

УДК 621.315.62.027.3.004.1.

В. С. Собчук, к. т. н., проф.; Н. В. Собчук, к. т. н., доц.; Е. В. Слободянюк, к. п. н.

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРОЗОЗАЩИТЫ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Предложена методика и математическая модель для определения одной из составляющих технического показателя эффективности грозозащиты воздушных линий электропередачи – удельного количества ожидаемых аварийных отключений линии за грозовой сезон от прямых ударов в грозозащитный трос в середине пролета с учетом механических расчетов несинхронного раскачивания проводов в пролете.

Ключевые слова: задачи и критерии грозозащиты линии, тросовые молниеотводы, грозозащитный уровень по скорости нарастания тока молнии.

Эффективность грозозащиты воздушных линий электропередачи анализируют для таких характерных случаев поражения молнией:

- прямой удар в верхушку опоры с анализом условий обратного перекрытия изолированной подвески фазного провода (α_1);
- прямой удар в трос в середине пролета с анализом условий импульсного пробоя воздушного промежутка трос - провод фазы (α_2);
- прямой удар молнии вне троса в фазный провод в середине пролета (α_3).

Физические основы и алгоритм определения технического показателя эффективности грозозащиты воздушных линий электропередачи рассматривали во многих работах [1, 2, 3], и результаты подтверждены опытом эксплуатации. Недостаточно убедительны в этих работах аналитические зависимости для определения составляющей – удельного количества ожидаемых аварийных отключений линии за грозовой сезон от ударов молнии в трос в середине пролета и критического значения скорости нарастания тока молнии на фронте апериодического импульса. В этой работе дано более четкое обоснование критической величины этого параметра.

Результаты исследования

Авторы этой статьи предлагают более четкое обоснование определения критической величины скорости нарастания тока молнии на фронте. В результате удара молнии в трос в середине пролета между опорами импульсное напряжение на воздушном промежутке длиной S между тросом и проводом определяют с помощью схемы замещения, приведенной на рис. 1 а, где волновое сопротивление канала молнии принимаем вдвое меньше волнового сопротивления троса, а сопротивление заземления тросов на опоре не превышает 0,15.

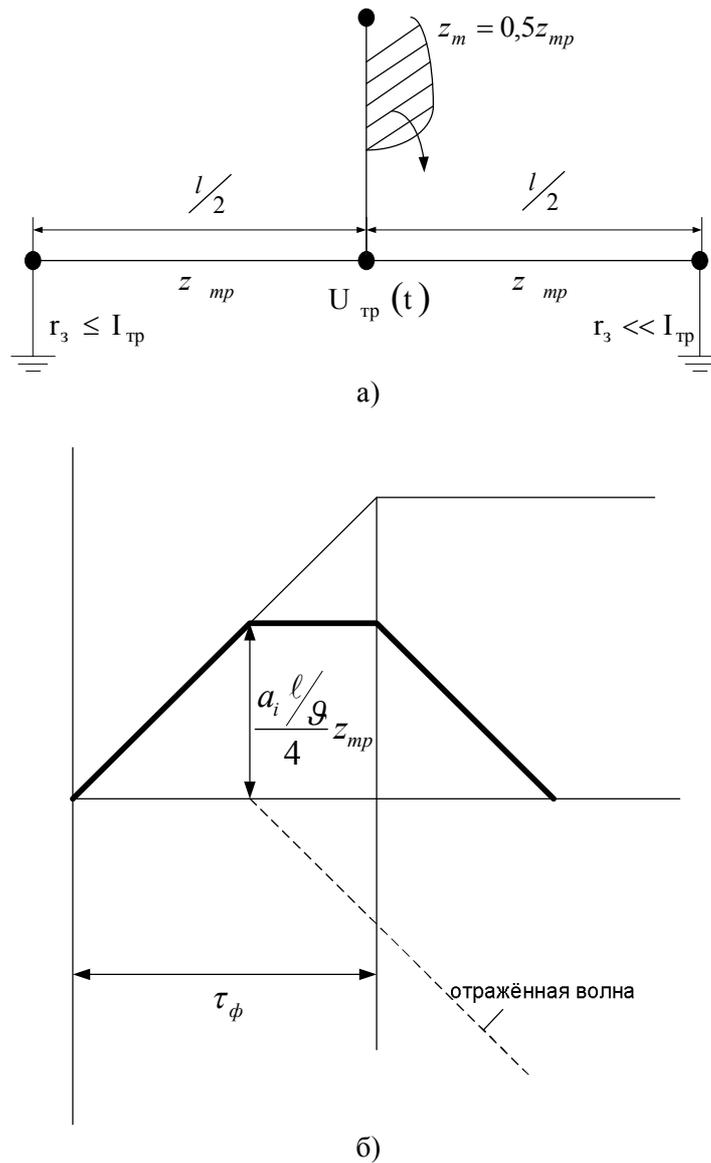


Рис. 1. а) – схема замещения удара молнии в трос в середине пролета; б) – напряжение в месте удара

До прихода отраженных от сопротивлений соседних опор волн напряжение на тросе определяют по формуле:

$$U_{TP}(t) = \frac{a_i \cdot t}{4} \cdot Z_{TP} \quad (1)$$

где a_i – средняя скорость нарастания тока на фронте при $t \leq \tau_\phi$; Z_{TP} – собственное волновое сопротивление троса с учетом импульсной короны, которая уменьшает его на 10 ÷ 50% по сравнению с геометрическим значением [4].

