

## **ПРИМЕНЕНИЕ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ НА ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ БЕЗ ТРОСОВ**

Э.Т. Красовская

(Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков)

*Произведена оценка эффективности установки ограничителей перенапряжения (ОПН) на линиях электропередачи высокого напряжения. ОПН целесообразно использовать для ограничения числа перекрытий изоляции линий при ударах молнии без грозозащитных тросов. Произведен выбор оптимального расстояния между соседними ОПН.*

### ***ограничитель перенапряжений, линии электропередачи, тросы***

**Целью работы** является оценка параметров ограничителей перенапряжений, используемых для повышения грозоупорности воздушных линий электропередачи (ЛЭП) без тросов.

В электрических системах ограничение переходной составляющей коммутационных перенапряжений и ограничение грозовых перенапряжений осуществляется нелинейными ОПН. ОПН могут быть использованы не только для защиты оборудования подстанций, но и для ограничения числа перекрытий изоляции линий при грозовых поражениях, в частности, на ЛЭП (в дальнейшем – линия) без грозозащитных тросов.

При ударе молнии в провод воздушной линии на нем увеличивается напряжение пропорционально величине тока молнии и волновому сопротивлению провода. От места удара молнии волна грозового перенапряжения распространяется в обе стороны с длиной фронта около 10 мкс.

При подходе волны грозового перенапряжения к опоре может произойти перекрытие изоляции, если максимальная амплитуда волны грозового перенапряжения превысит 50%-е разрядное напряжение изоляции линии на опоре. Расчеты показывают, что число отключений в год на 100 км линий без тросов достаточно велико, причем, наиболее ненадежными в этом плане являются линии 220 и 500 кВ [1].

Уменьшение числа отключений линии можно обеспечить путем установки ОПН между проводом и опорой. При установке ОПН на каждой опоре грозовые отключения линии от ударов молний в провода полностью исключаются. Однако, это очень дорого. Поэтому целесообразно оценить эффективность установки ОПН на расстояниях, превышающих длину пролета.

При ударе молнии в провод волна распространяется по линии, минуя опору с ОПН при напряжениях, меньших тех значений, при которых ток через ОПН оказывается сравнимым с током молнии. После этого волна отражается от места установки ОПН с переменной знака, уменьшая напряжение на линии. Напряжение отраженной волны определяется разностью напряжения падающей волны и остаточного напряжения на ОПН. Если молния поражает линию посередине участка между двумя ОПН, отраженная от ОПН волна достигает места поражения линии молнией за время  $\Delta t$ .

$$\Delta t = 0,5 \ell_0 / v, \quad (1)$$

где  $\ell_0$  – длина участка линии между двумя ОПН;  $v$  – скорость распространения волны. Отраженная волна достигает середины участка линии в момент максимума напряжения, когда

$$2\Delta t + \tau_\phi \cdot \frac{U_{\text{ост}}}{U_m} = \frac{\ell_0}{v} + \tau_\phi \cdot \frac{U_{\text{ост}}}{U_m} = \tau_\phi, \quad (2)$$

( $U_{\text{ост}}$  – величина остаточного напряжения;  $U_m$  – максимальная величина грозового перенапряжения,  $\tau_\phi$  – длина фронта импульса), откуда длина линии между двумя ОПН с учетом отраженной волны в момент максимума грозового перенапряжения, равна

$$\ell_0 = v \cdot \tau_\phi \cdot (1 - U_{\text{ост}}/U_m), \quad (3)$$

Принимая  $U_{\text{ост}} = 2\sqrt{2} \cdot U_{\text{фнр}}$  ( $U_{\text{фнр}}$  – наибольшее рабочее фазное напряжение),  $U_m = U_{50\%}$  ( $U_{50\%}$  – 50%-е разрядное напряжение изоляции линии) получаем соответствующую длину участка линии между двумя ОПН

$$\ell_0 = v \cdot \tau_\phi \cdot (1 - 2\sqrt{2} \cdot U_{\text{фнр}}/U_{50\%}) = 3000 \cdot (1 - 2\sqrt{2} \cdot U_{\text{фнр}}/U_{50\%}), \quad (4)$$

где  $v = 300$  м/мкс;  $\tau_\phi = 10$  мкс, а  $U_{50\%}$  определяется по экспериментальным кривым.

