

Известия высших учебных заведений "Горный журнал"
1991 год №9

УДК 621.3.015

ИМПУЛЬСНАЯ ПРОЧНОСТЬ ИЗОЛЯЦИИ ЭКСКАВАТОРНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Канд. техн. наук Н. Я. ЭНШТЕИН, А. Ф. ГОНЧАРОВ, Ю. Н. ПОПОВ
(Красноярский институт цветных металлов)

Общепринятых стандартов для оценки импульсной прочности изоляции электродвигателей нет. В табл. 1 и 2 приведены уровни гарантированной импульсной прочности корпусной изоляции новых высоковольтных электродвигателей и бывших в эксплуатации по данным ряда

Таблица 1

Импульсная прочность изоляции U_m и допустимые коэффициенты перенапряжений k для новых электродвигателей 6 кВ

Источник	Формула	U_m , кВ	k
Публикация 34—1 (МЭК) [1]	—	23,5	4,8
По данным IEEE (США) [2]	$1,25\sqrt{2}(2U_n+1)$	23,0	4,7
Oil Companies Material Association (ОСМА) [3]	$5\sqrt{2}/3U_n$	24,5	5,0
По данным JEC-37 и TEC-14 (Япония) [2]	$1,25\sqrt{2}(2U_n+1)1,3$	30,0	6,1

национальных стандартов и МЭК применительно к сети 6 кВ. Необходимо отметить, что фактически новые электродвигатели могут выдерживать перенапряжения, которые в 1,5 раза превышают гарантированный уровень [2]. В отечественной практике импульсная прочность главной изоляции длительно эксплуатировавшихся электродвигателей оценивается коэффициентами импульса 0,8—1,2 относительно испытательного напряжения промышленной частоты [4], что составляет $0,8\sqrt{2}(2U_n+1) = 14,7$ кВ ($k=3$) для сети номинального напряжения 6 кВ.

Таблица 2

Импульсная прочность изоляции электродвигателей 6 кВ после длительной эксплуатации

Источник	Формула	U_m , кВ	k
По данным IEEE (США) [2]	$2\sqrt{2}U_n$	17,0	3,5
По данным JEC-37 и JEC-114 (Япония) [2]	$\sqrt{2} \cdot 1,5U_n \cdot 1,25 \cdot 1,3$	20,7	4,2

Перенапряжения в электродвигателях зависят от многих факторов: волновых сопротивлений обмоток и питающей сети, длины и номинальных параметров кабеля, начального напряжения в момент коммутации, тока среза, неодновременности замыкания и размыкания

контактов ВКА, наличия повторных пробоев и др. В свою очередь, эти факторы непостоянны, действуют в различных сочетаниях, большая часть из них подвержена случайным флуктуациям. В таких условиях аналитическая оценка коэффициента перенапряжений (КП) возможна лишь приближенными методами. Например, коэффициенты максимальных КП по отношению к амплитуде рабочего фазного напряжения в результате среза тока i_0 при отключении электродвигателей оцениваются распространенным выражением

$$k = [1 + (i_0 z / U_0)]^{1/2}, \quad (1)$$

где z — волновое сопротивление статорных обмоток; U_0 — начальное напряжение в момент коммутации, которое принимают равным амплитуде фазного напряжения. На рис. 1 изображены зависимости максимальных ожидаемых КП от тока среза ВКА, построенные по формуле (1) для высоковольтных двигателей экскаваторов.

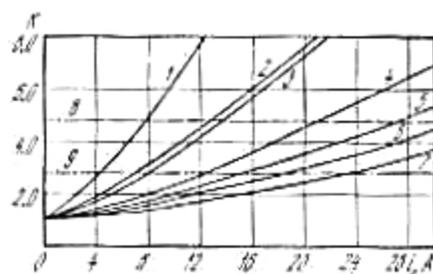


Рис. 1. Коэффициенты коммутационных перенапряжений при отключении синхронных двигателей экскаваторов со срезом тока i_0 :

1 — АЭ-113-4, 250 кВт; 2 — СДЭ2-14-29-6, 520 кВт; 3 — СДЭ2-15-34-6, 630 кВт; 4 — СДЭ2-16-36-6, 1000 кВт; 5 — СДЭ2-16-46-6, 1250 кВт; 6 — СДЭ2-17-46-6, 2000 кВт; 7 — СДЭ-17-57-6, 2500 кВт; 8 — гарантированная импульсная прочность новой изоляции; 9 — то же, после длительной эксплуатации

но эксплуатировавшихся электродвигателей СДЭУ-14-29-6, СДЭ2-15-34-6 экскаваторов ЭКГ-811 и, в особенности, электродвигателей АЭ-113-4 (экскаваторы ЭКГ-4,6 Б) такая опасность существует.

