

УДК 621.3

А.Г.Шпаков (6 курс, каф. ИЭиТВН), В.В.Титков, д.т.н., проф.

## СИНТЕЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫРАВНИВАЮЩИХ ЭКРАНОВ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Применение выравнивающих экранов в высоковольтной электротехнике является давно и хорошо известным методом снижения локальных максимумов напряженности электрического поля на электродах, обусловленных присутствием конструктивных элементов с малым радиусом кривизны [1]. Принцип действия выравнивающих экранов основывается на приближении геометрии высоковольтного электрода сферической форме. Основными критериями качества выбора геометрии экрана обычно в литературе называют: 1) достижение наибольшей степени однородности распределения электрического поля по высоте изоляционной конструкции; 2) снижение максимальных значений напряженности на электродах до безопасного уровня [1]. Первый критерий, очевидно, должен приводить к снижению максимальной напряженности поля в силу неизменности интеграла от напряженности электрического поля по высоте изоляционной конструкции  $\int \vec{E} d\vec{l} = U = const$ , что, строго говоря, справедливо, если интегрирование ведется по силовой линии, которая не обязательно совпадает с образующей линией цилиндрической изоляционной конструкции ограничителя перенапряжений. Вместе с тем, практика показывает, что нет существенных оснований не доверять данному критерию, поскольку отклонение образующих от силовых линий для изоляторов с большим отношением высоты к диаметру минимальны.

Условия работы ограничителя перенапряжений существенным образом отличаются от обычной опорной изоляционной конструкции благодаря наличию внутри изоляционного корпуса нелинейного резистора, по которому при рабочем напряжении протекает ток порядка 1 мА, имеющий преимущественно емкостной характер. При этом в силу высокой диэлектрической проницаемости варисторной керамики, достигающей  $1500 \epsilon_0$ , продольный емкостной ток в варисторной колонке преобладает над токами поперечной емкостной утечки. В этих условиях распределение электрического поля в варисторной колонке будет близко к однородному. В случае преобладания активного тока (например, в момент срабатывания ограничителя) напряжение вдоль варисторной колонки будет распределяться в соответствии с вольт-амперной характеристикой варисторных дисков. Если варисторы обладают одинаковой ВАХ, что практически имеет место, то напряжение вдоль колонки вновь будет распределяться однородно. Таким образом, модель электростатики позволяет анализировать распределение напряженности электрического поля в конструкции ограничителя перенапряжений для всех режимов его работы.

Расчет напряженности электрического поля ведется на основе решения уравнения Лапласа для электрического потенциала  $U$ , которое для условий, характерных для ОПН, неоднородного распределения электрофизических характеристик (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ ) записывается в виде

$$\operatorname{div}(\epsilon \nabla U) = 0. \quad (1)$$

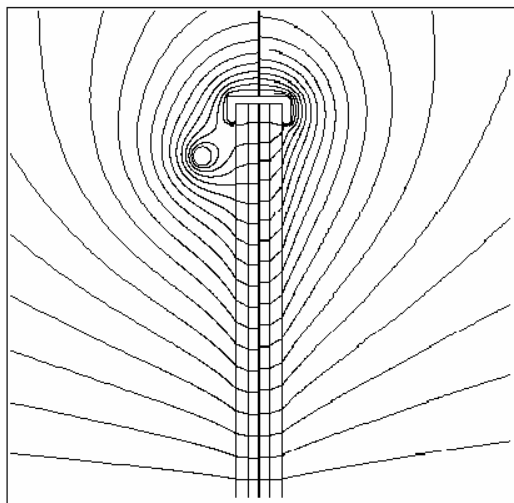


Рис. 1. Картина электрического поля – линии равного потенциала в модельной конструкции ОПН без выравнивающего экрана (справа) и с экраном (слева)

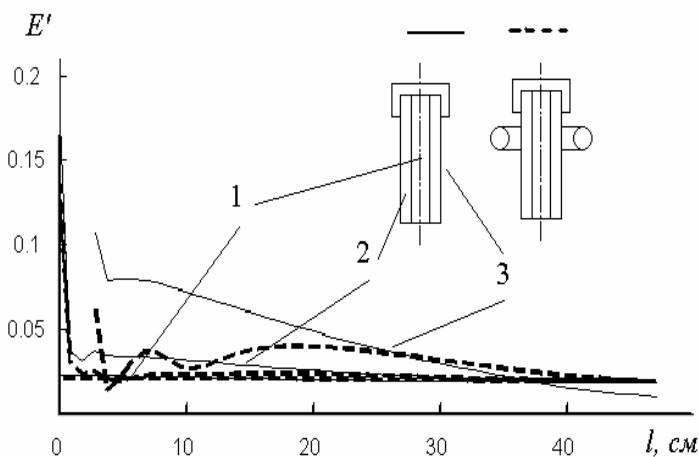


Рис. 2. Продольные распределения безразмерной напряженности электрического поля в различных элементах конструкции ОПН:

- 1- нелинейный резистор, 2 – стенка изоляционной покрышки,
- 3 – поверхность изоляционной покрышки без экрана (сплошные) и с экраном (штриховые кривые)

Вследствие очень высокой диэлектрической проницаемости картина электрического поля в области варисторной колонки подобна случаю внесения сильно поляризуемого диэлектрика во внешнее электрическое поле, которое искажается таким образом, что силовые линии втягиваются в диэлектрик (рис. 1), что приводит к значительно более равномерному распределению напряженности вдоль цилиндрического диэлектрика (рис.2). В то же время электрическое поле на поверхности аппарата распределено неравномерно и возрастает вблизи высоковольтного фланца аппарата (рис. 2). Для выравнивания распределения напряженности на поверхности изоляционной покрышки применяется тороидальный экран. Влияние экрана на картину электрического поля можно наблюдать на рис. 1 – густота линий равного потенциала в верхней части аппарата снижается. Распределение напряженности электрического поля на поверхности аппарата становится более равномерным (рис. 2). Вместе с тем выравнивающий экран практически не влияет на распределение напряженности внутри колонки варисторов (кривые 1 на рис. 2), поскольку определяющим фактором является очень высокая диэлектрическая проницаемость варисторной керамики. Результаты расчета, приведенные на рис. 1, 2 соответствуют весьма простой модели ограничителя. Реальные аппараты обладают целым рядом конструктивных элементов и особенностей, которые необходимо учитывать при выборе конфигурации выравнивающего экрана.

В ограничителях перенапряжений на высокие классы рабочего напряжения (330 кВ и выше) в настоящее время практически всегда применяется модульная конструкция, представляющая собой последовательные секции (модули), соединяемые с помощью металлических фланцев. Поэтому при решении задачи электростатики появляются электроды с неопределенным (плавающим) потенциалом, что приводит к необходимости отыскания потенциалов промежуточных фланцев, исходя из интегрального закона сохранения заряда, который в системе  $n$  электродов записывается в виде

