

## Грозозащита воздушных линий электропередачи

Воздушная линия электропередачи (ВЛЭП) является самым протяженным элементом электрической системы. Это и наиболее распространенный элемент системы, который наиболее часто подвергается ударам молнии. Статистика аварий в энергосистемах показывает, что 75-80 % аварийных отключений воздушных линий электропередачи связаны с грозовыми отключениями.

### Физика разряда молнии

Молния - разновидность газового разряда при очень большой длине искры. Общая длина канала молнии достигает нескольких километров, причем значительная часть этого канала находится внутри грозового облака.

Для возникновения грозы необходимы, во-первых, сильные восходящие потоки воздуха и, во-вторых, требуемая влажность воздуха в пределах грозовой зоны.

Восходящие потоки воздуха возникают вследствие нагрева прилегающих к поверхности земли слоев воздуха и термически обусловленного теплообмена этих слоев с охлажденным воздухом на большой высоте.

В облаке образуется несколько изолированных друг от друга скоплений зарядов (в нижней части облака скапливаются преимущественно заряды отрицательной полярности), молния бывает обычно многократной, т.е. состоит из нескольких единичных разрядов, развивающихся по одному и тому же пути.

Точный механизм разделения зарядов в грозовом облаке все еще остается во многом неясным. Однако наблюдения показывают, что разделение зарядов совпадает с замерзанием капель воды в облаке.



Допустимое число отключений воздушных линий электропередачи в результате ударов молнии

Технико-экономический анализ показывает, что выполнить воздушные линии электропередачи абсолютно грозозащищенной нельзя. Приходится сознательно идти на то, что воздушные линии электропередачи какое-то ограниченное число раз в год будет отключаться. В задачу грозозащиты линий электропередачи входит снижение до минимума числа грозовых отключений.

Допустимое число отключений воздушной линии электропередачи в год  $N_{\text{доп.откл.}}$  определяется из условий:

- а) надежного электроснабжения потребителей,
- б) надежной работы выключателей, коммутирующих воздушных линий электропередачи и рассчитывается по формуле:

$$N_{\text{откл доп}} = N_{\text{доп}} \frac{1}{1 - \beta_{\text{АПВ}}},$$

где  $N_{\text{доп}}$  - число допустимых перерывов в электроснабжении по линии в год ( $N_{\text{доп}} \leq 0,1$  при отсутствии резервирования и  $N_{\text{доп}} \leq 1$  при наличии резервирования),  $\beta$  - коэффициент успешности АПВ, равный 0,8-0,9 для линий 110 кВ и выше на металлических и железобетонных опорах.

Автоматическое повторное включение (АПВ) может удержать линию в работе, так как случаи повреждения изоляции на опорах дугой достаточно редки. В этом случае грозовое поражение не будет сопровождаться перерывом в электроснабжении. При неуспешном АПВ произойдет полное отключение линии электропередачи.

Следует отметить, что частое применение АПВ осложняет эксплуатацию выключателей, требующих в этом случае внеочередной ревизии. Исходя из этого, допускается иметь

$N_{\text{доп.откл}} = 1 - 4$  в зависимости от типа выключателей. Для особо важных линий это число отключений должно быть уменьшено.



Ожидаемое число грозовых отключений воздушной линии электропередачи

Ожидаемое число грозовых отключений линии в первую очередь определяется интенсивностью грозовой деятельности в районе прохождения трассы линии. Ориентируясь на средние цифры, принято считать, что на 1 км земной поверхности за один грозовой час приходится 0,067 удара молнии. С учетом того, что линия собирает на себя все удары с полосы шириной  $6h$  ( $h$  - средняя высота подвеса провода или троса), число  $N$  поражений молнией линии длиной  $l$  за год равно

$$N = 0,067 \times n \times 6h \times l \times 10^{-3},$$

где  $n$  - число грозовых часов в году.

Число перекрытий изоляции воздушных линий электропередачи определяется по формуле

$$N_{\text{пер}} = N \times P_{\text{пер}},$$

где  $P_{\text{пер}}$  - вероятность перекрытия изоляции линии при данном токе молнии.

Не всякое импульсное перекрытие изоляции сопровождается отключением линии, так как для отключения необходим переход импульсной дуги в силовую. Вероятность перехода зависит от многих факторов, и в инженерных расчетах ее принято определять через градиент рабочего напряжения вдоль пути перекрытия  $E_{\text{сп}} = U_{\text{раб}} / L_{\text{пер}}$ , кВ/м.



Для линий на деревянных опорах с длинными воздушными промежутками вероятность перехода в импульсную дугу  $h$  определяется по формуле

$$\eta = (1,5E_{CP} - 4) \cdot 10^{-2}$$

Для линий на металлических и железобетонных опорах  $h = 0,7$  при напряжении линии до 220 кВ и  $h=1,0$  для номинальных напряжений 330 кВ и выше.

Умножая  $N_{пер}$  на коэффициент  $\eta$ , можно подсчитать ожидаемое число грозových отключений линии в год

$$N_{откл} = N \cdot P_{пер} \cdot \eta.$$

В инженерной практике обычно используется удельное число отключений линии поткл, т. е. число отключений линии длиной 100 км, проходящей в районе с числом грозových часов в году - 30:

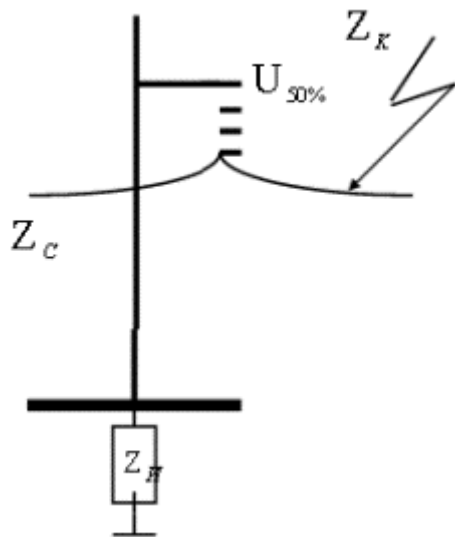
$$n_{откл} = 1,2h \cdot P_{пер} \cdot \eta.$$

Для уменьшения числа грозových отключений линии можно:

- уменьшить вероятность перекрытия изоляции при ударах молнии, что обычно достигается на воздушных линиях электропередачи с металлическими опорами подвеской тросовых молниеотводов и обеспечением малого импульсного сопротивления заземления опор и тросов,
- удлинять путь перекрытия с малым градиентом рабочего напряжения, что снижает коэффициент  $h$  перехода импульсной дуги в силовую. Последнее реализуется на воздушных линиях электропередачи с деревянными опорами.

Влияние исполнения грозозащиты

Воздушные линии электропередачи на металлических (железобетонных) опорах без грозозащитного троса.



При поражении провода в месте удара включается сопротивление, равное половине волнового сопротивления провода  $Z$  .