

УДК 621.316.9

**МОЛНИЕЗАЩИТА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ
РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ НАПРЯЖЕНИЯ**

Макаревич В.Н.

Научный руководитель – к.т.н. Дерюгина Е.А.

Молниезащита элементов энергосистем (линий, подстанций и высоковольтных электрических машин) имеет важное значение для устойчивой работы изоляции. Поэтому меры и мероприятия по обеспечению приемлемой молниезащиты должны отвечать требованиям ПУЭ и Руководства по защите электрических сетей. С повышением класса напряжения линии, как правило, увеличиваются ее длина, высота опор, а, следовательно, и вероятность поражения линии молнией. Для сравнения эффективности различных мероприятий по грозозащите линий электропередачи применяется ряд критериев.

Уровень грозоупорности. Под «уровнем грозоупорности» понимают тот наибольший расчетный ток I_m в хорошо заземленном объекте, возникающий вследствие прямого удара молнии типичной формы, при котором еще не перекрывается изоляция линии. По изменению уровня грозоупорности можно оценить влияние отдельного параметра схемы (например, сопротивления заземления опоры) на грозоупорность линии.

Кривая опасных токов молнии. При ударе молнии в вершину опоры или в трос вблизи опоры необходимо учитывать не один параметр, а несколько, например, сопротивление заземления опоры и ее индуктивность. При этом напряжение на гирлянде изоляторов будет зависеть не только от амплитуды I_m , но и от крутизны I_m тока молнии. Связь между опасными сочетаниями I_m и I_m отражается кривой опасных токов. Эта зависимость в отличие от уровня грозоупорности позволяет оценить влияние не одной, а двух характеристик линии (например, сопротивления заземления и индуктивности опоры) на надежность грозозащиты.

Показатель надежности грозозащиты. С помощью показателя надежности грозозащиты можно получить приближенную оценку числа лет безаварийной работы, т. е. величину, обратную математическому ожиданию числа отключений линии в год. Показатель τ позволяет сравнить эффективность различных грозозащитных мероприятий и схем. При оценке показателя надежности грозозащиты линии учитывается зависимость перекрытия линии от законов распределения амплитуды и крутизны токов молнии, а также от места удара молнии. Поэтому эффективность грозозащиты сначала определяют отдельно для следующих расчетных случаев поражения линии (рисунок 1).

Удар молнии в провод во многих случаях вызывает прямое перекрытие гирлянды изоляторов, что может привести к отключению линии. При ударе молнии в грозозащитный трос вблизи опоры практически весь ток первоначально устремляется в землю через эту опору, и такой случай можно рассматривать как удар молнии непосредственно в опору. Удар молнии в среднюю часть пролета троса приводит к распределению тока между

соседними опорами, что облегчает условия работы гирлянд изоляторов. Однако при этом на тросе в месте удара могут возникнуть перенапряжения, создающие опасность перекрытия воздушного промежутка между тросом и проводом в середине пролета. При ударе молнии вблизи линии, возникающие индуктированные перенапряжения существенно влияют только на число грозовых отключений линий напряжением до 110 кВ.

