

## **Особенности защиты оборудования, коммутируемого вакуумными выключателями**

**Инженеры Путова Т.Е., Малюшицкий П.Г.,  
СДНРЭ, "ОАО Инженерный центр"  
К.т.н, Вьюнов В.С.,  
ФГУ «Волжскгосэнергонадзор»**

Вакуум является идеальной изоляционной средой. Поэтому в последнее десятилетие в области создания высоковольтной коммутационной аппаратуры успешно развивается новое направление на замену масляным выключателям - вакуумные выключатели. Этому способствуют следующие преимущества вакуумной дугогасительной камеры:

- высокая износостойкость контактов при коммутации номинальных токов и токов к.з.;
- очень быстрое восстановление последуговой прочности,
- высокое быстродействие
- малые габариты,
- возможность ориентации в пространстве в любом произвольном положении
- взрыво и пожаробезопасность,
- экологическая чистота (отсутствие загрязнения окружающей среды и бесшумность работы)
- минимальный объём
- простота обслуживания.

Опыт показал, что при достаточно большой напряжённости электрического поля даже в самом совершенном техническом вакууме появляется электрический ток, который быстро возрастает при дальнейшем увеличении напряжённости поля вплоть до пробоя. При весьма малых расстояниях между электродами (доли миллиметра) разряд в вакууме происходит вследствие автоэлектронной эмиссии с поверхности катода. Разогревание поверхности электродов из-за прохождения тока автоэлектронной эмиссии приводит к их испарению в результате чего происходит пробой изоляционного промежутка в парах металла. При увеличении длины разрядного промежутка разрядная напряжённость быстро уменьшается в результате, так называемого, эффекта полного напряжения.

Основным недостатком вакуумных выключателей является их способность генерировать повышенные перенапряжения при коммутациях индуктивно-емкостных элементов (трансформаторов, двигателей). Это связано со срезом отключаемых токов и повторными зажиганиями дуги при расхождении контактов.

Для вакуумных выключателей характерно чрезвычайно быстрое восстановление электрической прочности межконтактного промежутка, что ведёт к их высокой отключающей способности и к способности прерывать высокочастотные токи до сотен килогерц. Из-за повышенных перенапряжений отключение малого индуктивного тока (например, отключение трансформатора в режиме холостого хода или нагруженного индуктивностью, реактора, пускового тока электродвигателя) является наиболее опасной коммутацией, связанной с вакуумными выключателями. Дуга в вакуумных выключателях поддерживается не за счёт ионизированных газов дугогасящей среды как в выключателях других типов, а только за счёт ионизированных паров металлов с испаряющихся контактов, следствием чего является неустойчивость дуги малого тока и повышенная способность резко обрывать ток до его естественного перехода через нулевое значение. Индуктивность нагрузки и напряжение источника питания практически не влияют на значение тока среза. Большую роль играет материал контактов и конструкция выключателя.

Т.о. основными причинами, приводящие к перенапряжениям являются:

- срез тока до его нулевого значения и освобождение энергии, запасённой в индуктивных элементах схемы;
- недостаточная диэлектрическая прочность межконтактного промежутка в начальный интервал времени после прерывания тока дуги, который не может выдержать переходного восстанавливающегося напряжения, что приводит к повторным зажиганиям и гашениям дуги;
- виртуальный срез тока, достигающий до сотен ампер, в соседних фазах, вызванный повторными зажиганиями дуги в первой отключаемой фазе.

Как известно, физическая суть перенапряжений сводится к переходу электромагнитной энергии, запасённой в индуктивности, в электростатическую, связанную с напряжением на ёмкости отключаемой части сети. При отключении ненагруженных трансформаторов, да ещё при малых ёмкостях коротких кабелей или шин, перенапряжения при срезах могут быть значительны.

Значительно более тяжелые воздействия на изоляцию, чем срезы тока, могут вызвать многократные повторные зажигания дуги в выключателе. Образование многократных повторных зажигания начинается с единичного повторного зажигания. Ток в выключателе может переходить через нулевое значение. После чего происходит восстановление напряжения и повторный пробой. В процессе отключения в условиях многократных повторных зажигания межконтактная прочность выключателя возрастает. Одновременно растут напряжения повторных зажигания, амплитуда токов высокочастотных колебаний, и как следствие - перенапряжения на отключаемой индуктивности.

Многократные повторные зажигания создают серию импульсов перенапряжений с крутыми фронтами на выводах нагрузки, которые

воздействуют на витковую изоляцию двигателей и трансформаторов. Перенапряжения при срезе тока имеют более пологий фронт и воздействуют на главную изоляцию.

Все вышесказанное, а именно высокое быстродействие и очень быстрое восстановление последуговой прочности при отключении тока индуктивной нагрузки (резкий обрыв тока) приводит к появлению существенного недостатка вакуумных выключателей такого как - **генерирование повышенного уровня перенапряжений опасного для изоляции коммутируемого оборудования (до 8-9 Uф)**. Поэтому при наличии вакуумных выключателей коммутируемое оборудование нуждается в защите. В настоящее время нет универсальной и абсолютной защиты пригодной на все случаи жизни. Мероприятия по защите электрооборудования от коммутационных перенапряжений при использовании вакуумных выключателей включают в себя применение ОПН и резисторно – ёмкостных (R-C) цепочек.

