}{p}(u_{CA}(0) - u_{CB}(0));$$

$$E_3(p) = \frac{\dot{U}_m(a-a^2)}{p-j\omega} + L_L(i_C(0) - i_B(0)) + \frac{1}{p}(u_{CC}(0) - u_{CB}(0)).$$

Для обраних контурів на рис. 1 запишемо вирази для визначення контурних струмів:

$$I_1(p) = \frac{A_1 p^6 + B_1 p^5 + C_1 p^4 + D_1 p^3 + E_1 p^2 + F_1 p + G_1}{H_1 p^7 + I_1 p^6 + J_1 p^5 + K_1 p^4 + L_1 p^3 + M_1 p^2 + N_1 p + O_1}; \quad (1)$$

$$I_2(p) = \frac{A_2 p^2 + B_2 p + C_2}{D_2 p^4 + E_2 p^3 + F_2 p^2 + G_2 p + H_2}; \quad (2)$$

$$I_3(p) = \frac{A_3 p^4 + B_3 p^3 + C_3 p^2 + D_3 p + E_3}{F_3 p^5 + G_3 p^4 + H_3 p^3 + I_3 p^2 + J_3 p + K_3}, \quad (3)$$

де

$A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, F_1, G_1, H_1, I_1, J_1, K_1, L_1, M_1, N_1, O_1, A_2, B_2,$

$C_2, D_2, E_2, F_2, G_2, H_2, A_3, B_3, C_3, D_3, E_3, F_3, G_3, H_3, I_3, J_3, K_3$ – коефіцієнти, що залежать від параметрів мережі.

Запишемо вирази для струмів у фазах з урахуванням виразів (1)–(3):

$$I_a(p) = -I_2(p); \quad (4)$$

$$I_b(p) = I_2(p) - I_1(p) - I_3(p); \quad (5)$$

$$I_c(p) = +I_1(p) + I_3(p). \quad (6)$$

Скориставшись теоремою розкладу, отримаємо залежності струмів від часу.

Для визначення величини часу падіння провідника на землю розглянемо розрахункову схему, показану на рис. 2.

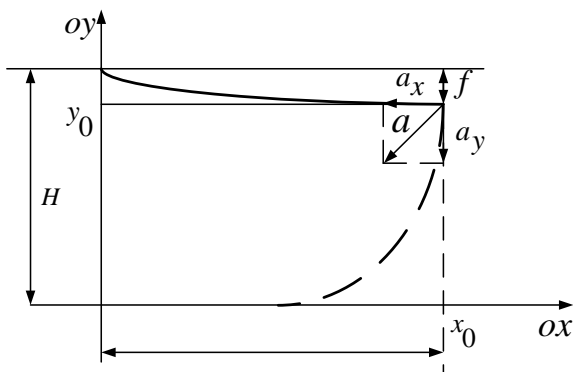


Рисунок 2 – Розрахункова схема для визначення часу падіння провідника на землю: x, y – кінцеві

координати; x_0, y_0 – початкові координати; V_{0x}, V_{0y} – проекції вектора швидкості падіння провідника; a_x, a_y – проекції вектора прискорення; H – висота кріплення проводів; f – стріла провисання.

Складемо рівняння руху провідника:

$$x = x_0 + V_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}; \quad (7)$$

$$y = y_0 + V_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}. \quad (8)$$

Оскільки в момент обриву проводу йому не було надано прискорення, то й швидкість при $t=0$ також дорівнює нулю, $V_{0x} = V_{0y} = 0$, тоді рівняння (7) та (8) будуть мати вигляд:

$$x = x_0 + \frac{a_x t^2}{2}; \quad (9)$$

$$y = y_0 + \frac{a_y t^2}{2}. \quad (10)$$

Більш детально розглянемо рівняння (10). Значення y_0 є сталим і може бути визначене з урахуванням [7] як

$$y_0 = H - f = H - \frac{\gamma l^2}{8\sigma}, \quad (11)$$

де γ – приведенне навантаження від власної ваги, кг/м*мм²; σ – допустиме навантаження при середньорічній температурі, кг/мм²; l – половина довжини прольоту, м.

