

УДК 621.313.315.1

Е. И. Кушкова, К. Д. Пестов

ПРИМЕНЕНИЕ НЕПОЛНОФАЗНОГО НАГРУЗОЧНОГО РЕЖИМА ВЛ 110 КВ ДЛЯ ПОФАЗНОЙ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА

В статье исследуется возможность применения неполнофазного нагрузочного режима воздушной линии электропередачи 110 кВ для пофазной плавки гололеда. Для определения возможности организации такого режима были проведены расчеты при отключении и заземлении с двух сторон фазы линии электропередачи. Выполненные расчеты позволили определить максимальную допустимую величину передаваемой мощности по двум оставшимся в работе фазам с точки зрения показателей качества электроэнергии и подтвердить, что для снижения недоотпуска электроэнергии потребителям для такой ВЛ целесообразно использовать неполнофазный нагрузочный режим. После оценки величины тока, протекающего по отключенной фазе, был сделан вывод о необходимости использовать дополнительный источник для увеличения этого тока. Разработана схема пофазной плавки гололеда методом наложения токов в которой в качестве источника дополнительного напряжения в предлагается использовать высоковольтную испытательную установку.

Ключевые слова: воздушная линия, неполнофазный нагрузочный режим, плавка гололеда.

Гололед – отложение льда на любых открытых поверхностях, в том числе на высоковольтных линиях, преимущественно с наветренной стороны, в результате намерзания капель переохлажденных осадков (дождя, мороси, ледяного дождя), выпадающих при отрицательной температуре окружающего воздуха [10]. В результате металл не выдерживает и происходит обрыв проводов, а опоры ломаются.

Несколько зим подряд обрывы проводов вследствие налипания снега и льда в Кировской области происходили неоднократно. Один из наиболее

тяжелых случаев был зарегистрирован в Юрьянском районе. Из-за налипшего гололеда провод провис до земли. Диаметр льда достигал нескольких сантиметров. Благодаря оперативным действиям персонала, линия была включена в работу в максимально короткие сроки.

Анализируя информацию по гололедообразованию в городе Кирове и Кировской области, можно сделать вывод, что, судя по тенденции последних лет, подобные происшествия могут, и будут случаться все чаще. Дело в том, что еще в конце 90-х наша область относилась к так называемому второму району по гололеду. То есть проблема существовала, но скорее в теории, чем на практике. Сейчас все изменилось. За последние годы в регионе появились зоны, которые специалисты относят уже к третьему, более сложному, району. Воздушные линии, расположенные в такой зоне, должны быть специально защищены. У них должна быть меньшая длина пролетов, более мощный провод и крепкие опоры. Естественно, заменить существующие линии на новые в короткие сроки невозможно. Значит, нужно бороться другими способами, а именно применять различные методы по плавке гололеда.

Существуют разнообразные работы, посвященные данной проблеме, разработаны различные методики ее решения [4-9, 13, 16, 21,22].

В [12, 14, 15] предлагается использовать неполнофазный нагрузочный режим работы (НФНР) ВЛ 110 кВ для повышения надежности электроснабжения потребителей. Однако этот режим возможно также использовать для пофазной плавки гололеда [15].

Для определения возможности организации такого режима были проведены расчеты для схемы электропередачи, приведенной на рис. 1. Линия электропередачи (ЛЭП) длиной 57 км выполнена проводом марки АС-185/43. При этом определялась максимальная величина мощности, передаваемой в НФНР, исходя из критерия качества напряжения у потребителя и допустимости токов в фазах и в нейтральных трансформаторов [3, 18-20]. Также была определена величина тока, протекающего по отключенной и заземленной фазе.

