



МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ

Выполнено моделирование грозовых перенапряжений воздушных линий при ударе молнии в опору воздушной линии. Исследована очередность перекрытия изоляции фаз опоры воздушной линии. Исследованы варианты расстановки ОПН на опорах воздушных линий.

Воздушная линия, опора, грозовые перенапряжения, моделирование.

Удар молний в опору воздушных линий (ВЛ) или грозозащитный трос может привести к перекрытию изоляции опоры. На проводах возникает волна перенапряжения, представляющая опасность для электрооборудования электрической подстанции. Кроме того, возможно возникновение устойчивой дуги, которая ведет к короткому замыканию с последующим отключением ВЛ. Для защиты от перенапряжений используют ОПН (ограничитель перенапряжения нелинейный). Они включаются между проводами и опорой ВЛ. В нормальном режиме сопротивление ОПН очень велико (он «закрыт»), при перенапряжениях сопротивление ОПН резко снижается (он «открывается»), тем самым обеспечивается стекание сверхтоков через заземлитель опоры в землю.

Целью работы является моделирование грозовых перенапряжений, возникающих при ударе молнии в опору ВЛ, а также выбор оптимального количества и расположения ОПН. Будем решать данную задачу в программе «ЗУМ» [1]. Программа обладает возможностями 2D- и 3D-моделирования и визуализации результатов в AutoCAD [2].

Расчетная модель представляет собой линию 110 кВ с пятью опорами и одним грозозащитным тросом (рис. 1).

Расстояние между опорами 200 м. Чтобы исключить отражения, линия продлена в обе стороны на 1 км. Модель ОПН представляет собой нелинейное сопротивление с заданной вольт-амперной характеристикой. Изоляция моделируется ключом. Когда напряжение на гирлянде изоляторов превысит напряжение вольт-секундной характеристики изоляций, ключ замыкается. Линейный импульс тока молнии 100 кА с фронтом 10/350 мкс вводится в вершину центральной опоры.

Выполним расчет потенциалов центральной опоры и ее проводов в хорошо проводящем ($\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) и плохо проводящем ($\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) грунте (рис. 2). По рисунку 2а видно, что в хорошо проводящем грунте напряжение на проводах растет за счет наведенного напряжения троса, однако перекрытия изоляции не происходит. Можно сделать вывод, что в таком грунте опасности для электрооборудования электрической подстанции нет.