Значення величини прискорення, спроектованого на вісь oy , буде відповідати значенню прискорення вільного падіння з протилежним знаком:

$$a_y = -g. \quad (12)$$

Перетворивши рівняння (10) і врахувавши рівняння (11) та (12), отримаємо:

$$t = \sqrt{\frac{2(H + \frac{\gamma l^2}{8\sigma} - y)}{g}}. \quad (13)$$

Розрахуємо величину часу падіння провідника на землю для ЛЕП 6-35 кВ. Для розрахунку обрано проміжну дерев'яну опору висотою 9,75 м, з висотою кріплення проводів 8 м; 8,75 м; 9,5 м, довжина прольоту 50 м. Марка проводу АС-35 з допустимим навантаженням при середньорічній температурі

6,25 кГ/мм² та приведеним навантаженням від власної ваги $3,47 \cdot 10^{-3}$ кГ/М*мм² [7]. Результати розрахунку показали, що при обраних параметрах час падіння обірваного проводу на землю в мережах 6-35 кВ коливається в межах від 1,281 с до 1,633 с у залежності від місця обриву проводу в прольоті, типу проводу, кліматичних умов.

Для аналізу струмів прямої та зворотної послідовності було розраховано десять реальних схем повітряних розподільних мереж. Для прикладу на рис. 3 зображена схема заміщення розгалуженої електричної мережі напругою 6-35 кВ ВАТ «АК Вінниця-обленерго» «Соболівка ф 21». Пронумеровані й позначені точками місця обриву проводу. Розраховані значення параметрів аварійного режиму, обриву проводу при максимальних та мінімальних навантаженнях і занесені в табл. 1– 4. Аналіз десяти реальних електричних розподільних мереж показав, що струм зворотної послідовності близький до нуля

лише в нормальному режимі роботи і змінює своє значення в залежності від місця обриву ЛЕП. При обриві проводу в кінці ЛЕП значення струму зворотної послідовності на початку лінії суттєво відрізняється від значення струму небалансу нормального режиму, що є ознакою обриву. Були визначені струми міжфазних коротких замикань для одних і тих же розрахункових точок. Результати аналізу показали, що значення струмів зворотної послідовності при обриві проводу на порядок менше ніж при двофазному короткому замиканні, і на них не реагує двоступеневий струмовий релейний захист лінії електропередачі. Тому для підвищення рівня надійності спрацювання захисту від обриву необхідно контролювати ще й величину струму нульової послідовності після падіння проводу на землю з витримкою часу 2 с. і блокувати дію захисту від обриву при спрацюванні захисту лінії від між фазних коротких замикань.

