

## УСТРАНЕНИЕ ПОСТОРОННИХ ТОНКИХ ПРОВОДНИКОВ С ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

А.С. Рогозин

(представил д.т.н., проф. Б.Ф. Самойленко)

*В статье рассматривается методика устранения токопроводящих элементов искусственного происхождения с токопроводящих частей линии электропередачи.*

**Постановка проблемы.** В связи с применением в вооруженных конфликтах конца XX века и начала XXI веков средств, способных инициировать короткие замыкания элементов энергосистем, возникает необходимость в разработке методов устранения посторонних проводников с токоведущих частей линий электропередачи.

**Анализ литературы.** Публикаций работ, в которых рассматривались вопросы устранения посторонних проводников с токоведущих частей линий электропередачи, образующих цепь короткого замыкания до настоящего времени нет. Это объясняется, прежде всего, отсутствием в нормальных эксплуатационных режимах такой необходимости, так как образование коротких замыканий большим количеством тонких проводников маловероятно. Исследование вопросов связанных с устранением посторонних проводников с токоведущих частей линий электропередачи связано с рассмотрением переходных процессов в линиях с распределенными параметрами, а также характеристиками дугового разряда. В работах [1 – 2] рассматривались переходные процессы линий с распределенными параметрами, в которых приведены различные подходы к исследованию переходных процессов. В работах [3 – 4] достаточно полно рассмотрены условия существования и характеристики электрической дуги. Вопросы перекрытия длинных воздушных промежутков рассматривались в [5 – 7].

**Цель статьи.** Разработка методики устранения посторонних проводников, с токоведущих частей линии электропередачи.

**Основная часть.** Наиболее предпочтительным способом устранения посторонних проводников с токоведущих частей линии электропередачи является электрический способ очистки. Преимущества электрического способа очистки токоведущих частей очевидны:

- электрический способ позволяет быстро производить очистку линий большой протяженности;
- с экономической стороны более предпочтителен, так как при его реализации может быть задействовано минимум материальных средств и людских ресурсов;
- позволяет полностью восстановить рабочее состояние линии электропередачи.

Применение электрического способа очистки должно быть безопасным для оборудования системы электроснабжения. Это заключается, прежде всего, в создании условий, исключающих образование электрической дуги, между токоведущими частями и заземленными элементами линии электропередачи, недопущению превышения тока в линии выше своего номинального значения.

Устранение проводников, образующих электрическую цепь между токоведущими частями и заземленными частями линии электропередачи, предлагается свести к выбору длительности и величины подаваемого напряжения на токоведущие части. Напряжение, подаваемое на токоведущие части, должно быть достаточным для обеспечения фазовых превращений материала проводников, то есть должно выполняться условие, согласно которому энергия, выделенная в проводнике за счет прохождения тока, должна быть равна энергии необходимой для фазового превращения материала проводника с учетом потерь энергии на теплообмен и тепловое излучение.

Для недопущения перекрытия воздушных промежутков электрической дугой, образованной в месте испарения тонкого проводника, величина подаваемого напряжения должна быть меньше напряжения, при котором максимальная длина дуги будет равна кратчайшему расстоянию между электродами замкнутыми тонким проводником. Величина напряжения, соответствующая определенной максимальной длине дуги может быть найдена из следующего уравнения:

$$U = \left( \frac{Rn^n(n+1)^{-n}}{a(1-1)} \right)^{\frac{1}{n+1}} \times R, \quad (1)$$

где  $a$  и  $n$  – постоянные (для рассматриваемого случая  $a \approx 120 - 140 \text{ В} \times \text{А}^n/\text{см}$  [6]);  $R$  – сопротивление цепи короткого замыкания.

Согласно (1) для линий сверхвысокого напряжения, у которых расстояния между токоведущими частями превышают 1 м., подача на токоведущие части 10 кВ, обеспечивает устранение цепи короткого замыкания, образованной посторонними тонкими проводниками без образова-

ния электрической дуги. Изменение тока во времени в начале линии с потерями разомкнутой и замкнутой на конце, к которой приложена постоянная эдс имеет следующий вид [2]:

$$i_p = E \left[ \sqrt{\frac{g_1}{R_1}} \times \text{th}(l\sqrt{R_1 g_1}) \right]; \quad (2)$$

$$i_3 = E \left[ \sqrt{\frac{g_1}{R_1}} \times \text{cth}(l\sqrt{R_1 g_1}) \right], \quad (3)$$

где  $R_1$  – активное сопротивление линии, Ом/м;  $g_1$  – проводимость утечки, Сим/м;  $l$  – длина линии, м.

