

РОЗРАХУНОК ВТРАТ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У ГРОЗОЗАХИСНОМУ ТРОСІ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

А.В. Красножон¹, канд.техн.наук, Р.О.Буйний^{1*}, канд.техн.наук, І.В.Пентегов², докт.техн.наук

¹ – Чернігівський національний технологічний університет,

вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14027, Україна,

e-mail: red_john@ngs.ru, buinyiroman@gmail.com,

² – Інститут електрозварювання імені Є.О.Патона НАН України,

вул. Боженка, 11, Київ, 03150, Україна,

e-mail: magn@i.com.ua.

Запропоновано метод розрахунку наведеного струму та втрат потужності, що виникають у грозозахисних тросах із вбудованим оптоволоконним кабелем, які останнім часом використовуються для захисту повітряних ЛЕП від прямих ударів блискавки. На прикладі ЛЕП напругою 330 кВ з грозозахисним тросом зазначеного типу показано, що втрати у тросі можуть бути значними і призводять до зменшення ефективності передачі електроенергії кінцевому споживачу. Дана проблема є актуальною як при реконструкції існуючих ЛЕП, так і на етапі проектування нових. Бібл. 8, рис. 1.

Ключові слова: повітряна ЛЕП, грозозахисний трос, магнітна індукція, магнітний потік, наведений струм, втрати потужності.

Вступ. Останнім часом для захисту повітряних ліній електропередачі від прямих ударів блискавки почали використовувати грозозахисні троси (ГЗТ) з вбудованим оптоволоконним кабелем. У правилах улаштування електроустановок [8] сказано, що такі троси повинні заземлюватися на кожній опорі ЛЕП. Однак таке заземлення призведе до появи контурів, утворених опорами ЛЕП, їхніми заземлювачами та ГЗТ. Створений фазними провідниками ЛЕП магнітний потік буде наводити у тросі певну напругу, що призведе до появи у ньому струму i , як наслідок, втрат потужності. Задача розрахунку таких втрат на сьогодні є невирішеною. При цьому слід зазначити, що в даний час ГЗТ більшості існуючих ЛЕП поділені на частини, кожна з яких заземлена лише на одній опорі ЛЕП, тому втрат у таких тросах не виникає [7]. Проте у найближчій перспективі для ЛЕП 110-750 кВ передбачається заміна усіх тросів на ГЗТ із вбудованим оптоволоконним кабелем, що вимагає заземлення на всіх опорах.

Мета статті. Метою даної статті є створення методу розрахунку втрат потужності у грозозахисному тросі повітряних ліній електропередачі. При цьому важливо, що необхідно враховувати наявний магнітний зв'язок між фазами ЛЕП та ГЗТ.

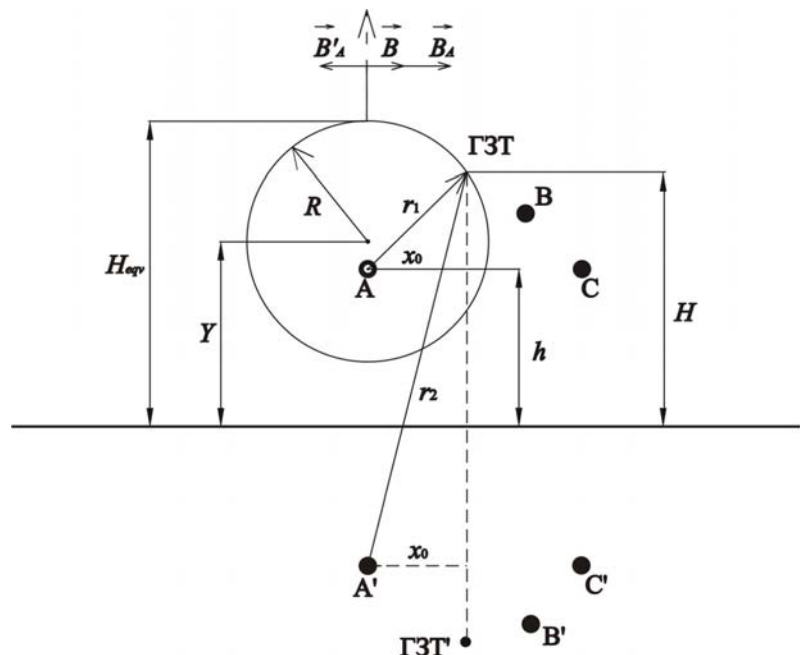
Основні матеріали дослідження. Для розрахунку втрат у ГЗТ повітряних ліній електропередачі можна застосувати метод дзеркальних відображень. Згідно з цим методом необхідно розглядати, крім фазних провідників ЛЕП та ГЗТ, фіктивні фазні провідники та фіктивний ГЗТ. Струми у фіктивних провідниках ЛЕП та у тросі мають таку саму величину, як і струми у реальних провідниках, але протилежний напрямок.

