
УДК 621.316.933.002.25

А.П. ЛИХВАН, *ст. науч. сотрудник,*
В.В. ДИДЕНКО, *канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,*
Р.А. ПАРХОМЕНКО, *мл. науч. сотрудник; МакНИИ, г. Макеевка;*
В.В. ИВАНИЛОВ, *студент; ДонНТУ, г. Донецк*

РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНОГО СОСТОЯНИЯ В ШАХТНОЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ СЕТИ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ ИЗОЛЯЦИИ

Приведена упрощенная схема замещения при рассмотрении частичных разрядов в диэлектрике, а также разработана эквивалентная схема при расположении включения в толще диэлектрика. На основании проведенных теоретических исследований разработаны структурная схема и вероятностная модель возникновения аварийного состояния в шахтной высоковольтной сети при включении коммутационного аппарата.

Ключевые слова: повреждение диэлектрика, старение изоляции, схема замещения, частичный разряд, замыкание на землю, шахтная высоковольтная сеть, электробезопасность.

Под действием высокой напряженности электрического поля в изоляции в местах пониженной электрической прочности возникают частичные разряды, которые представляют собой пробой газовых включений, локальные пробои малых объемов твердого или жидкого диэлектрика, местные разряды по поверхности твердого диэлектрика. Условия возникновения частичных разрядов определяются конфигурацией электрического поля изоляционной конструкции и электрофизическими характеристиками (в том числе электрической прочностью) рассматриваемой области изоляции. Возникновение частичных разрядов всегда свидетельствует о местной неоднородности диэлектрика. Частичные разряды обычно не приводят к сквозному пробое изоляции, однако приводят к местному разрушению диэлектрика (особенно органического) и при длительном существовании в определенных условиях могут привести к нарушению электрической прочности изоляционной конструкции [1].

Целью статьи является ознакомление специалистов с разработанной эквивалентной схемой замещения диэлектрика при его повреждении и возникновении частичных разрядов. Полученные структурная схема и вероятностная модель возникновения аварийного состояния в шахтной высоковольтной сети при включении коммутационного аппарата позволяют расчетно-аналитическим путем оценивать состояние электробезопасности в шахтных высоковольтных сетях.

Длительное воздействие рабочего напряжения, а также многократные перенапряжения в сочетании с температурными и механическими воздействиями и увлажнением могут привести к снижению электрической прочности изоляции вследствие процессов ее старения, в том числе вследствие разрушения под воздействием частичных разрядов, и последующему ее выходу из строя.

На рис. 1 представлена упрощенная эквивалентная схема при рассмотрении частичных разрядов в диэлектрике.

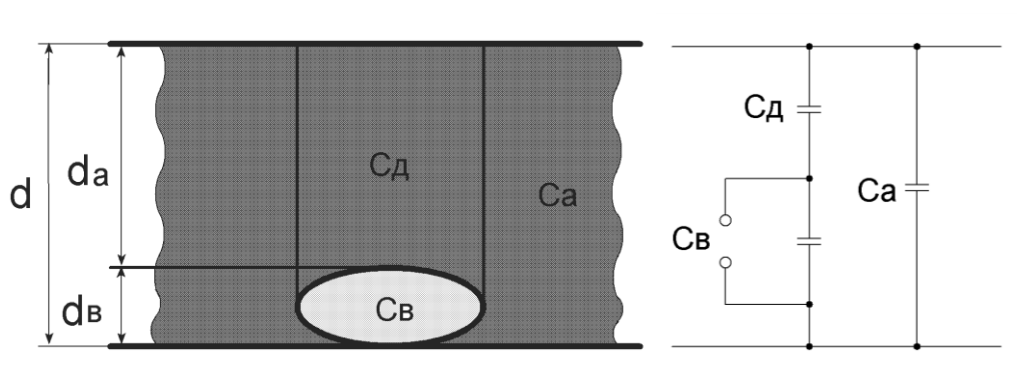


Рис. 1. Упрощенная эквивалентная схема замещения при рассмотрении частичных разрядов в диэлектрике:

$C_{в}$ – емкость элемента диэлектрика, участвующего в частичном разряде (емкость включения);

$C_{д}$ – емкость части диэлектрика, расположенного последовательно с включением;

$C_{а}$ – емкость остальной части диэлектрика.