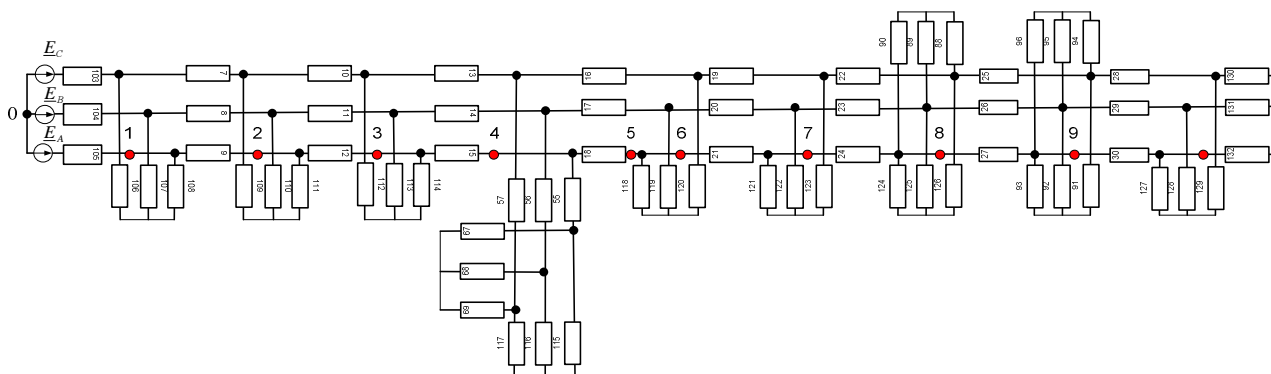


Рисунок 3 – Схема заміщення електричної лінії 6-35 кВ «Соболівка ф 21»

Таблиця 1– Розраховані значення параметрів аварійного режиму, обриву проводу ЛЕП 6-35 кВ «Соболівка ф 21». Режим мінімальних навантажень

Параметри		Модуль		Фаза, град		Модуль		Фаза, град		Модуль		Фаза, град		
		Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	
Струм в фазах на початку лінії, А	A	10,823	-37	0	0	0,234	-37	0,603	-37	2,065	-37	3,931	-37	
	B	10,823	-157	9,373	-127	9,374	-129	9,379	-129	9,431	-133	9,579	-139	
	C	10,823	83	9,373	53	9,374	55	9,378	55	9,429	59	9,575	65	
Струми нульової, прямої та зворотної послідовностей, А	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	10,823	-37	5,412	-37	5,713	-37	5,713	-37	6,444	-37	7,377	-37	
	2	0	0	5,412	143	5,11	143	5,11	143	4,379	143	3,446	143	
Точки обриву	Нормальний режим роботи													
					1		2		3		4		5	

Таблиця 2 – Розраховані значення параметрів аварійного режиму, обриву проводу ЛЕП 6-35 кВ «Соболівка ф 21». Режим мінімальних навантажень

Параметри		Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град
Струм у фазах на початку лінії, А	А	4,861	-37	6,311	-37	8,046	-37	9,543	-37	10,462	-37
	В	9,685	-142	9,892	-146	10,2	-150	10,24	-155	10,734	-156
	С	9,681	67	9,888	72	10,2	76	10,24	81	10,734	82
Струми нульової, прямої та зворотної послідовностей, А	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	7,842	-37	8,567	-37	9,435	-37	10	-37	10,643	-37
	2	2,981	143	2,256	143	1,389	143	0,459	143	0,1806	143
Точки обриву		6		7		8		9		10	

Таблиця 3 – Розраховані значення параметрів аварійного режиму, обриву проводу ЛЕП 6-35 кВ «Соболівка ф 21». Режим максимальних навантажень

Параметри		Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град
Струм у фазах на початку лінії, А	А	10,823	-37	0	0	0,234	-37	0,603	-37	2,065	-37	3,931	-37
	В	10,823	-157	9,373	-127	9,374	-128	9,379	-129	9,431	-133	9,579	-139
	С	10,823	83	9,373	53	9,374	54	9,378	55	9,429	59	9,575	65
Струми нульової, прямої та зворотної послідовностей, А	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	10,823	-37	5,412	-37	5,529	-37	5,713	-37	6,444	-37	7,377	-37
	2	0	12	5,412	143	5,295	143	5,11	143	4,379	143	3,446	143
Точки обриву		Нормальний режим роботи		1		2		3		4		5	

Таблиця 4 – Розраховані значення параметрів аварійного режиму, обриву проводу ЛЕП 6-35 кВ «Соболівка ф 21». Режим максимальних навантажень