На рисунку показано зчеплену з ГЗТ силову лінію магнітного поля від диполя фази A та її дзеркального відображення. Слід зазначити, що така силова лінія є колом, центр якого не співпадає з центром фазного провідника [1,5]. На рисунку представлено: висоту підвісу фази h та ГЗТ – H ; відстань від землі до центру зчепленої з ГЗТ силовій лінії Y та радіус такої лінії R .

Магнітна індукція від фазного провідника та його дзеркального відображення розраховується

$$B(r, h, I_m) = \frac{I_m \cdot \mu_0}{2\pi} \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{2h+r} \right). \quad (1)$$

де r – відстань від центру фазного провідника до точки, де розраховується індукція



(точка знаходиться вище фазного провідника); I_m – амплітуда струму у фазі.

Магнітна індукція у формулі (1) розраховується у циліндричній системі координат, початок якої співпадає з відповідним фазним провідником ЛЕП, а зчеплений з ГЗТ магнітний потік від диполя фази та її дзеркального відображення –

$$\Phi_m(h, H, I_m, x_0) = I_m \int_{H_{\text{equiv}}(h, H, x_0) - h}^{\infty} B(r, h, I_m) dr. \quad (2)$$

Слід зазначити, що зчеплений з ГЗТ магнітний потік згідно з (2) визначається по шляху, показаному на рисунку. Цей шлях розпочинається з найвищої точки зчепленої з ГЗТ силової лінії від диполя фази та її дзеркального відображення та закінчується у безмежності. Відстань від землі до найвищої точки зчепленої з ГЗТ силової лінії H_{equiv} є функцією від h , H та x_0 .

Для подальших розрахунків будемо використовувати символічний метод. Знаходимо комплексну амплітуду сумарного магнітного потоку, зчепленого з ГЗТ

$$\begin{aligned} \dot{\Phi}_m \sum(h_1, h_2, h_3, H, x_{01}, x_{02}, x_{03}, I_m, I_{m\text{ГЗТ}}, \psi) = & (\Phi_m(h_1, H, x_{01}, I_m) e^{j\cdot 0} + \\ & + \Phi_m(h_2, H, x_{02}, I_m) e^{-j\frac{2}{3}\pi} + \Phi_m(h_3, H, x_{03}, I_m) e^{j\frac{2}{3}\pi}) - L_{\text{ГЗТ}} I_{m\text{ГЗТ}} e^{j\psi}, \end{aligned} \quad (3)$$

де h_1 , h_2 , h_3 – висоти підвішування фаз, H – висота підвішування ГЗТ, x_{01} , x_{02} , x_{03} – відстані між фазами та вертикальною проекцією ГЗТ, $L_{\text{ГЗТ}}$ – індуктивність ГЗТ, $I_{m\text{ГЗТ}}$ – амплітуда струму у ГЗТ, ψ – початкова фаза струму ГЗТ.