На рис. 2 представлена более сложная эквивалентная схема замещения диэлектрика с включением (сеточная модель, включение заштриховано), позволяющая более точно учитывать выделение энергии во включении с учетом перераспределения поля в диэлектрике (изменения зарядов на емкостях сеточных моделей) [1].

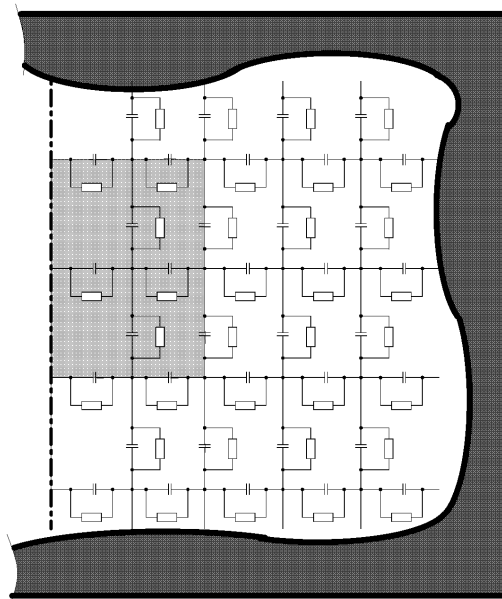


Рис. 2. Эквивалентная схема замещения диэлектрика с включением (сеточная модель)

На рис. 3 показана эквивалентная схема замещения диэлектрика при расположении включения в его толще. На схеме емкость поры C_v , в которой возникает частичный разряд, соединена последовательно с емкостями $C_{1д}$ и $C_{2д}$, соответствующими объемам диэлектрика, расположенным между порой и электродами. Параллельно C_v включена емкость C_h , замещающая объем диэлектрика, окружающего пору в эквипотенциальной плоскости. Емкость C_h подключена к C_v через емкости $C_{1п}$ и $C_{2п}$, замещающие объемы диэлектрика, по которым проходит зарядный ток от C_h к области поры при возникновении частичных разрядов. Кроме того, C_h соединена с электродами через емкости $C_{1е}$ и $C_{2е}$, замещающие объемы диэлектрика, расположенные между C_h и электродами.

Эти уточнения имеют практический интерес главным образом для пор, вытянутых вдоль силовых линий электрического поля. В полостях диэлектрика выделяется энергия во много раз больше той, которая освобождается за счет деполяризации зарядов, накопленных на противоположных стенках полости. Увеличение удельного энерговыделения и удельного значения мощности частичного разряда является одной из причин низкой длительной электрической прочности диэлектрика с полостями, вытянутыми в направлении силовых линий поля.

