

ОПН представляют собой разрядник без искровых промежутков, в которых активная часть состоит из металлооксидных нелинейных варисторов, представляющих собой поликристаллическую структуру, состоящую из легированных кристаллов окиси цинка и полупроводящих барьеров между ними из окислов других металлов. Благодаря этому вольт-амперная характеристика варистора обладает такой резкой нелинейностью, что при повышении напряжения в 2 раза ток через него увеличивается на 7 порядков. Это позволило создать ОПН с глубоким ограничением коммутационных и грозовых перенапряжений без сложных искровых промежутков.

Активная часть металлооксидных ограничителей состоит из колонки цилиндрических резисторов. Количество сопротивлений в колонке зависит от напряжения при длительной нагрузке ( $U_c$ ) ограничителя. Колонка установлена в герметически закрытом фарфоровом или полимерном корпусе. Колонки резисторов ведут себя подобно конденсаторам при воздействии  $U_c$ . Паразитная емкость переменных сопротивлений по отношению к земле приводит к неравномерному распределению напряжения по высоте ограничителя при воздействии  $U_c$ . Неравномерность увеличивается с длиной колонки. С целью выравнивания потенциала вдоль оси и компенсации неблагоприятного влияния паразитной емкости в высоковольтных ограничителях применяются выравнивающие кольца. В ограничителях с небольшой высотой конструкции применение выравнивающих колец не требуется.

В нормальном рабочем режиме ток через ограничитель носит ёмкостный характер и составляет десятые доли миллиампера. При возникновении волн перенапряжений варисторы ограничителя переходят в проводящее состояние и ограничивают дальнейшее нарастание напряжения на выводах. Когда перенапряжение снижается, ограничитель возвращается в непроводящее состояние.

УДК 621.315

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРОЩЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТОВ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ГИБКИЕ ПРОВОДА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК**

*Ваиль Саммур*

**Научный руководитель И.И. СЕРГЕЙ, д-р техн. наук, доцент**

К упрощенным методам расчета относятся методы, позволяющие получать максимальные отклонения и тяжения проводов «ручным сче-

том» без обращений к ПЭВМ. Известны два упрощенных метода расчета, в качестве расчетной модели использующие физический маятник с массой, сосредоточенной в его центре тяжести, и дифференциальный принцип решение задачи электродинамического действия токов короткого замыкания (КЗ) на гибкие провода электроустановок. Многочисленные опытные данные, полученные в разных странах, показали, что модель маятника пригодна для инженерных расчетов максимальных отклонений и тяжений проводов при КЗ.

Первая из методик реализована в проекте международного стандарта, разработанного комитетом 23 «Подстанции» СИГРЭ и техническим комитетом 73 «Токи КЗ» МЭК. Оценка параметров движения проводов при КЗ производится из решения нелинейного дифференциального уравнения динамики маятника. Для его аналитического решения принимается ряд допущений и упрощений, что неизбежно снижает точность расчета.

В методике московского энергетического института (ТУ) провод представляется нерастяжимым стержнем с массой, сосредоточенной в центре тяжести провода в пролете. Опоры стержней – маятников принимаются неподвижными. Наличие гирлянд изоляторов, условия закрепления на опорах, смещение точек подвески проводов учитываются поправочными коэффициентами. Однако при решении нелинейного дифференциального уравнения движения стержня вводятся упрощения и допущения, ограничивающие применение методики частными случаями.

На кафедре «Электрические станции» БНТУ разработан более универсальный упрощенный метод расчета сближения проводов при КЗ, основанный на интегральном и энергетическом принципах механики, не требующий решения дифференциальных уравнений. Важным достоинством метода является наличие поправочных коэффициентов, учитывающих увеличение динамических стрел провеса при отталкивании и уменьшение при сближении проводов. Величины указанных коэффициентов получены вычислительным экспериментом по компьютерной программе, в которой реализован численный метод расчета движения проводов, представленных гибкой упругой нитью. Получены явные формулы для расчета допустимых импульсов электродинамических усилий, при которых максимальные отклонения проводов равны их допустимым значениям. Установлены допустимые импульсы для типовых пролетов ОРУ 110–330 кВ. Это позволяет во многих случаях оценивать электродинамическое действие токов КЗ при проектировании, используя таблицы допустимых импульсов электродинамических усилий.

Таким образом, наиболее универсальным и удобным в практической реализации является упрощенный метод расчета сближения проводов, разработанный в БНТУ.

УДК 643.318.13

## **О МЕТОДАХ АППРОКСИМАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК НАМАГНИЧИВАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СТАЛЕЙ**

*А.А. Недабой*

**Научный руководитель А.П. ТОМКЕВИЧ**

В связи с развитием микропроцессорной техники актуальной становится задача поиска удовлетворительной аппроксимации характеристики намагничивания (ХН) электротехнической стали. ХН используют при математическом моделировании силовых трансформаторов, генераторов, двигателей, трансформаторов тока (ТТ) и т. д.

Проведенные исследования [1] влияния гистерезиса на величину намагничивающих токов ТТ показали, что при насыщении стали частные петли становятся узкими и замена гистерезиса однозначной кривой не вносит заметной погрешности. Для практических расчетов переходных процессов в ТТ, питающих устройства релейной защиты, рекомендуется использовать основную кривую намагничивания или амплитудную динамическую кривую намагничивания.

На практике при расчетах процессов в ТТ широкое распространение получили простейшие кусочно-линейные аппроксимации кривой намагничивания  $B = f(H)$  – прямоугольная (ПХН) и спрямленная (СХН). Их достоинства – простота и хорошее приближение в зонах полного насыщения. К недостаткам можно отнести скачкообразное изменение индуктивности ветви намагничивания ТТ и ее неизменное состояние после замыкания (размыкания) ключа в момент насыщения, нарушение непрерывности  $\frac{dB}{dH}$  и низкую точность приближения.

Аппроксимация полиномами высоких степеней и гиперболическим синусом [2], квадратичными функциями [3] являются простыми по форме и обеспечивают непрерывность ХН, однако обладают недостаточной точностью приближения и сильной зависимостью от выбора исходных точек на реальной ХН.

Приближение ХН рядами Фурье не отражает физическую природу ХН – график результирующей функции является волнистым. Полиномы Лагранжа требуют задания известных точек в арифметической