Три перших складових даної формули враховують магнітні потоки фаз та їхній взаємний зсув у часі, а остання складова – магнітний потік від самого ГЗТ згідно з правилом Ленца [2] буде спрямований протилежно змінам магнітного потоку, створеного фазними провідниками ЛЕП.

Розраховуємо комплексну амплітуду наведеної на ГЗТ напруги

$$\begin{aligned} \dot{U}_m(h_1, h_2, h_3, H, x_{01}, x_{02}, x_{03}, I_m, I_{m\text{ГЗТ}}, \psi) = \\ = j\omega \dot{\Phi}_m \sum(h_1, h_2, h_3, H, x_{01}, x_{02}, x_{03}, I_m, I_{m\text{ГЗТ}}, \psi). \end{aligned} \quad (4)$$

Комплексну амплітуду струму ГЗТ знаходимо за законом Ома

$$I_{m\text{ГЗТ}} e^{j\psi} = \frac{\dot{U}_m(h_1, h_2, h_3, H, x_{01}, x_{02}, x_{03}, I_m, I_{m\text{ГЗТ}}, \psi)}{Z_{\text{ГЗТ}}}, \quad (5)$$

де $Z_{\text{ГЗТ}}$ – повний комплексний опір ГЗТ

$$Z_{\text{ГЗТ}} = R_{\text{ГЗТ}} + jX_{\text{ГЗТ}}, \quad (6)$$

де $R_{\text{ГЗТ}}$, $X_{\text{ГЗТ}}$ – активний та індуктивний опори ГЗТ відповідно.

Індуктивний опір ГЗТ – це фактично індуктивний опір контуру, утвореного ГЗТ та його дзеркальним відображенням, який можна визначити через індуктивність двохпровідної лінії.

Слід зазначити, що струм ГЗТ входить в обидві частини рівняння (5). Якщо розв'язати дане рівняння [3], то можна отримати наведений у ГЗТ струм. Цей струм буде синусоїдальним, оскільки наводиться синусоїдальними струмами фазних провідників ЛЕП. Знаючи діюче значення такого струму, можемо розрахувати втрати активної потужності в ГЗТ

$$P = I_{\text{ГЗТ}}^2 R_{\text{ГЗТ}}, \quad (7)$$

де $I_{\text{ГЗТ}}$ – діюче значення струму у ГЗТ.

Використовуючи формули (1) – (7) для ЛЕП напругою 330 кВ довжиною 100 км, виконаної на опорах типу ПС330-2 [4] з ГЗТ марки OPGW-136-AL-3/68-A20SA, при діючому значенні струму фази 700 А отримуємо діюче значення струму ГЗТ 28,5 А та втрати потужності в ГЗТ 16,3 кВт.

Висновки. Запропоновано метод розрахунку втрат потужності у ГЗТ повітряних ЛЕП, який враховує вплив струму ГЗТ на загальне магнітне поле ЛЕП. На основі даного методу можна розраховувати величини втрат потужності у ГЗТ з вбудованим оптоволоконним кабелем для ЛЕП, що проектується, а також під час виконання проектів по реконструкції діючих ЛЕП. Струм ГЗТ можна використовувати під час розрахунку магнітного поля ЛЕП [6].

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. – М.: Высшая школа, 1986. – 263 с.
2. Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
3. Кудрявцев Е.М. MathCad 2000 Pro. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 576 с.
4. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ. – М.: Папирус Про, 2003. – 640 с.
5. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. – М.-Л.: Энергия, 1967. – 407 с.
6. Щерба А.А., Резинкина М.М. Электромагнитные поля и их воздействие на объекты. – К.: Наукова думка, 2009. – 191 с.

7. *Правила устройства электроустановок.* – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
8. *Правила улаштування електроустановок.* Розділ 2. Передавання електроенергії. Глава 2.5. Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ. – К.: Міненерговугілля України, 2014.