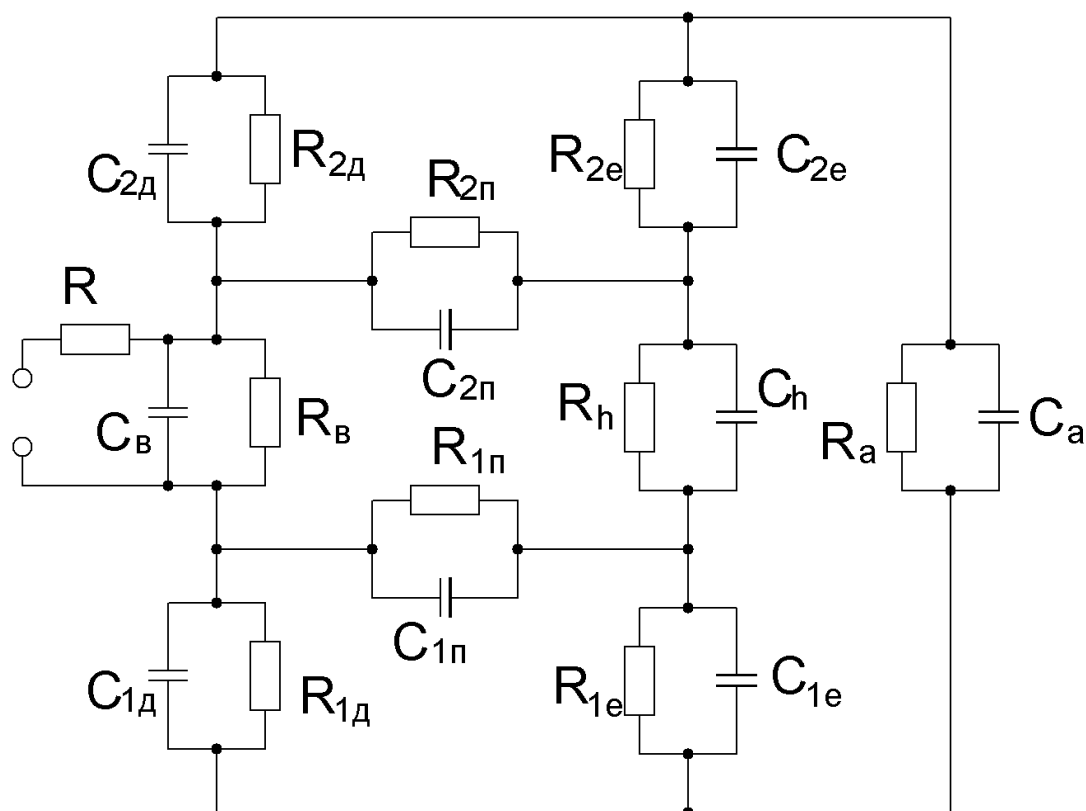


Рис. 3. Эквивалентная схема при расположении включения в толще диэлектрика

Условимся, что отходящее присоединение высоковольтного распределительного устройства представляет собой коммутационный аппарат с устройством предварительного контроля сопротивления изоляции, кабеля и трансформатора.

Аварийное состояние при отказе блокировочного реле утечки БРУ в шахтной высоковольтной сети может произойти в двух случаях – при возникновении дугового замыкания на землю и при возникновении двухфазного короткого замыкания на землю [2]. На рис. 4 изображена структурная схема возникновения аварийного состояния при включении коммутационного аппарата.

В случае подачи напряжения на отходящее присоединение (опасное состояние S_1) опасные условия возникают при одновременном возникновении двух других опасных состояний: низком сопротивлении изоляции (опасное состояние S_2) и отказе либо неэффективной работе устройства предварительного контроля сопротивления изоляции отходящего присоединения (опасное состояние S_3).

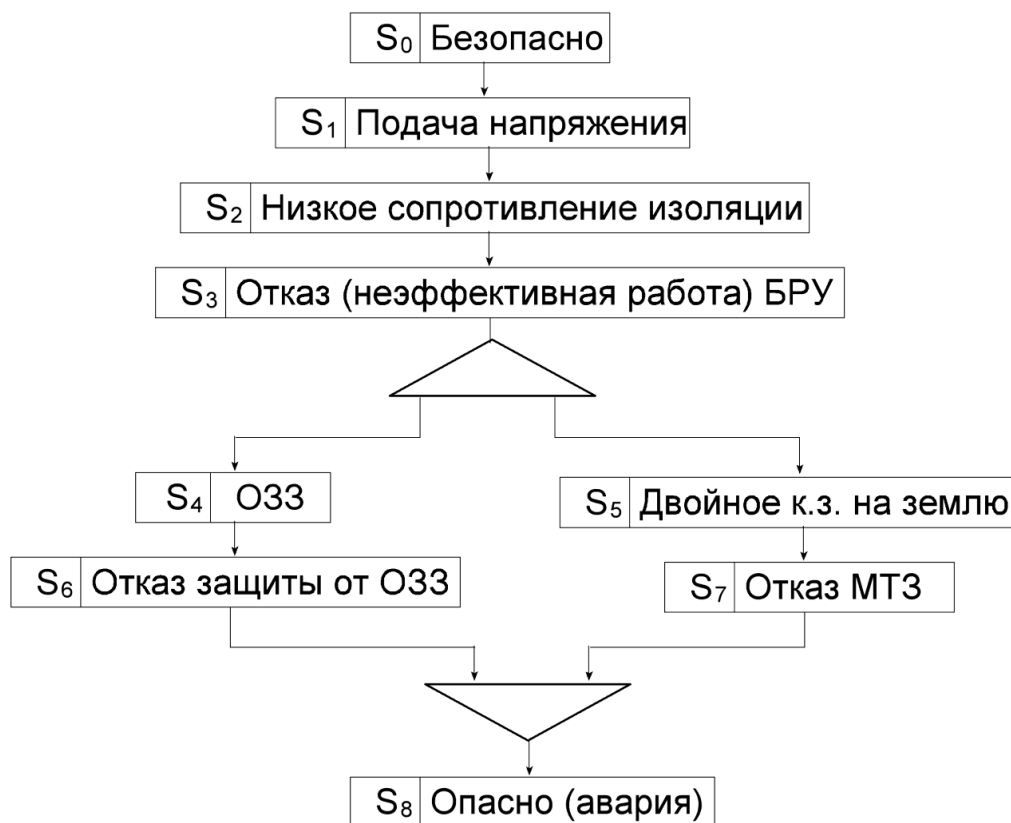


Рис. 4. Структурная схема возникновения аварийного состояния при включении коммутационного аппарата