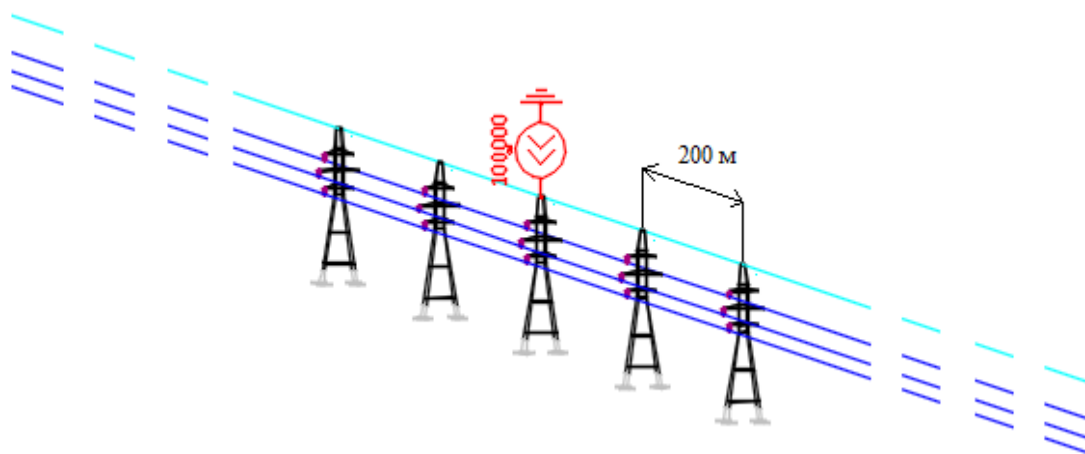


Рис. 1. Модель ВЛ 110 кВ при ударе молнии

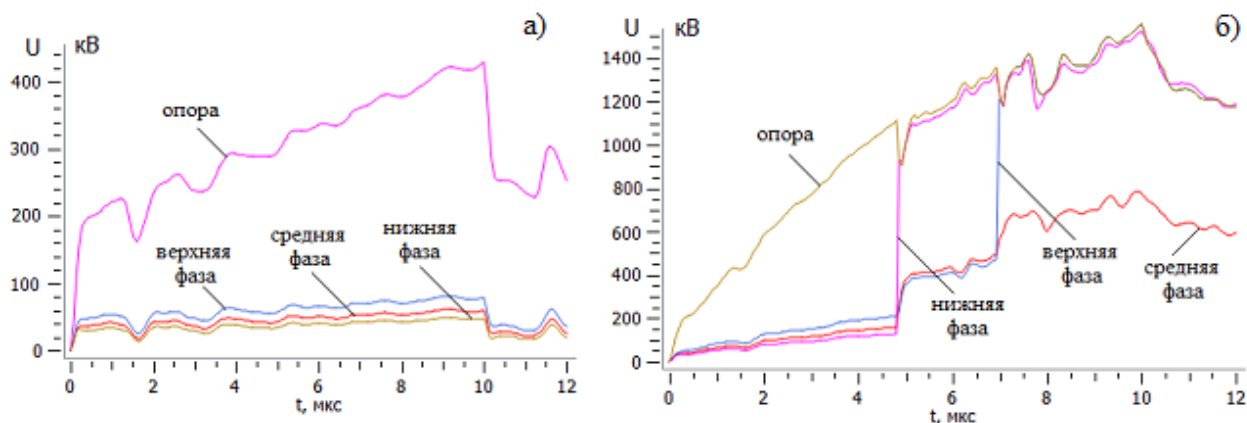


Рис. 2. Потенциалы проводов и опоры ВЛ при ударе молнии с током 100 кА в вершину опоры:
а) $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; б) $\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

В плохо проводящем грунте (рис. 2б) первой перекрывается нижняя фаза (момент времени 4,8 мкс). Затем перекрывается верхняя фаза (момент времени 7 мкс). Средняя фаза перекрыться не успела, поскольку ток молнии растет только до 10 мкс.

Рассмотрим три способа расстановки ОПН, рекомендованных в [3]. Все ОПН устанавливаются параллельно гирлянде изоляторов.

1. Установим ОПН через одну опору в каждую фазу. Выполним моделирование удара молнии в центральную (незащищенную) опору. Результат представлен на рисунке 3.

Результат моделирования практически не отличается от результата на рисунке 2а (без ОПН). Это связано с тем, что опоры расположены слишком далеко друг от друга, поэтому ОПН соседних опор не оказывают влияния на перекрытие незащищенной опоры.

2. Установим ОПН в верхние и нижние фазы всех опор. Результат представлен на рисунке 4.

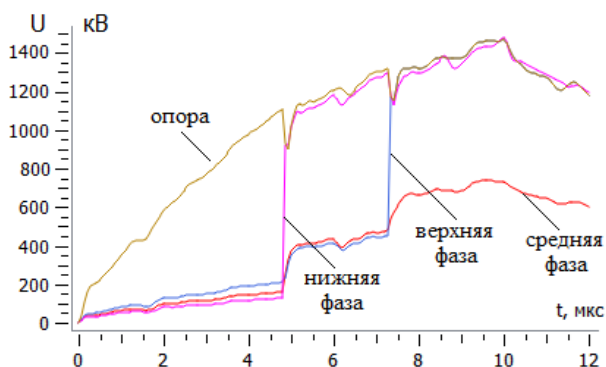


Рис. 3. Потенциалы проводов и центральной опоры при ударе молнии (ОПН во всех фазах через одну опору)

По рисунку видим, что верхняя и нижняя фазы теперь не перекрываются. Средняя фаза перекрывается в момент времени 8,5 мкс. Это близко к фронту тока волны (10 мкс). При меньших токах молнии или при грунте с большей проводимостью эта фаза перекрыться не успеет.

3. Установим ОПН во все фазы всех опор. Результат представлен на рисунке 5.

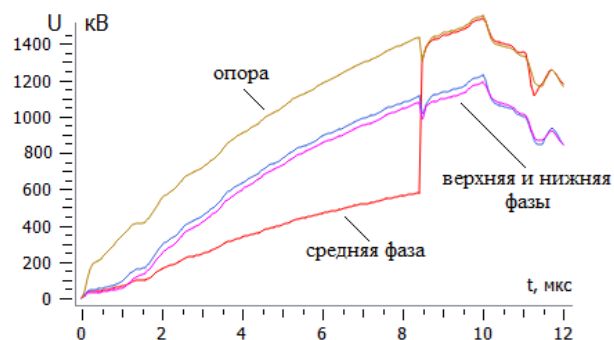


Рис. 4. Потенциалы проводов и центральной опоры при ударе молнии (ОПН в верхних и нижних фазах всех опор)

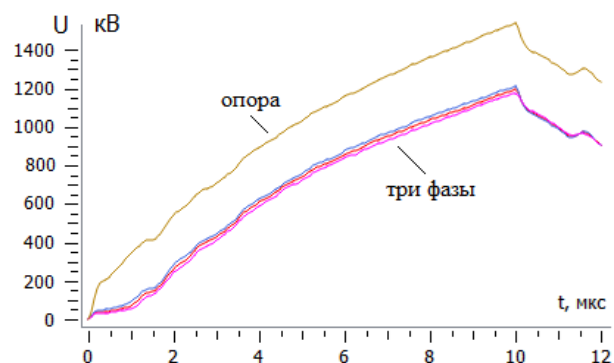


Рис. 5. Потенциалы проводов и центральной опоры при ударе молнии (ОПН во всех фазах всех опор)

При такой расстановке все три фазы не перекрываются. Этот способ защиты является универсальным для всех типов линий. Он исключает короткие замыкания, вызванные перекрытиями изоляций опор.