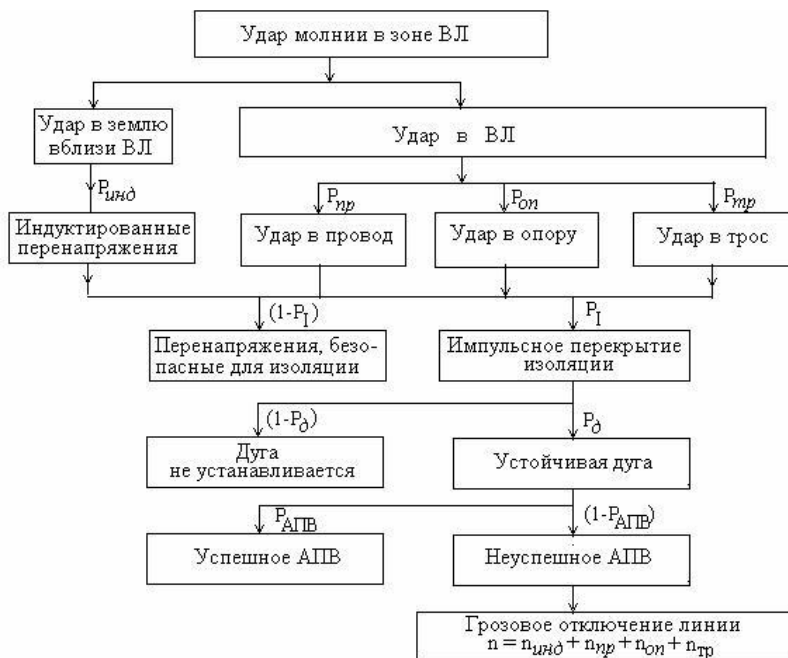


Рисунок 1 – Границы интервалов значений измеряемого параметра

Подвеска грозозащитных тросов, являющаяся основным грозозащитным мероприятием на линиях классов напряжения 110 кВ и выше, малоэффективна для линий 6–35 кВ, что вызвано низкой импульсной прочностью изоляции 6–35 кВ. Вследствие этого вероятность обратных перекрытий при ударах молнии в опору или в трос оказалась бы, при обычных значениях сопротивления заземления опор, весьма значительной. Поэтому линии 6–35 кВ сооружаются, как правило, без тросов. Исключение составляют лишь особо ответственные линии 35 кВ на металлических опорах.

Высокую надежность грозозащиты воздушных линий электропередачи обеспечивают следующие мероприятия:

- подвеска грозозащитных тросов с достаточно малыми углами защиты;
- снижение импульсного сопротивления заземления опор;
- повышение импульсной прочности изоляции линий и снижение вероятности установления дуги (в частности, использование деревянных траверс и опор;
- применение изолированной нейтрали или дугогасящего реактора;
- использование автоматического повторного включения линий.

Рассчитанные удельные числа грозовых отключений при различных видах поражения линии показывают, что порядок полученных оценок суммарного удельного числа отключений в основном согласуется с данными на основе опыта эксплуатации.

Линии напряжением 220 кВ и выше, как правило, сооружаются на металлических или железобетонных опорах. При этом основным средством грозозащиты являются тросы, располагаемые над фазными проводами, с достаточно малым углом защиты α . Угол защиты, в зависимости от высоты опор подбирается таким образом, чтобы уменьшить число прямых ударов молнии в фазные провода приблизительно на 2–3 порядка. Это условие обеспечивается обычно при $\alpha = 20\text{--}30^\circ$. Тем не менее, как показывает опыт эксплуатации, случаи прорыва молнии на провода являются определяющими в суммарном числе опасных грозовых поражений линий 330 кВ и выше, и наблюдается увеличение их числа с ростом номинального напряжения линии. Это связано с увеличением высоты опор и соответствующим снижением эффективности тросовой защиты, а также с возрастанием влияния электрического поля фазных проводов на направление развития лидера молнии. В целях сохранения высокой надежности тросовой защиты на линиях СВН и УВН рекомендуется применение тросов с отрицательными углами защиты.

Для уменьшения грозопоражаемости линии СВН чаще монтируют на опорах, имеющих горизонтальное расположение фаз (например, порталных). Это позволяет снизить общую высоту линий. Дополнительное снижение числа обратных перекрытий дает также использование опор, закрепленных металлическими оттяжками.

На порталных опорах, имеющих большое расстояние между крайними фазами, достаточно малый угол защиты обеспечивается путем подвески двух тросов, расположенных на одинаковой высоте.

При заземлении троса на каждой опоре возникают замкнутые контуры, в которых под влиянием магнитного поля рабочего тока наводятся ЭДС, и начинают протекать паразитные токи. Для уменьшения связанных с этим потерь электрической энергии тросы непосредственно присоединяют к заземленной опоре лишь на конце анкерного участка, а на промежуточных опорах подвешивают на одном-двух изоляторах, зашунтированных искровым промежутком. При грозовых перенапряжениях эти искровые промежутки пробиваются, и трос оказывается практически заземленным на каждой опоре.

Для эффективного отвода тока молнии в землю и предотвращения обратных перекрытий изоляции опоры линии снабжаются соответствующими заземлителями, снижающими импульсное сопротивление заземления каждой опоры до значения $R_{зи} = 10\text{--}20$ Ом. Более высокие значения сопротивления заземления опор допускаются лишь для линий, расположенных в районах с высоким удельным сопротивлением грунта ($\rho > 1000$ Ом·м). В грунтах с $\rho > 1000$ Ом·м желательно применять эффективные глубинные заземлители или, в крайнем случае, многолучевые заземлители длиной 20–30 м.

