

*Технические науки***ОБЗОР ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ  
МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОГРАНИЧЕНИЯ  
КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

Барышников Д.В., Скакунов Д.А.

*Ачинский филиал Государственного университета  
цветных металлов и золота*

Состояние изоляции карьерного электрооборудования, определяющее надёжность работы и безопасность его обслуживания, во многом зависит от воздействующих на неё перенапряжений. Наряду с атмосферными перенапряжениями и перенапряжениями, обусловленными однофазными замыканиями на землю в сетях с изолированной нейтралью, существенное влияние на изоляцию электрооборудования оказывают коммутационные перенапряжения, особенно в установках с частыми коммутациями, оборудованных вакуумными выключателями. Эта проблема наиболее актуальна для элементов карьерной сети. Причиной тому - наличие большого числа электроприёмников с облегчённой изоляцией (электрические вращающиеся машины передвижных электроустановок карьеров).

Основными причинами перенапряжений на изоляции отдельного присоединения при коммутации нагрузки являются срез тока и повторные зажигания дуги.

Срез тока характерен для выключателей любого применяющегося в настоящее время типа (маломасляных, электромагнитных, воздушных, вакуумных, элегазовых). В вакуумных выключателях причиной среза тока является неустойчивость дуги при малых токах, так как она горит в парах металла контактов.

Кроме величины тока, на перенапряжения при срезе, влияют индуктивность нагрузки (или мощность) и ёмкость присоединения (длина воздушной или кабельной линии). Анализ результатов измерений показал, что с ростом номинальной мощности отключаемых электродвигателей средние и максимальные КП уменьшаются. Это объясняется, в основном, снижением волнового сопротивления обмоток. Перенапряжения, распространяющиеся на сеть, ниже перенапряжений на нагрузке, что обусловлено шунтирующим действием ёмкости питающей сети. Параметры кабеля, двигателя и выключателя являются определяющими, параметры внешней сети (до выключателя) на формирование КП влияют незначительно. Увеличение ёмкости системы кабель - электродвигатель и активно-индуктивного сопротивления кабеля приводит к уменьшению амплитуды, крутизны и числа импульсов КП при повторных зажиганиях дуги в выключателе. Принято считать, что при значительной длине присоединения перенапряжений из-за среза тока в выключателе вообще не возникает. Нали-

чие даже небольшой активной нагрузки на вторичной стороне отключаемого силового трансформатора также исключает возникновение перенапряжений по причине среза.

Первым опытным средством ограничения КП стали вентильные разрядники, но, имея импульсное пробивное напряжение выше  $3,2 \cdot U_{\text{н}}$  и большие габариты, вентильные разрядники (РВМГ, РВМК, РВМКГ, РВРД) не смогли обеспечить надёжное ограничение коммутационных перенапряжений.

В последние годы, как в России, так и за рубежом в электрические сети активно внедряют нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН). ОПН представляет собой нелинейный резистор на основе ZnO с высоким коэффициентом нелинейности, благодаря чему при номинальном фазном напряжении он пропускает ничтожный ток 1 мА. При увеличении напряжения сопротивление ОПН резко уменьшается, а ток, протекающий через него, растёт. По данным каталогов продукции ряда крупнейших фирм, работающих в области производства электротехнических изделий, уровень ограничения перенапряжений нелинейными ограничителями типа ОПН КР/TEL и ОПН РТ/TEL составляет (2,8 - 3,6)U<sub>ф</sub>.

Применение ОПН на карьерах ограничено их низкой надёжностью в результате термической неустойчивости в условиях частых однофазных замыканий на землю и неудовлетворительного действия релейной защиты. Кроме того, включение ОПН между фазами сети и корпусом экскаватора, в районах с многолетнемерзлыми грунтами может приводить к появлению опасных потенциалов на корпусах экскаваторного оборудования вследствие неэффективного действия защитных устройств.

Считается, что частичное ограничение перенапряжений может быть достигнуто нормированием минимальной длины кабеля между высоковольтным выключателем и коммутируемой нагрузкой. Защитное действие кабельной вставки основано на уменьшении волнового сопротивления коммутируемого контура за счёт собственной ёмкости кабеля. Однако расчёты показывают, что применительно к экскаваторам этот способ неприемлем как с технической, так и экономической стороны.

Распространённым средством защиты двигателей и трансформаторов от КП, является подсоединение RC-цепочек между ВКА и нагрузкой. RC-цепочка состоит из конденсаторов 0,1 - 0,5 мкФ и резисторов 25 - 100 Ом, соединённых последовательно. Конденсаторы уменьшают волновое сопротивление цепи нагрузки, снижая тем самым перенапряжения, вызванные срезом тока, а резисторы способствуют затуханию высокочастотного тока, регулируют воздействие на другие фазы и вместе с конденсаторами уменьшают вероятность повторного зажигания дуги в ВКА. Уровень ограничения перенапряжений RC-цепочками составляет (1,8 - 2,4)U<sub>ф</sub>.

Определяющими факторами при выборе средств защиты от коммутационных перенапряжений являются допустимый уровень перенапряжений для данного типа оборудования и условия электробезопасности.