

$$\dot{U}_i^H = (\dot{U}_{i_1}^H, \dot{U}_{i_2}^H, \dots, \dot{U}_{i_N}^H),$$

можно определить

$$\dot{I}_j^H = (\dot{I}_{j_1}^H, \dot{I}_{j_2}^H, \dots, \dot{I}_{j_N}^H).$$

В результате получается новый скорректированный установившийся режим исследуемой ЭЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Х а ч а т р я н В. С., С у х а н о в О. А. Диакоптика и задача определения обобщенных параметров больших энергосистем // *Электричество*. – 1973. – № 4. – С. 1–10.
2. Х а ч а т р я н В. С. Определение установившихся режимов больших электроэнергетических систем с применением метода Ньютона–Рафсона // *Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт*. – 1974. – № 4. – С. 36–43.
3. Х а ч а т р я н В. С., Б а л а б е к я н М. А. Автоматизация разбивки больших систем на радиально связанные оптимальные подсистемы // *Электричество*. – 1977. – № 9. – С. 15–20.
4. В е н и к о в В. А., С у х а н о в Ш. А. Кибернетические модели электрических систем. – М.: Энергоиздат, 1982. – 328 с.
5. Г е р а с к и н О. Т., С е л е н н о в а Т. Г. Решение уравнений установившихся режимов больших ЭЭС в У-диакоптической форме итерационным методом Ньютона – Рафсона на многопроцессорных ЭВМ // *Энергетика... (Известия высш. учеб. заведений СССР)*. – 1994. – № 9–10. – С. 13–24.
6. Г е р а с к и н О. Т. Методы декомпозиции для расчета установившихся режимов больших электроэнергетических систем // *Энергетика. Изв. РАН*. – 1997. – № 6. – С. 11–20.
7. Х а ч а т р я н К. В., Б о р о я н А. В. Новый метод коррекции установившегося режима электроэнергетической системы // *Изв. НАН и ГИУА*. – Сер. ТН. – 2002. – № 2. – С. 222–231.

Поступила 28.03.2003

УДК 537.2.212.226

ОСЛАБЛЕНИЕ «КРАЕВОГО ЭФФЕКТА» ЭЛЕКТРОДОВ НА КОНТАКТНОЙ ГРАНИЦЕ С ДИЭЛЕКТРИКОМ

Докт. техн. наук ШАХТАХТИНСКИЙ Т. И.

Азербайджанская государственная нефтяная академия

В высоковольтных электроизоляционных конструкциях для устранения «краевого эффекта» – возрастания напряженности поля на острых краях электродов – кромки электродов закругляются под определенным радиусом подобно электродам Роговского или Фелиси [1]. По технологическим соображениям это не всегда возможно, и электроды обычно снабжаются специальными тороидальными (или шаровидными) наконечниками, другими словами, участки большей кривизны покрываются слоем твердой

изоляции. Установлено, что при совпадении диаметров плоско-параллельных электродов, имеющих острые кромки, с диаметром находящегося между ними цилиндрического диэлектрика «краевой эффект» значительно ослабляется.

Известно, что при введении твердого диэлектрика в однородное электрическое поле, например в поле плоско-параллельных электродов типа Роговского, электрическая прочность промежутка снижается по сравнению с электрической прочностью между теми же электродами без диэлектрика. Это вызывается нарушением однородности поля введенным в межэлектродное пространство диэлектриком [2, 3]. Для определения влияния твердого диэлектрика на электрическую прочность промежутка плоско-параллельных электродов, имеющих острые кромки, т. е. промежутка с заранее заданной неоднородностью, цилиндрические образцы из различных твердых диэлектриков диаметром 10 мм, длиной 2–12 мм размещались между электродами из нержавеющей стали одинаковыми диаметрами и равными диаметрам используемых образцов. Эксперименты проводились с образцами из фторопласта-4, эбонита, эпоксидного компаунда ЭД-5, электротехнического фарфора и стекла. Перед экспериментом поверхность образцов тщательно промывалась спиртом, а сами образцы продувались воздухом. Для исключения образования зазора между образцом и электродами торцы образцов тщательно полировались и прижимались к электродам. Эксперименты проводились при переменном напряжении, которое измерялось с помощью омического делителя и астатического вольтметра с классом точности 0,5. Значение разрядного напряжения U_p определялось как среднеарифметическое из результатов пяти измерений. При этом разбросы не превосходили 3 % среднеарифметического значения.