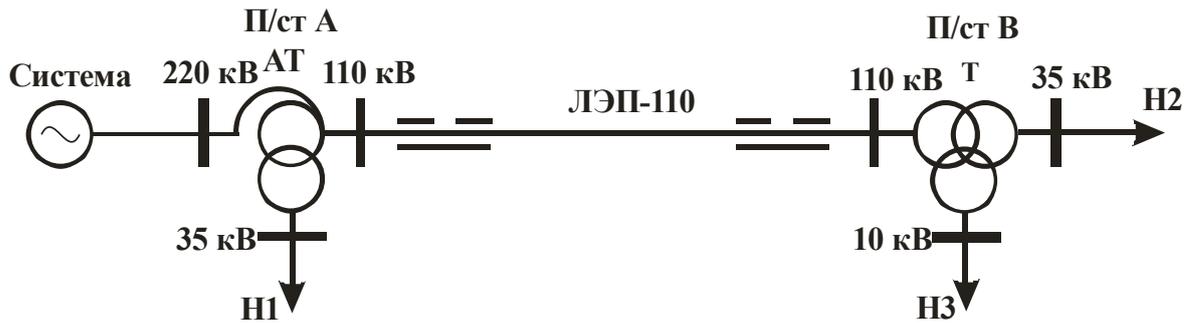


Рис. 1. Схема электропередачи при отключении с двух сторон фазы ЛЭП 110 кВ

Выполненные расчеты показали возможность использовать НФНР ВЛ 110 кВ для пофазной плавки гололеда без отключения потребителей, однако ток, наведенный при этом на отключенной фазе оказался пренебрежительно мал и недостаточен для плавки гололеда. Поэтому необходимо использовать дополнительный источник для увеличения этого тока.

Предлагается использовать способ плавки гололеда наложением токов. При этом способе на рабочий ток накладывается дополнительный ток, создаваемый в контуре, частью которого является обогреваемая линия. Для этого в контур включается источник ЭДС, значение и фаза которой подбирается таким образом, чтобы увеличить ток до требуемого значения [2], а также устанавливается заземление с обеих сторон обогреваемой фазы.

На рис. 2 представлена схема пофазной плавки гололеда токами наложения.

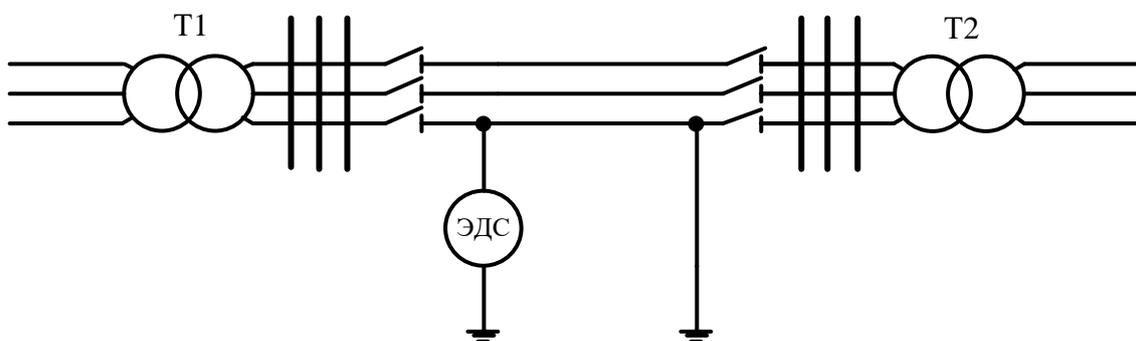


Рис. 2. Схема пофазной плавки гололеда методом наложения токов

Ток наложения рассчитывается по следующей формуле, А:

$$I_{\text{налож.}} = \frac{U_{\text{доп}}}{Z_{\kappa}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{доп}}$ – дополнительное напряжение, создаваемое в контуре, кВ;

Z_{κ} – полное сопротивление контура, Ом.

Согласно [9] ориентировочная величина тока плавки гололеда переменным током для сталеалюминиевого провода марки АС-185/43 составляет:

- 750 А при продолжительности плавки 30 минут;
- 600 А при продолжительности плавки 60 минут;
- 520 А при продолжительности плавки 100 минут.

Из формулы (1) необходимо определить дополнительное напряжение, создаваемое в контуре, для этого следует рассчитать полное сопротивление контура для пофазной плавки гололеда.