Параметри		Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град	Модуль	Фаза, град
Струм у фазах на початку лінії, А	А	4,861	-37,021	6,311	-37,035	8,046	-37,05	9,543	-37,061	10,462	-37,067		
	В	9,685	-141,602	9,892	-145,672	10,202	-150,294	10,241	-154,839	10,734	-156,234		
	С	9,681	67,471	9,888	71,542	10,199	76,163	10,24	80,708	10,734	82,097		
Струми нульової, прямої та зворотної послідовностей, А	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	7,842	-37,054	8,567	-37,056	9,435	-37,061	10,003	-37,064	10,643	-37,068		
	2	2,981	142,893	2,256	142,884	1,389	142,876	0,46	142,873	0,181	142,877		
Точки обриву		6		7		8		9		10			

Висновки. Для виявлення несиметричного режиму роботи, який виникає при обриві проводу,

необхідно контролювати величину струму зворотної послідовності до моменту падіння проводу на землю

і струм нульової послідовності після падіння проводу на землю.

Час падіння обірваного проводу на землю в повітряних лініях електропередач напругою 6-35 кВ перевищує 1 с, тому в якості уставок спрацювання захисту від обриву можна використовувати діючі значення струму прямої і зворотної послідовностей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Старостин В.И., Сьюсюкин А.И. Повреждаемость основных элементов систем электроснабжения заводов синтетического каучука // Промышленная энергетика. – 1973, – № 12 – С. 11–14.

2. Жидков В.О., Шеффер Э.Д. Повышение надёжности воздушных линий 10 кВ средствами автоматизации // В кн: Рациональные системы энерго и теплоснабжения, микроклимата и использование лучистой энергии на животноводческих фермах и комплексах.– Новосибирск: СОВАСХНИЛ – 1981. – С. 76–82.

3. Самойлович И.С. К оценке переходных сопротивлений при однофазных замыканиях на землю в

сетях 6-10 кВ // Проблемы технической электродинамики. – 1972. – Вып. 37. – С. 55–60.

4. Комбінована система керування технічним станом розподільних мереж / В.М. Кутін, С.В. Матвієнко, М.В. Кутіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2007. – № 1. – С. 37–42.

5. Лихачёв Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М.: Энергия. – 1973. – С. 264.

6. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – Изд. 6-е перераб. и доп. Учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов. – М.: Высш. школа. – 1973. – 752 с.

7. Крюков К.П., Новгородцев Б.П. Конструкции и механический расчёт линий электропередачи. – Л.: Энергия. – 1970. – С. 39.

Стаття надійшла 09.06.2011 р.
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.
Бялобржеським О.В.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ АВАРИЙНОГО РЕЖИМА ОБРЫВА ПРОВОДА В ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-35кВ

М. В. Кутина, асп.

Винницкий национальный технический университет

Хмельницкое шоссе, 95, 21021, г. Винница, Украина

E-mail: marinakytina@meta.ua

Показано, что в качестве признака обрыва провода воздушной линии электропередачи целесообразно использовать значение токов обратной последовательности в начале линии до момента падения провода на землю и значение тока нулевой последовательности после падения провода на землю. Для воздушных линий действующих систем электропередач исследовано значение тока обратной последовательности в зависимости от места обрыва и места возникновения двухфазного короткого замыкания.

Ключевые слова: обрыв провода, воздушные линии электропередач, ток обратной последовательности.

DETERMINATION OF SIGNS OF MALFUNCTION OF PRECIPICE OF WIRE IN AIR LINES OF ELECTRICITY TRANSMISSION BY TENSION OF 6-35kV

M. Kutina, post-grad.

Vinnitsa National Technical University

Khmelnytske shose, 95, 21021, Vinnitsa, Ukraine

E-mail: marinakytina@meta.ua

It is shown that as a sign of precipice of wire of air-track of electricity transmission it is expedient to use the value of currents of reverse sequence at the beginning of line to the moment of falling of wire on earth, and value of current of a zero sequence after falling of wire on earth. For the air-tracks of the operating systems the value of current of reverse sequence is investigational an electricity transmission depending on the place of precipice and place of origin of diphase short circuit.

Key words: precipice of wire, air grid, current of reverse sequence.