УДК 621.311:621.315

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ГРОЗОЗАЩИТНОМ ТРОСЕ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

А.В. Красножон¹, канд.техн.наук, Р.А.Буйный¹, канд.техн.наук, И.В.Пентегов², докт.техн.наук

¹ – Черниговский национальный технологический университет,

ул. Шевченко, 95, Чернигов, 14027, Украина,

e-mail: red_john@ngs.ru, buinyiroman@gmail.com,

² – Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины,

ул. Боженко, 11, Киев, 03150, Украина,

e-mail: magn@i.com.ua.

Предложен новый подход к расчету наведенного тока и потерь мощности, возникающих в грозозащитных тросах со встроенным оптоволоконным кабелем, которые в последнее время используются для защиты воздушных ЛЭП от прямых ударов молнии. На примере ЛЭП напряжением 330 кВ с грозозащитным тросом указанного типа показано, что потери в нем могут быть значительными, что, в свою очередь, приводит к уменьшению эффективности передачи электроэнергии конечному потребителю. Данная проблема актуальна как при реконструкции существующих ЛЭП, так и на этапе проектирования новых. Библиограф. 8, рис. 1.

Ключевые слова: воздушная ЛЭП, грозозащитный трос, магнитная индукция, магнитный поток, наведенный ток, потери мощности.

CALCULATION OF ACTIVE POWER LOSSES IN THE GROUNDING WIRE OF OVERHEAD POWER LINES

A.V.Krasnozhan¹, R.O.Buinyi¹, I.V.Pentegov²

¹ – Chernihiv National University of Technology,

str. Shevchenka, 95, Chernihiv, 14027, Ukraine,

e-mail: red_john@ngs.ru, buinyiroman@gmail.com,

² – The E.O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine,

str. Bozhenka, 11, Kyiv, 03150, Ukraine,

e-mail: magn@i.com.ua

The new approach to calculating the induced current and power losses that occur in grounding wires with integrated fiber optic cable, which recently used for protection of overhead power lines from direct lightning strikes. For example, the overhead power line 330 kV with grounding wire of this type shows that the losses can be significant and are likely to reduce the efficiency of power transmission to the final consumer. This issue is relevant as the renovation of existing overhead power lines, and at the stage of development new overhead power lines. References 8, figure 1.

Key words: overhead power lines, grounding wire, magnetic induction, magnetic flux, induced current, power losses.

1. Bessonov L.A. Theoretical Foundations of Electrical Engineering. Electromagnetic field. – Moskva: Vysshaya shkola, 1986. – 263 p. (Rus)
2. Zeveke G.V., Ionkin P.A., Netushil A.V., Strahov S.V. Fundamentals of circuit theory. – Moskva: Energoatomizdat, 1989. – 528 p. (Rus)
3. Kudryavtsev E.M. MathCad 2000 Pro. – Moskva: DMK Press, 2001. – 576 p. (Rus)
4. Makarov E.F. Handbook of electric networks 0,4-35 kV and 110-1150 kV. – Moskva: Papirus Pro, 2003. – 640 p. (Rus)
5. Neiman L.R., Demyrchian K.S. Theoretical Foundations of Electrical Engineering. – Moskva-Leningrad: Energiia, 1967. – 407 p. (Rus)
6. Shcherba A.A., Rezinkina M.M. Electromagnetic fields and their effect on the objects. – Kyiv: Naukova dumka, 2009. – 191 c. (Rus)
7. Rules of Electrical Installation Arrangement. – Moskva: Energoatomizdat, 1987. – 648 p. (Rus)
8. Rules of Electrical Installation Arrangement. Chapter 2. The transmission of electricity. Path 2.5. The overhead power lines with voltage above 1 kV up to 750 kV. – Kyiv: Minenerhovuhillia Ukrainy, 2014. (Ukr)

Надійшла 04.02.2016
Остаточний варіант 10.05.2016