Ток нулевой последовательности воздушной линии возвращается через землю и по заземленным цепям, расположенным параллельно данной линии (защитные тросы, рельсовые пути вдоль линии и пр.). Главная трудность достоверного определения сопротивления нулевой последовательности воздушной линии связана с учетом распределения тока в земле; точное нахождение последнего в общем виде представляет собой весьма сложную проблему. Достаточно полное и строгое решение в предположении постоянства электрической проводимости земли и неограниченности ее размеров выполнено Карсоном. Установленные на основании его выводов приближенные формулы позволяют с достаточной для практики точностью вычислить отдельные составляющие и полное сопротивление нулевой последовательности воздушной линии при токах промышленной частоты и обычно встречающихся значениях проводимости земли [1].

Удельное сопротивление нулевой последовательности одноцепной трехфазной линии можно определить по формуле, Ом/км:

Технические науки

$$z_0 = r_0 + 0,15 + j0,435 \lg \frac{D_3}{R_{cp}}, \quad (2)$$

где r_0 – активное удельное сопротивление провода, Ом/км;

D_3 – эквивалентная глубина возврата тока через землю, м;

$R_{cp} = \sqrt[3]{r_3 \cdot D_{ab}^2}$ – средний геометрический радиус системы трех проводов линии, м;

$r_3 = 0,95 \cdot r$ – эквивалентный радиус для алюминиевых и сталеалюминевых проводов марки А, АС, АСО, АСУ, м;

D_{ab} – расстояние от провода фазы В до зеркального изображения провода фазы А, равное среднегеометрическому значению соответствующих расстояний трехфазной линии, которое для ЛЭП 110 кВ, показанной на рис. 1, равно 18,8 м;

r – истинный радиус провода. Для марки АС-185/43 равен $0,98 \cdot 10^{-2}$, м.

$$r_3 = 0,95 \cdot 0,98 \cdot 10^{-2} = 9,31 \cdot 10^{-3};$$

$$R_{cp} = \sqrt[3]{9,31 \cdot 10^{-3} \cdot 18,8^2} = 1,487;$$

$$z_0 = 0,156 + 0,15 + j0,435 \lg \frac{1000}{1,487} = 0,306 + j1,23.$$

$$|z_0| = 1,267.$$

Сопротивление нулевой последовательности одноцепной трехфазной линии равно полному сопротивлению контура, Ом:

$$Z_0 = Z_k = |z_0| \cdot I_W; \quad (3)$$

$$Z_0 = Z_k = 1,267 \cdot 57 = 72,219.$$

Зная ориентировочную величину тока плавки и полное сопротивление контура, можно определить дополнительное напряжение создаваемое в этом контуре из формулы (1) для самого тяжелого случая, когда ток плавки составляет 750 А при продолжительности плавки гололеда 30 минут, кВ:

$$U_{дон} = I_{налож.} \cdot Z_k; \quad (4)$$

$$U_{дон} = 750 \cdot 72,219 \cdot 10^{-3} = 54,164.$$

Далее необходимо определить источник дополнительного напряжения в контуре (ЭДС). В качестве такого источника предлагается использовать высоковольтную испытательную установку. Было рассмотрено большое количество таких установок компании «Электроприбор» г. Москва [11]. В качестве источника дополнительного напряжения была выбрана высоковольтная испытательная установка «РГК 110 НВ». Такая установка имеет регулируемое выходное переменное напряжение в диапазоне от 0 до 77 кВ, что в нашем случае достаточно для организации плавки гололеда.

Список литературы

1. Ульянов С. А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебник для электротехн. и энергет. вузов и фак-тов. М.: Энергия, 1970. 520 с.: ил.
2. Бургсдорф В. В., Никитина Л. Г. (ВНИИЭ), Никонец Л. А., Хрущ П. Р. (ЛПИ) МУ 34-70-027-82 Методические указания по плавке гололеда переменным током. Ч. 1. М., 1983.
3. Методические указания по расчету, экспериментальной проверке и переводу ВЛ 110 и 220 кВ с односторонним питанием в неполнофазный нагрузочный режим. М.: Союзтехэнерго, 1980.
4. Каганов В. И. Как расплавить лёд на проводах ЛЭП // Наука и жизнь. URL: <http://www.nkj.ru/archive/articles/14553/> (дата обращения 19.11.2016)
5. Борьба с гололедом – Эксплуатация воздушных линий электропередачи // Энергетика: оборудование, документация. URL: http://forca.ru/instrukcii-peksploatacii/vl/ekspluataciya-vozdushnyh-linii-elektroperedachi_4.html (дата обращения 12.11.2016).
6. Робот LineScout на линиях электропередач // Мир роботов Roboting.ru. URL: <http://roboting.ru/1253-robot-linescout-na-liniyah-yelektroperedach.html> (дата обращения 26.11.2016).
7. Российские учёные спасут провода от обледенения // S&TR наука технология. URL: http://www.strf.ru/material.aspx?CatalogId=387&d_no=53007#.WC61j9WLTcs (дата обращения 27.11.2016).
8. Система мониторинга интенсивности гололедообразования на проводах воздушных линий электропередачи и в контактных сетях. URL: <http://gridology.ru/projects/198> (дата обращения 13.11.2016).