Таким образом, контролируя величину тока потребляемого линией, можно судить о ходе устранения посторонних проводников с токоведущих частей линии электропередачи. Снижение тока потребляемого линией до значения, определяемого по (2), позволяет считать, что цепь короткого замыкания образованная тонкими проводящими нитями устранена. После устранения цепи короткого замыкания на токоведущих частях останется множество фрагментов поражающих элементов новых средств поражения. Эти фрагменты при подаче штатного напряжения на токоведущие части могут стать причиной возникновения коротких замыканий посредством ионизационных процессов в изоляционных промежутках. Соответственно для приведения линии электропередачи подвергшейся воздействию в рабочее состояние, необходимо проводить мероприятия по устранению посторонних проводников, оставшихся после ликвидации цепи короткого замыкания. Для устранения посторонних проводников необходимо рассматривать процессы, протекающие при перекрытии длинных воздушных промежутков. При одинаковом напряжении длина отрицательных стримеров значительно меньше, чем положительных, при отрицательном заряде на тонкой проводящей нити затруднено разогревание каналов стримеров и образование лидера [5]. Таким образом, для выжигания посторонних проводников с токоведущих частей линии электропередачи, подача напряжения положительной полярности более предпочтительна. Формирование лидера происходит менее чем за 1000 мксек [6], соответственно длительность подачи напряжения на токоведущие части для освобождения последних от посторонних проводников должна быть не менее 1000 мксек. Скорость удлинения канала лидера в начальной стадии развития пробоя составляет  $1 - 2 \times 10^6$  см/сек, на заключительном этапе развития скорость продвижения лидера возрастает до  $10^8$  см/сек. На рис. 1 представлены зависимости от времени, тока, длины и скорости положительного лидера в воздушном промежутке стержень плоскость [6].

На рис. 1 видно, что резкое увеличение скорости продвижения лидера происходит после  $3 \times 10^{-6}$  секунды после начала движения, а длина канала лидера составляет около 25 см, ток превышает 200 А.

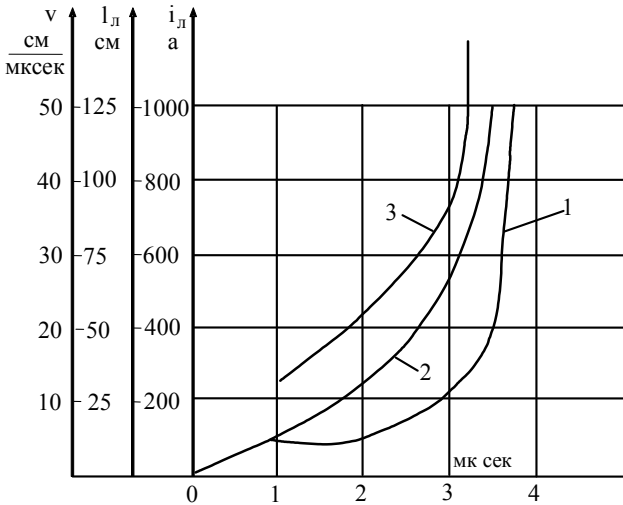


Рис. 1. Зависимость от времени тока (1), длины (2) и скорости (3) положительного лидера в воздушном промежутке при импульсе положительной полярности [6]

Таким образом, развитие лидерного процесса с посторонних тонких проводников приведет к быстрому разогреванию материала достаточного для фазовых превращений последнего. Минимальная длина воздушных промежутков линии, которые могут быть перекрыты лидерным процессом, имеют порядок нескольких метров. Соответственно для исключения возможности образования проводящего канала, способного привести к перекрытию разрядного промежутка, необходимо обеспечить длительность подведения мощности к линии не более чем на  $3 - 5 \times 10^{-6}$  сек. Напряжение, подаваемое на линию, должно быть постепенно доведено до номинального своего значения. Таким образом, можно перечислить условия, выполнение которых позволит привести в рабочее состояние линию электропередачи, подвергшуюся воздействию поражающих элементов новых средств поражения:

- 1) напряжение, подаваемое на токоведущие части линии электропередачи, должно иметь положительную полярность;
- 2) длительность действия напряжения должна быть не менее  $1 \times 10^{-3}$  с.
- 3) длительность подведения мощности к линии не должна превышать  $3 - 5 \times 10^{-6}$  с.

Напряжение на линии постепенно должно быть доведено до своего номинального значения. Подача импульсов напряжения может быть осуществлена при помощи генератора импульсных напряжений либо подачей штатного напряжения через разрядный промежуток, при условии подключения к началу линии дополнительной емкости. В силу ограничений, наложенных на объем статьи, вопросы связанные с выбором характеристик генератора импульсных напряжений и величины дополнительной емкости, будут опубликованы автором в следующих работах.

**Выводы.** 1. Устранение цепи короткого замыкания без образования дуги может быть произведено подачей на токоведущие части постоянного напряжения.

2. Контролирование хода устранения цепи короткого замыкания может осуществляться по изменению величины мощности, потребляемой линией.

3. Устранение фрагментов токопроводящих нитей оставшихся на токоведущих частях может быть произведено подачей импульсов напряжения положительной полярности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Ч. 1. – М.–Л.: Энергия, 1978. – 592 с.
2. Гинзбург С.Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. – М.: Высш. шк., 1967. – 386 с.
3. Майкопар А.С. Дуговые замыкания на линиях электропередачи. – Л.: Энергия, 1965. – 273 с.
4. Финкельбург В., Меккер Г. Электрические дуги и термическая плазма: Пер. с нем. – М.: Ин. лит., 1961. – 400 с.
5. Александров Г.Н. Сверхвысокие напряжения. – Л.: Энергия, 1973. – 175 с.
6. Александров Г.Н., Иванов В.Л., Кизеветтер В.Е. Электрическая прочность наружной высоковольтной изоляции. – Л.: Энергия, 1969. – 239 с.
7. Александров Г.Н. О механизме перехода коронного разряда в искровой в длинных воздушных промежутках. // Журнал технической физики. – 1965. – Т. 35, вып. 7. – С. 1225 – 1229.

Поступила 4.11.2004

**РОГОЗИН Анатолий Сергеевич**, преподаватель кафедры Харьковского университета Воздушных Сил. В 1995 году окончил ХВУ. Область научных интересов – энергетика.