Расчеты показали, что для линий классов напряжения 110 – 750 кВ длина участка линии ( $\ell_0$ ) между двумя ОПН равна около 2 км. При увеличении максимума грозового перенапряжения увеличивается  $\ell_0$  и в пределе (при  $U_m \gg U_{\text{ост}}$ )  $\ell_0 = 3000$  м. С учетом этой зависимости можно принять в качестве среднего расчетного расстояния между соседними ОПН  $\ell_0 = 2$  км. Тогда вероятность перекрытия изоляции линии на опоре в середине этого участка определяется вероятностью возникновения тока молнии, соответствующего 50%-му разрядному напряжению изоляции линии. Для оценки 50%-х разрядных напряжений принята разрядная напряженность  $E = 600$  кВ/м.

Удары молнии в линию равновероятны в любой точке участка. Поэтому необходимо оценить изменение вероятности перекрытия изоляции линии при смещении удара молнии от середины участка длиной  $\ell_0$  на  $\Delta \ell$ . В этом случае отраженная волна от ОПН достигает места удара молнии за время

$$\Delta t = (0,5\ell_0 - \Delta \ell) / v, \quad (5)$$

а полное время достижения отраженной волной места удара с учетом (3) составит

$$t = 2\Delta t + \tau_{\phi} \cdot \frac{U_{\text{ост}}}{U_m} = \frac{\ell_0 - 2\Delta\ell}{v} + \tau_{\phi} \cdot \frac{U_{\text{ост}}}{U_m} = \tau_{\phi} \cdot \left[ 1 - \frac{2\Delta\ell}{\ell_0} \left( 1 - \frac{U_{\text{ост}}}{U_m} \right) \right]. \quad (6)$$

Это время меньше длины фронта импульса  $\tau_{\phi}$ . Поэтому при  $U_m = U_{50\%}$  волна не успеет возрасти до своего максимума и максимальное значение напряжения  $U_m$  будет меньше  $U_{50\%}$ .

Максимальное напряжение на линии достигает пробивного напряжения в том случае, если ток молнии  $I_M$  превысит ток  $I_{M0}$ , при котором происходит перекрытие изоляции линии при отсутствии ОПН. Из равенства  $U_m = U_{50\%} = I_{M0} \cdot Z$  ( $Z$  – эквивалентное волновое сопротивление линии) получим

$$I_M = I_{M0} \cdot \left( 1 - \left( \frac{I_0}{I_{M0}} \right) \right) / \left( 1 - 2\Delta\ell/\ell_0 \right). \quad (7)$$

Результаты вычисления вероятности перекрытия изоляции  $P_{\text{пер}}$  и  $P_{\text{пер}0}$  свидетельствуют о том, что с увеличением класса напряжения увеличивается ток молнии  $I_{M0}$ , увеличивается скорость уменьшения вероятности появления тока молнии, соответственно, уменьшается отношение  $P_{\text{пер}}/P_{\text{пер}0}$ . Вычисления показали, что при уменьшении расстояния между соседними ОПН вероятность перекрытия уменьшается очень быстро, и если при  $\ell_0 = 2$  км вероятность перекрытия уменьшается вдвое по сравнению с линией без ОПН, то при уменьшении расстояния до 1 км вероятность перекрытия изоляции уменьшается в 6 – 20 раз. Таким образом, установка ОПН на линиях без тросов эффективна. Наиболее целесообразна подвеска ОПН к проводу линии под гирляндой. Заземление нижнего конца ОПН можно произвести с помощью обычного сталеалюминиевого провода малого сечения, соединив его со стойкой опоры. Следует предусмотреть отсоединение ОПН от опоры при повреждении ОПН (при разрушении варисторов) и прохождении тока короткого замыкания через ОПН.

**Вывод.** На линиях электропередачи, не защищенных тросами, целесообразно устанавливать ОПН. Ограничение пропускной способности ограничителей перенапряжения при грозовых перенапряжениях определяется количеством параллельно подключенных ОПН.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Г.Н. *Режимы работы воздушных линий электропередачи.* – СПб.: Энергетики, 2002. – 322 с

Поступила 13.02.2006

**Рецензент:** кандидат технических наук, профессор И.Г. Шелепов,  
Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.