9. Системы прогнозирования и мониторинга сброса гололёда // Энергетика: документация. URL: http://www.ruscable.ru/article/Sistemy_prognozirovaniya_i_monitoringa_sbrosa/ (дата обращения 13.11.2016).
10. Что такое гололед и гололедица // Gismeteo новости. URL: <https://www.gismeteo.ru/news/klimat/12735-cto-takoe-gololed-i-gololeditsa/> (дата обращения 12.11.2016).
11. Электронприбор // Установки для высоковольтных испытаний изоляции. URL: <http://www.electronpribor.ru/catalog/elektrotehnicheskoe-oborudovanie-diagnostika-i-remont/diagnostika-izolyatsii-elektrotehnicheskogo-oborudovaniya/ustanovki-dlya-ispytaniya-izolyatsii-silovyh-kabelej-i-tverdyh-dielektrikov/> (дата обращения 10.12.2016).
12. Бессолицын А. В., Кушкова Е. И., Петров Н. В. Использование неполнофазного нагрузочного режима ВЛ 110 кВ для повышения надежности электроснабжения потребителей // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2014. № 6. С. 38–42.
13. Каганов В. И. Борьба с гололедом в линиях электропередачи с помощью высокочастотной электромагнитной волны // Электро. 2010. № 5. С. 41–45.
14. Кушкова Е. И., Бессолицын А. В., Петров Н. В. Исследование неполнофазного нагрузочного режима работы ВЛ 110 кВ // Общество, наука, инновации: сб. докл. ежегод. всерос. науч.-техн. конф. ВятГУ. Киров, ВятГУ, 2012.
15. Мисриханов М. Ш., Рагозин А. А., Попов В. А., Кушкова Е. И., Александров В. Ф., Мокеев С. Ф. Экспериментальное исследование неполнофазных режимов работы оборудования // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2003. Вып. 3. С. 69–81.
16. Соловьев В. А., Черный С. П., Сухоруков С. И., Козин В. М. Автоматическая система удаления льда с проводов линий электропередач // Материалы IV междунар. студ. науч. форума (электронная конференция). Комсомольск-на-Амуре, 2012. С. 1–45.
17. Обзор новых технологий в энергетике Вып. 1. М.: Департамент технического развития ОАО «МРСК Центра», 2008. 11 с.
18. ГОСТ 11677-89 (1999). Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
19. ГОСТ 13109-97 (2002). Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
20. ГОСТ 14209-97. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов (МЭК 354-91).

Технические науки

21. Пат. 2356148 С1 Российская Федерация, МПК Н 02 G 7/16. Способ и устройство для борьбы с гололедом на линиях электропередачи / Каганов В. И., заявитель и патентообладатель Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет) (МИРЭА), Каганов Вильям Ильич – № 2008119101/09; заявл. 15.05.2008; опубл. 20.05.2009, Бюл. № 14; 13 с.: 7 ил.

22. Пат. 93184 Российская Федерация, МПК Н 02 G 7/16. Устройство для очистки проводов линий электропередач / Саттаров Р. Р., Исмагилов Ф. Р., Алмаев М. А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный авиационный технический университет». № 2009142495/22; заявл. 17.11.09; опубл. 20.04.2010. Бюл. № 11.

КУШКОВА Елена Игоревна – кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: etf_kushkova@vyatsu.ru

ПЕСТОВ Кирилл Дмитриевич – студент IV курса, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: kirill.pestov.93@mail.ru