При сравнении U_p промежутков выяснилось, что U_p между электродами с диэлектриком примерно на 25 % выше, чем без диэлектрика. Эти характеристики для различных расстояний l между электродами представлены на рис. 1. Сплошная линия изображает $U_p = f(l)$ без диэлектрика; точки относятся к различным диэлектрикам.

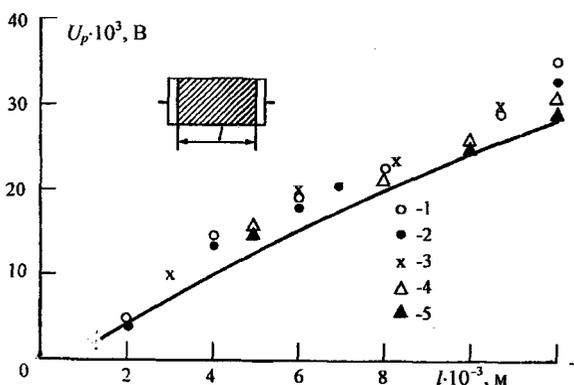


Рис. 1. Зависимость пробивного напряжения воздуха между плоскопараллельными электродами с острыми кромками от межэлектродного расстояния при наличии между электродами: 1 – фторопласта-4; 2 – эпоксидного компаунда ЭД-5; 3 – эбонита; 4 – фарфора; 5 – стекла; сплошная линия – пробой без диэлектрика; напряжение переменное 50 Гц

Осциллографированием предразрядных токов установлено, что разряду между электродами без диэлектрика предшествует зажигание устойчивой короны. Величина начального напряжения короны зависит от состояния кромок электродов и колеблется от 0,6 до 0,8 U_p . При дальнейшем повы-

шении напряжения корона, развиваясь, переходит в полный разряд между электродами.

При наличии между электродами диэлектрика при условии равенства диаметра образца диаметру электродов перед пробоем вдоль поверхности образцов зажигание короны не наблюдалось.

На рис. 2 приведена схема эксперимента (а) и осциллограммы тока и напряжения при отсутствии (б) и наличии (в) между электродами твердого диэлектрика. Для получения осциллограмм был использован двухлучевой осциллограф ОК-17М.

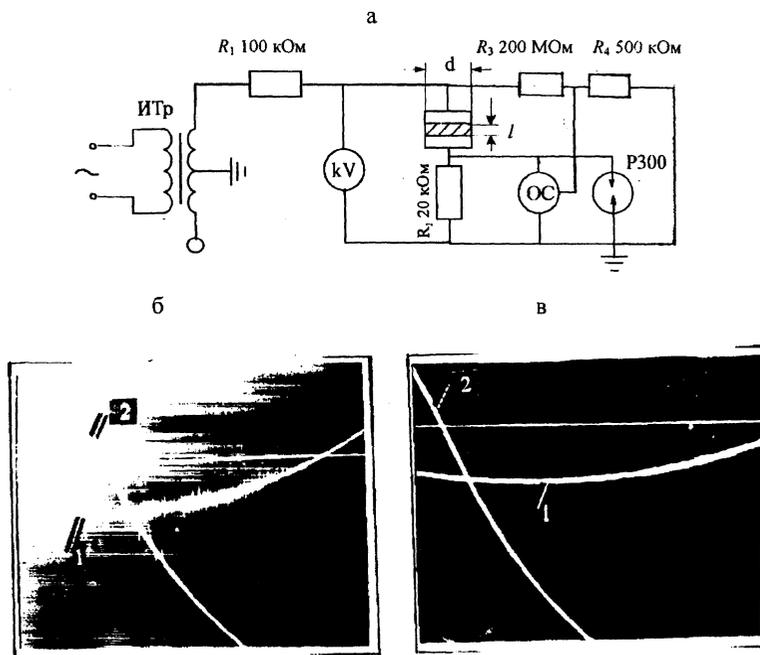


Рис. 2. Осциллограммы напряжения и тока между плоско-параллельными электродами, имеющими острые кромки: а – схема измерения; б – 1 и 2 – ток и напряжение при отсутствии; в – при наличии между электродами твердого цилиндрического диэлектрика (эпоксидный компаунд ЭД-5, $\epsilon = 5$). $U_{\max} = 3,82 \cdot 10^3$ В; диаметр электродов $d = 0,01$ м; расстояние между электродами $l = 0,002$ м; напряжение переменное 50 Гц; двухлучевой осциллограф ОК-17М