### **Положительные свойства применения резисторно – ёмкостных цепочек:**

- резисторно – ёмкостные цепочки уменьшают амплитуду перенапряжений при срезе тока, так как увеличивают ёмкость отключаемой нагрузки. При этом снижается также амплитуда восстанавливающегося после среза тока напряжения.
- Демпфируют высокочастотные колебания при повторных зажигании дуги.
- Снижают частоту колебаний после среза тока, т.е. уменьшают частоту восстанавливающегося напряжения, чем снижает возможность повторных зажиганий.
- Сдвигают нулевое значение тока высокочастотных колебаний относительно максимума напряжения, поэтому в момент гашения напряжение на ёмкости ниже максимального. Это снижает восстанавливающееся напряжение и возможность повторных зажиганий.
- Снижают крутизну фронта перенапряжения при повторных зажигании из-за снижения частоты колебаний из-за увеличения ёмкости, а это в свою очередь облегчает воздействия на продольную изоляцию.

Все эти проявления снижают уровень перенапряжения при многократных повторных зажигании и препятствуют эскалации напряжений. Вместе с тем демпфирующие R-C цепочки имеют определённые недостатки.

### **Недостатки резистивно-ёмкостных цепочек (R-C)**

- Ёмкость R-C цепочки увеличивает общий ёмкостный ток замыкания на землю в сети. Так как ёмкость цепочки в несколько раз должна превышать ёмкость на землю защищаемого присоединения,

то при большом числе таких присоединений возможно резкое увеличение тока замыкания на землю и связанная с этим необходимость в ряде случаев установки дугогасящих устройств, усложняющих режимы и эксплуатацию сети.

- Трудности размещения защитной R-C цепочки вблизи выводов двигателя, особенно на действующих объектах; установка R-C цепочек у выключателя снижает эффективность ограничения перенапряжений и поэтому не всегда допустима. Из-за этого требуется оценка перенапряжений, ограниченных ими.
- Сложность подбора сопротивления R-C цепочки, т.к. обусловленное R-C цепочкой затухание колебаний имеет максимум при определённом значении сопротивления величина которого выбирается в зависимости от параметров защищаемого присоединения.
- Сложность изготовления сопротивления, т.к. промышленность не выпускает R-C цепочек.
- Сложность замены R-C цепочки при изменении параметров присоединения, т.к. параметры R-C цепочки выбираются индивидуально для каждого конкретного присоединения.
- Пониженная надёжность высоковольтных конденсаторов.
- Высокая стоимость оборудования, используемого для изготовления R-Сцепочки.

### **Защита коммутируемого оборудования с использованием ОПН**

Для их защиты могут быть использованы и ОПН, устанавливаемые вблизи коммутируемых двигателей или трансформаторов. При этом их защитные характеристики должны соответствовать уровню изоляции защищаемого объекта, а допустимые напряжения 50Гц и пропускная способность – условиям в сети.

Разработанные и выпускаемые в настоящее время ОПН 6-35кВ не обладают абсолютной устойчивостью по пропускной способности при работе в условиях режима однофазного замыкания с перемежающейся дугой. Поэтому их установка для защиты электрооборудования требует рассмотрения проблемы надёжной работы в сети с изолированной нейтралью, т. к. ОПН должны выдерживать все другие воздействия в дополнение к коммутационным (дуговые, феррорезонансные).

Поэтому, несмотря на достоинства вакуумные выключатели при коммутации, в случае отсутствия защиты, являются источником высоких и опасных для оборудования перенапряжений.

Наиболее эффективным средством защиты от перенапряжений при коммутациях вакуумными выключателями является правильно выбранная R-C цепочка. Однако, сложности, связанные с ее выбором, изготовлением, установкой и надёжностью ограничивают её широкое применение.

### **Выводы**

1. В настоящее время не существует универсальной и абсолютной защиты от перенапряжений при коммутации оборудования вакуумными выключателями. Кроме того условия и процессы при коммутации, способствующие развитию перенапряжений, из-за многообразия процессов развития перенапряжений, зависят от параметров коммутируемых присоединений.
2. Для каждого конкретного случая необходимо определять возникающий уровень перенапряжений и способы расстановки средств защиты коммутируемого оборудования.

### **Литература**

1. Руководство по защите электрических сетей 6-1150кВ от грозových и внутренних перенапряжений.
2. Беляков Н.Н. Защита от перенапряжений установок с вакуумными выключателями, журнал "Электрические станции", №9, 1994г.
3. Кузьмичева К.И. и др. Ограничение перенапряжений при отключении вакуумными выключателями пусковых токов электродвигателей с помощью ОПН, журнал "Электрические станции", №4, 1996г.