Выполним моделирование удара молнии в опору в схемотехнической программе АТР-ЕМТР (далее ЕМТР). Расчетная модель в этой программе представляет собой цепную схему (рис. 6).

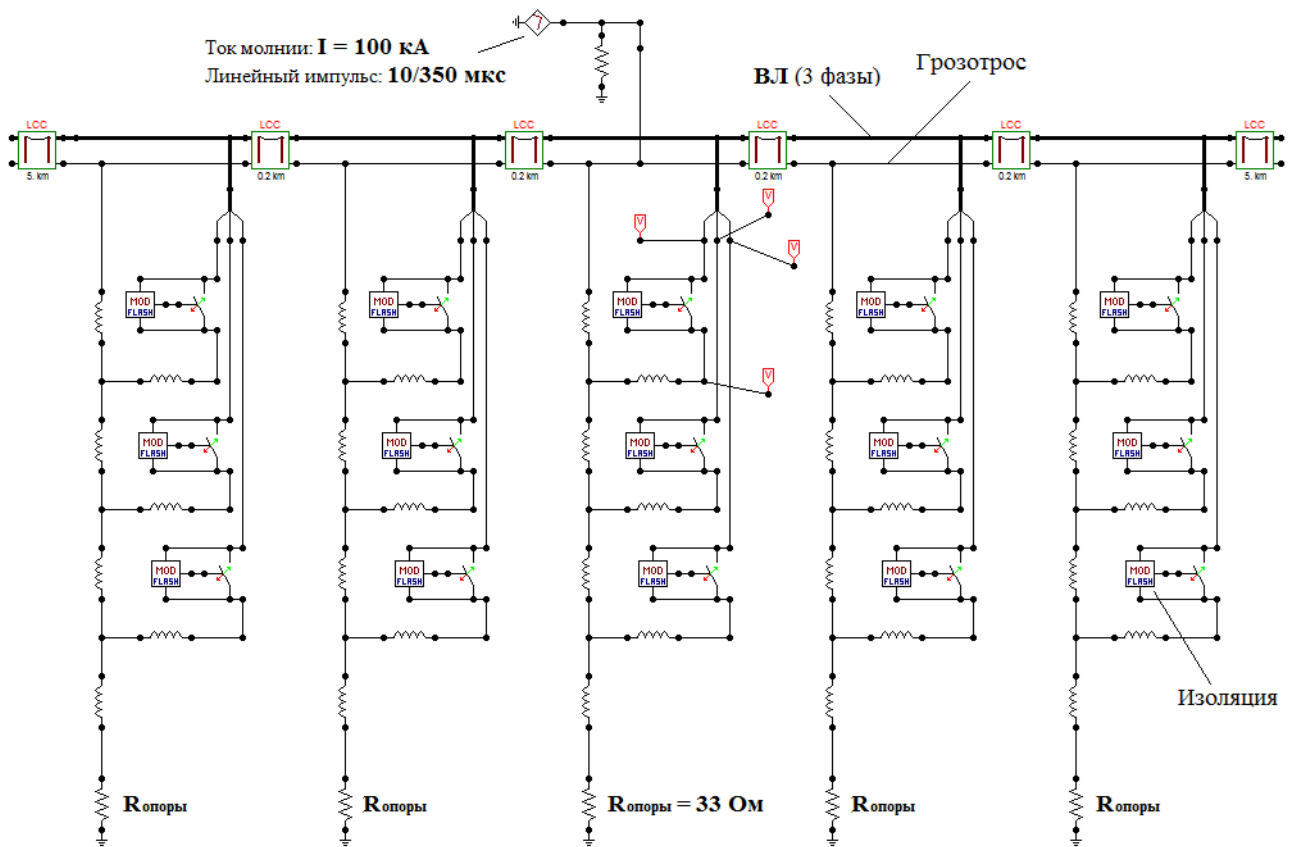


Рис. 6. Расчетная модель ВЛ 110 кВ в EMTP

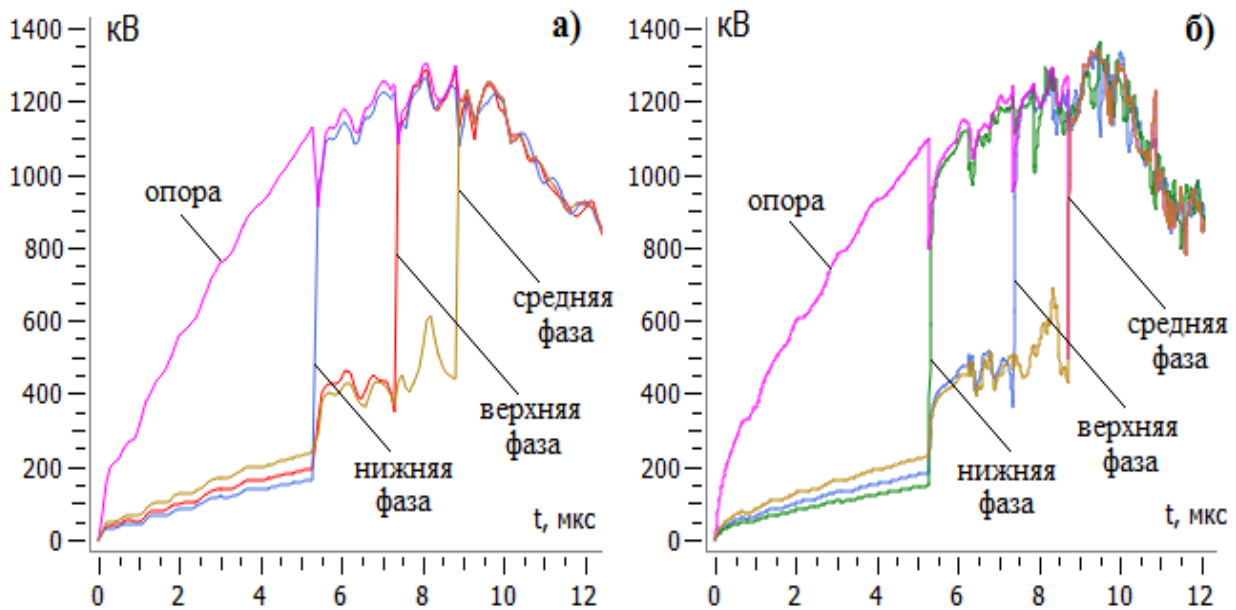


Рис. 7. Сравнение результатов моделирования ВЛ 110 кВ в двух ПО:
а) ЗУМ; б) EMTP

Все параметры данной схемы замещения должны быть заданы вручную, в отличие от программы ЗУМ, где собственные и взаимные сопротивления, индуктивности, емкости стержней считаются автоматически. Изоляция и ОПН моделируются аналогично программе ЗУМ. Пролеты моделируются «длинными линиями», опоры состоят из индуктив-

ностей примерно по 1 мкГн/м. Сопротивление заземлителя опоры 33 Ом было предварительно сосчитано в ЗУМ и введено в модель EMTP (в EMTP сопротивление заземлителя не сосчитать).

Расчеты по программам ЗУМ и EMTP полностью совпали (рис. 7), что говорит о достоверности результатов моделирования.

Таким образом, выполнено моделирование грозовых перенапряжений воздушных линий в программах ЗУМ и ЕМТР. В хорошо проводящем грунте ($\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) перекрытий изоляции опоры не происходит. Опасность представляют только плохо проводящие грунты ($\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$). Установка