Через интервал времени $\tau = 2 \cdot \frac{l}{2} \cdot \frac{1}{v}$ отраженные от заземлителей опор волны с коэффициентом отражения $\beta_{21} \approx -1,0$ подходят к месту удара молнии в трос одновременно, и нарастание напряжения прекращается. Максимальное напряжение на тросе

$$U_{TP}(t = \tau_\phi) = \frac{a_i \cdot l / v}{4} \cdot Z_{TP} \quad (2)$$

зависит от скорости нарастания на фронте импульса тока a_i и длины провода l . Это напряжение удерживается на тросе в пределах длительности фронта.

Максимальное напряжение между тросом и проводом в середине пролета зависит от коэффициента связи трос-провод в динамическом режиме k_{δ}

$$U_{TP-PP} = a_i (1 - k_{\delta}) \cdot \frac{l \cdot v}{4} \cdot Z_{TP} \quad (3)$$

Условие электрического пробоя воздушной изоляции в промежутке S может быть определено по формуле:

$$U_{TP-PP} \geq E_{p.cep.} \cdot S, \quad (4)$$

где $E_{p.cep.}$ – средний разрядный градиент воздушного промежутка модели игла – против иглы составляет $E_{p.cep.} \approx 750$ кВ/м.

Механические расчеты при пляске проводов [5] показывают, что величина $S \geq 0,02l$, поэтому (4) принимает вид

$$U_{TP-PP} \geq 750 \cdot 0,02l = 15l. \quad (5)$$

Подстановка (5) в (3) позволяет определить критическую крутизну тока молнии $a_{i\text{кр.}}$:

$$a_{i\text{кр.}} \geq \frac{15l}{(1 - k_{\delta})} \cdot \frac{v}{1} \cdot \frac{4}{Z_{TP}} = \frac{45}{1 - k_{\delta}}, \quad (6)$$

где $v = 300$ м/мкс; $Z_{TP} = 400$ Ом.

Из (6) видно, что критическая крутизна зависит от коэффициента связи трос – провод в динамическом режиме k_{δ} .

Исследованию коэффициентов связи трос – провод в динамическом режиме посвящена работа [5]. Результаты этой работы:

- геометрический коэффициент связи трос – провод

$$k_{\Gamma} = \frac{\ln \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{11}}}{\ln \frac{2h_{cep}}{r}} = 0,1 \div 0,3;$$

- динамический коэффициент связи на 10÷50 % больше

$$k_{\delta} \approx 0,15 \div 0,45.$$

Подстановка k_{δ} в (6) позволяет определить $a_{i\text{кр.}}$:

$$a_{i\text{кр.}} \geq \frac{45}{1 - k_{\delta}} = 60 \div 90 \text{ кВ/мкс.}$$

Выводы

Предложена методика определения критической скорости нарастания тока молнии на фронте апериодического импульса, превышение которой приводит к пробоям воздушного промежутка между тросом и проводом в середине пролета.

Предложена аналитическая зависимость, в которой учтены механические расчеты минимального расстояния между тросом и проводом фазы в середине пролета при несинхронном раскачивании проводов.

Показано в математической модели, что критическая скорость нарастания тока молнии не зависит от расстояния между соседними опорами линии электропередачи, а зависит от коэффициента связи трос-провод в динамическом режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Г. Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды : [Учебное пособие для вузов] / Александров Г. Н. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1989. – 360 с.
2. Бриснякович А. Д. Расчет проводов подстанций и больших переходов ЛЭП / Бриснякович А. Д. – Л. : «Энергия», 1975. – 248 с.
3. Техника высоких напряжений. Учебник для студентов электротехнических и электроэнергетических специальностей вузов / [под общей ред. Д. В. Разевича]. – М. : Энергия, 1976. – 488 с.
4. Иерусалимов М. Е. Техника высоких напряжений / М. Е. Иерусалимов, Н. Н. Орлов; под общ. ред. М. Е. Иерусалимова. – Киев: Изд-во Киевского университета, 1967. – 444 с.
5. Черников А. А. Основы грозозащиты высоковольтных электроустановок / Черников А. А. – Куйбышев : Куйбышев. политехн. ин-т, 1971. – 112 с.

Собчук Валерий Степанович – к. т. н., профессор кафедры электрических станций и систем.

Собчук Наталья Валерьевна – к. т. н., доцент кафедры электрических станций и систем.

Слободянюк Елена Валерьевна – к. п. н., ст. преподаватель кафедры компьютерного эколого-экономического мониторинга и инженерной графики (КЭЭМИГ).

Винницкий национальный технический университет.