Дополнительным средством уменьшения грозопоражаемости линий 220 кВ и выше является использование АПВ.

Комплекс перечисленных средств обеспечивает сравнительно высокий уровень надежности грозозащиты линий СВН: удельное число грозовых отключений составляет 0,05–0,1 на 100 км и 100 гр.ч. Наиболее высокое удельное число грозовых отключений (на порядок большее, чем для других

линий) имеют двухцепные линии, смонтированные на опорах башенного типа. Большая высота опор обуславливает на этих линиях увеличение вероятности прорыва молнии мимо тросов, а также увеличение вероятности обратных перекрытий за счет роста индуктивности опоры

Отдельные места линий требуют дополнительных мер защиты. К таким местам относятся:

- пересечения линии электропередачи между собой;
- пересечения линий электропередачи с линиями связи, трамвайными линиями и линиями -электрифицированной железной дороги;
- опоры линии электропередачи со сниженной электрической прочностью изоляции;
- высокие опоры переходных пролетов;
- ответвления к подстанциям на отпайках и секционирующие разъединители на линиях;
- кабельные вставки па линиях.

Защита пересечений линий электропередачи вызвана необходимостью предотвратить тяжелые аварии в случае грозового перекрытия с верхней линии на нижнюю линию электропередачи или связи. Такие перекрытия могут вызвать ложную работу релейной защиты и системные аварии, повреждения электрооборудования линий более низкого напряжения и даже повлечь человеческие жертвы. Наибольшую опасность представляет удар молнии в пролет пересечения. Расстояние между проводами пересекающихся линий в этом пролете должно быть достаточно большим, а амплитуда перенапряжений ограничена разрядниками, расположенными как можно ближе к месту пересечения, поэтому в пролете пересечения целесообразно снять грозозащитный трос с нижней линии и выбрать точку пересечения дальше от середины пролета верхней линии. Если расстояние от места пересечения до ближайшей опоры не превышает 40 м, то разрядники можно устанавливать только на ближайшей опоре. На линиях до 35 кВ, имеющих устройство АПВ, вместо разрядников допускается установка защитных промежутков. Сопротивление заземления опор пролета пересечения не должно быть выше 10–20 Ом. Если опоры деревянные, то на них рекомендуется устанавливать параллельно гирляндам разрядники или искровые промежутки, соединенные спусками с заземлителями опоры.

Необходимое расстояние по вертикали между проводами пересекающихся линий зависит от номинального напряжения верхней линии, сопротивления заземления опор, длины пролета и расстояния между местом пересечения и ближайшей опорой. Установка защитных средств позволяет уменьшить расстояние на 20–30 %.

Отдельные металлические и железобетонные опоры линий, выполненных, главным образом, на деревянных опорах без тросов, представляют собой место со сниженной импульсной электрической прочностью изоляции. Эти места целесообразно защитить трехфазными комплектами разрядников.

Высокие переходные пролеты ВЛ являются источником повышенного числа грозовых поражений. Это связано с большой высотой опор и проводов

над землей, что приводит к увеличению числа ударов молнии в пролет, снижению эффективности защиты тросом, увеличению числа обратных перекрытий из-за большой индуктивности опор. Снижение импульсного сопротивления заземления переходных опор в этом случае становится недостаточным.

Расчет ожидаемого числа отключений ЛЭП с высокими переходными пролетами затруднен необходимостью учета сложного рельефа местности под пролетом и большой разницы высоты провода над землей на отдельных участках пролета, поэтому грозозащита ответственных пролетов рассматривается индивидуально. Как показывают расчеты, наиболее эффективным видом защиты высоких переходов является установка РВ или ОПН в верхней части переходных опор или на опорах, соседних с переходными

Литература

1. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения / Под ред. И.А. Баумштейна, С.А. Бажанова. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 768 с.
2. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: Т. 1. Электроснабжение / Под общ. ред. А.А. Федорова. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 568 с.
3. Костенко, М.В. Электрические станции и сети. Т. 13. Грозозащита подстанций и электрических машин высокого напряжения / Итоги науки и техники. – М. : ВИНТИ, 1987. – 84 с.
4. Базуткин, В.В. Техника высоких напряжений: изоляция и перенапряжения в электрических системах / В.В. Базуткин, В.П. Ларионов, Ю.С. Пинталь. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 464 с.
5. Ларионов, В.П. Молниезащита / В.П. Ларионов // Электричество. – 1999. – № 4, 7, 9.