Совпадение указанных условий может привести к возникновению в шахтной высоковольтной сети двух возможных аварийных ситуаций: появлению однофазного замыкания на землю ОЗЗ (опасное состояние S_4) и появлению двойного замыкания на землю (опасное состояние S_5). В случае отказа защиты от ОЗЗ (опасное состояние S_6) это может привести к возникновению дугового замыкания на землю, что само по себе является аварийным состоянием шахтной высоковольтной сети (опасное состояние S_8), либо к перерастанию ОЗЗ в двойное замыкание на землю (упомянутое уже опасное состояние S_5). При возникновении в шахтной сети двойного замыкания на землю возникновение аварии (опасное состояние S_8) возможно в случае отказа максимальной токовой защиты комплектного распределительного устройства (опасное состояние S_7).

На рис. 5 представлена вероятностная модель возникновения аварийного состояния в шахтной высоковольтной сети при включении коммутационного аппарата.

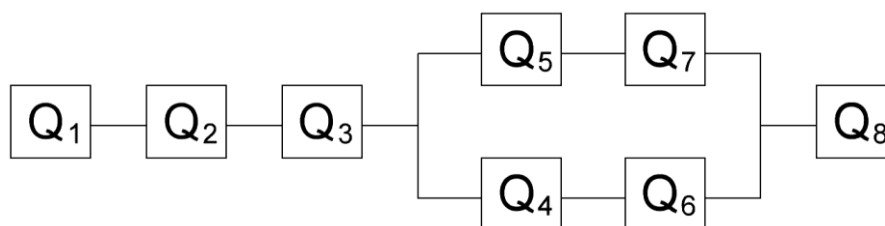


Рис. 5. Вероятностная модель возникновения аварийного состояния в шахтной высоковольтной сети:

Q_1 – вероятность включения электроустановки в течение рассматриваемого отрезка времени;

Q_2 – вероятность низкого (опасного) сопротивления изоляции электрической сети;

Q_3 – вероятность отказа либо неэффективной работы устройства предварительного контроля сопротивления изоляции отходящего присоединения;

Q_4 – вероятность возникновения однофазного замыкания на землю;

Q_5 – вероятность возникновения двойного замыкания на землю;

Q_6 – вероятность отказа защиты от однофазных замыканий на землю;

Q_7 – вероятность отказа максимальной токовой защиты;

Q_8 – вероятность возникновения аварийной ситуации в шахтной высоковольтной сети.

В соответствии с изложенным, произведя математические преобразования, получим следующую математическую модель возникновения опасного состояния в шахтной высоковольтной сети при повреждении электрической изоляции:

$$Q_8 = Q_1 Q_2 Q_3 (Q_5 Q_7 + Q_4 Q_6 - Q_4 Q_5 Q_6 Q_7).$$

Полученная модель позволяет расчетно-аналитическим путем оценивать состояние электробезопасности в шахтных высоковольтных сетях.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных теоретических исследований разработана эквивалентная схема замещения диэлектрика при его повреждении и возникновении частичных разрядов. По полученным результатам разработаны структурная схема и вероятностная модель возникновения аварийного состояния в шахтной высоковольтной сети при включении коммутационного

аппарата, что позволит расчетно-аналитическим путем оценивать состояние электробезопасности в шахтных высоковольтных сетях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучинский Г.С. Частичные разряды в высоковольтных конструкциях / Кучинский Г.С. – Л.: Энергия, 1979. – 224 с.
2. Колосюк В.П. Защитное отключение рудничных электроустановок / Колосюк В.П. – М.: Недра, 1980. – 334 с.

Получено: 18.05.17

Shows a simplified equivalent circuit when considering partial discharges in the dielectric, and is also designed at the location equivalent circuit incorporating a thicker dielectric. On the basis of theoretical studies designed block diagram and probabilistic model of an emergency state in the shaft when the high-voltage network switching device is turned on.

Keywords: dielectric damage, insulation aging, equivalent circuit, partial discharge, ground fault, mine high-voltage network, electrical safety.