ОПН во все фазы всех опор полностью защищает воздушную линию от перенапряжений, но бывает экономически нецелесообразна. ОПН, установленные через одну опору во все фазы, не защищают соседние опоры. ОПН в верхних и нижних фазах всех опор позволяют существенно снизить количество перекрытий, поскольку средняя фаза перекрывается реже всего в линиях с молниезащитными тросами.

Литература

1. Шишигин, Д. С. Расчет заземления и молниезащиты в программе «ЗУМ»: учебное пособие / Д. С. Шишигин, С. Л. Шишигин. – Вологда : ВоГУ, 2018. – 79 с.
2. Шишигин, Д. С. К выбору технологии интеграции прикладного программного обеспечения с САПР / Д. С. Шишигин // Труды СПИИРАН. – 2016. – № 4 (47). – С. 211–224.
3. Дмитриев, М. В. Применение ОПН для защиты изоляции ВЛ 6-750 кВ / М. В. Дмитриев. – Санкт-Петербург : Издательство Политехнического университета, – 2009. – 92 с.

D.S. Shishigin
Vologda State University

MODELING OF TRANSMISSION LINES LIGHTNING OVERVOLTAGE

The simulation of lightning overvoltage of transmission lines when lightning strikes a transmission line tower is performed. The sequence of the phase insulation back flashover of the transmission line tower is analyzed. The options of the surge arresters placement on the overhead lines towers are investigated.

Transmission line, tower, lightning surges, modeling.