Таблица 3

Перенапряжения при коммутации электродвигателей СДЭУ-14-29-6 вакуумными выключателями ВВТЭ-10-20/630

Режим коммутации	Коэффициент перенапряжений		
	средний	дисперсия	максимальный
Включение	2,08	0,19	2,84
Отключение на холостом ходу	2,78	0,26	3,97
Отключение при пуске	2,28	0,25	3,69

Ранее проведенные исследования [5] свидетельствуют, что как с точки зрения минимальных перенапряжений, так и максимального ресурса для оперативных коммутаций сетевых двигателей и РУ-6 кВ экскаваторов наиболее целесообразно использовать вакуумные контакторы типа КВТ-6/10-400-4У2. Константиновского завода высоковольтной аппаратуры, имеющих минимальный из отечественных серийно выпускаемых ВКА средний ток среза 2 А, и, как следствие, отсутствие опасных перенапряжений [6].

При коммутации двигателей мощностью более 630 кВт вакуумными выключателями ВВТЭ-10-20/630 и ВВТП-10-20/630 средние перенапряжения также не превышают уровня гарантированной прочности изоляции.

Статистические параметры КП при оперативной коммутации такими выключателями электродвигателей СДЭУ-14-29-6, 520 кВт, 6 кВ, № 1108, 724 Черногорского разреза ПО «Красноярскуголь» в типовой схеме электроснабжения приведены в табл. 3.

Распределение вероятностей КП подчиняется нормальному закону с уровнем значимости $\alpha=0,01$. Для проверки на соответствие нормальному закону распределения использовались критерии Мессе (модификация критерия Колмогорова — Смирнова, уточненного для случая малых выборок), Хольвига, знаков и критерий серий [7].

При данном уровне КП вероятность превышения уровня испытательного импульсного напряжения новой изоляции рекомендуемого МЭК ($k=4,8$, табл. 1) оценивается как $1 - \Phi((4,80 - 2,78)/0,56) = 0,00014$. Последняя означает, что приблизительно в $1/0,00014=7150$ коммутациях можно ожидать одно превышение коммутационным перенапряжением испытательного уровня изоляции, что при четырех коммутациях в сутки (1460 в год) дает ресурс в 4,9 лет.

При этом необходимо отметить, что однократное за 5 лет превышение КП уровня гарантированной импульсной прочности изоляции еще не свидетельствует об опасности КП для изоляции, т. к. имеется значительный запас фактической импульсной прочности в начале эксплуатации [2].

Аналогичные статистические оценки вероятности появления КП при коммутации выключателями ВВТЭ-10-20/630 экскаваторных электродвигателей мощностью 1000 кВт и более показывают, что для них вероятность превышения КП гарантированного уровня импульсной прочности изоляции не более $3,45 \cdot 10^{-5}$, что допускает ресурс $1/3,45 \cdot 10^{-5} = 28985$ коммутаций в течение 19,85 лет (без учета старения изоляции).

Таким образом, экспериментальные исследования и данные эксплуатации показывают, что защита от КП требуется для экскаваторных двигателей мощностью 630 кВт и менее, коммутируемых серийно выпускаемыми в настоящее время вакуумными выключателями.

Как показали исследования [8], наиболее эффективная защита электродвигателей от КП может быть обеспечена с помощью RC-цепочек, комплектуемых из следующих элементов: высоковольтные резисторы типа ТВО или С5-40, 25—100 Ом, рассеиваемая мощность 100—150 Вт; бумажно-масляные конденсаторы типа К41-1, 25 кВ, емкостью 0,25 мкФ.

При отсутствии указанных конденсаторов можно использовать косинусные конденсаторы нулевого габарита типа КМ1-10,5-13 емкостью 0,7 мкФ.

Устройства защиты электродвигателей от КП по возможности должны размещаться в общей с вакуумным выключателем ячейке распределительного устройства. При отсутствии такой возможности (например, при использовании косинусных конденсаторов, имеющих значительные габариты) защитные устройства должны размещаться в отдельных ячейках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Граф Н. С. Расчет изоляции вращающихся электрических машин с использованием импульсного напряжения // *Электротехническая промышленность. Сер. Электрические машины.* — 1984. — Вып. 1 (155). — С. 13—14.
2. Ohkawa M., Koike H. Switching surge in vacuum switches devices and counter-measures // *Toshiba Rev., Int. Ed.* — 1976. — N 105. — P. 18—25.
3. Massar O. M. Surge protection of motors — is it sufficient? // *IEEE Trans.* — 1984. — PAS — 103. — N 8. — P. 2181—2185.

4. Козырев Н. А. Об импульсной прочности главной изоляции высоковольтных электрических машин // Электричество.— 1967.— № 4.— С. 73—75.

5. Эпштейн И. Я., Гончаров А. Ф. Влияние коммутационных перенапряжений на изоляцию синхронных двигателей экскаваторов // Горный журнал.— 1982.— № 10.— С. 46—47.

6. Гончаров А. Ф., Эпштейн И. Я. Применение вакуумных контакторов на экскаваторах // Уголь.— 1983.— № 1.— С. 39—40.

7. Федоров А. А., Каменева В. В. Основы электроснабжения промышленных предприятий.— М.: Энергоатомиздат, 1984.— 472 с.

8. Вакуумные выключатели в схемах управления электродвигателями / Воздвиженский В. А., Гончаров А. Ф., Козлов В. Б. и др.— М.: Энергоатомиздат, 1988.— 200 с.

Рекомендована кафедрой
электрификации горно-металлургического
производства КИЦМа

Поступила в редакцию
03.05.90