Для определения характера изменения распределения электрического поля между электродами по плоскости, симметрично пересекающей цилиндрические образцы и электроды вдоль центральной оси, был применен метод моделирования плоских полей на электропроводящей бумаге [4]. Как известно, при данном методе используется графитизированная бумага, электропроводность которой не зависит от направления тока. Электроды изображались на поверхности бумаги в форме приклеенных дисков из фольги, а исследуемый диэлектрик моделировался путем приклеивания между электродами из фольги электропроводящей бумаги с заданной электропроводностью. При этом соблюдалось условие равенства отношений диэлектрических постоянных моделируемых сред и электропроводимостей моделирующих бумаг. Подробная методика моделирования и работа на интеграторе ЭГДА-9/60 приведены в [3, 4].

На рис. 3 показано распределение напряженностей вблизи острых кромок электродов, построенных на основе расположения эквипотенциалов на электропроводящей бумаге, при отсутствии (1) и наличии (2) между элект-

электродами твердого диэлектрика. Из кривых следует, что наличие диэлектрика между электродами заметно ослабляет напряженность поля у кромок электродов.

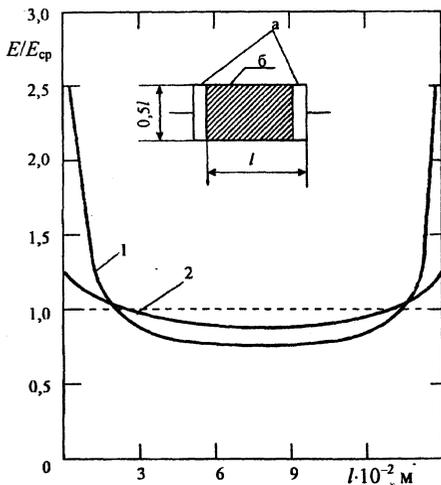


Рис. 3. Распределение напряженности поля вблизи острых кромок электродов: 1 – при отсутствии; 2 – при наличии между электродами твердого диэлектрика; а – плоско-параллельные электроды с острыми кромками; б – твердый диэлектрик (эпоксидный компаунд ЭД-5, $\epsilon = 5$)

Можно предположить, что поле ослабляется внутри твердого диэлектрика, контактирующего с острыми кромками электродов, благодаря более высокому значению диэлектрической постоянной ϵ твердого диэлектрика, чем ϵ воздуха.

ВЫВОДЫ

1. При совпадении диаметров плоско-параллельных электродов с диаметром находящегося между ними цилиндрического диэлектрика «краевой эффект» существенно ослабляется.

2. При чистой поверхности и плотном контакте диэлектрика с электродами в предлагаемой электроизоляционной конструкции разрядное напряжение межэлектродного промежутка повышается в среднем на 25 % по сравнению с разрядным напряжением того же промежутка без диэлектрика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучинский Г. С., Кизеветтер В. Е., Пинталь Ю. С. Изоляция установок высокого напряжения. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с.
2. Сканава Г. И. Физика диэлектриков (область сильных полей). – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1958. – 908 с.
3. Шахтинский Т. И. Исследование электрического разряда по поверхности твердых диэлектриков в гелии и аргоне: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.: МЭИ, 1968. – 26 с.
4. Филчаков П. Ф., Панчишин В. И. Интеграторы ЭГДА: Моделирование потенциальных полей на электропроводящей бумаге. – Киев: АН УССР, 1961. – 216 с.

Представлена кафедрой
электротермических установок
и техники высоких напряжений

Поступила 23.09.2003