

МЕТОД ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

проф. В.Е. Пустоваров, к.т.н. Ю.А. Ясинский

В статье сформулированы основные требования к проведению импульсных испытаний изоляции обмоток высоковольтных электродвигателей и предложен алгоритм профилактических комбинированных испытаний изоляции обмоток, который наиболее полно учитывает комплекс этих требований.

Среднестатистические данные по некоторым крупным предприятиям, а также по тепловым и гидравлическим электростанциям, говорят о том, что на долю повреждений витковой изоляции обмоток высоковольтных электродвигателей приходится 22...25 % от общего числа повреждений этих электродвигателей, а на долю повреждений корпусной изоляции – 10...12 % от того же числа. Известно, что аварии высоковольтных электродвигателей на отмеченных выше объектах по причине пробоя изоляции их обмоток часто приводят к тяжелым последствиям.

Поэтому важной задачей является разработка методов диагностики изоляции обмоток электродвигателей, включая профилактические ее испытания. Перспективными в этом направлении являются разработки комбинированных методов диагностики изоляции обмоток – как корпусной, так и витковой. В частности, важными в этом направлении являются разработки комбинированных методов и способов профилактических испытаний в комплексе как корпусной, так и витковой изоляции.

При разработке таких методов необходимо учитывать следующее:

- корпусная и витковая изоляции обмоток высоковольтных электродвигателей имеют значительные запасы электрической прочности, если в них отсутствуют местные развитые дефекты;
- местные развитые дефекты резко снижают уровень электрической прочности корпусной и витковой изоляции и делают возможными пробои изоляции даже при рабочем напряжении;
- на корпусную и витковую изоляцию высоковольтных электродвигателей воздействуют внутренние перенапряжения, значительно превышающие величины рабочих напряжений;
- при воздействии внутренних перенапряжений на обмотки высоковольтных электродвигателей изоляция этих обмоток может быть пробита не только в местах сосредоточения грубых местных дефектов, но и при менее значительных ее ослаблениях.

Известно, что для электродвигателей 6 кВ средняя импульсная

прочность новой витковой изоляции составляет 12...20 кВ или $(2,5...4,1)U_{\phi m}$ (где $U_{\phi m}$ – амплитуда фазного напряжения обмотки, кВ), минимальная импульсная прочность составляет 4,1...10,4 кВ или $(0,84...2,1)U_{\phi m}$. Для витковой изоляции, бывшей в эксплуатации, средняя импульсная прочность составляет 14,6...20 кВ, или $(2,7...3,8)U_{\phi m}$, а минимальная 5,7...8,8 кВ или $(1,1...1,6)U_{\phi m}$ [1, 2].

Таким образом, для электродвигателей 6 кВ (как новых, так и бывших в эксплуатации) средняя импульсная прочность витковой изоляции значительно выше амплитуды фазного напряжения машины, а минимальная – близка к ней. Минимальные значения импульсной прочности витковой изоляции, полученные при большом количестве испытаний изоляции большого объема образцов, в первом приближении могут быть приняты за минимальную прочность витковой изоляции всей обмотки машины [1, 2].

Установлено, что для всех характерных типов витковой изоляции, прошедших импульсные испытания, при увеличении крутизны волны импульсного испытательного напряжения от 4 до 160 кВ/мкс импульсная прочность увеличивается примерно на 15...30 % [2].

Поэтому при значительной крутизне волны импульсного испытательного напряжения его амплитуду следует брать на 15...30 % выше, чем в случае испытаний импульсами с пологим фронтом (при крутизне ниже 4 кВ/мкс) [1, 3].

Дополнительным параметром, который в данном случае можно использовать, является коэффициент импульса K_u :

$$K_u = \frac{U_{имп}}{U_{\approx np}},$$

где $U_{имп}$ – амплитуда пробивного импульсного напряжения, кВ; $U_{\approx np}$ – амплитуда пробивного напряжения на частоте 50 Гц.

Средние значения коэффициента импульса K_u для витковой изоляции изменяются в пределах от 0,8 до 1,6 в зависимости от типа изоляции, крутизны волны, импульсного напряжения, состояния изоляции (новая или бывшая в эксплуатации). Большие значения K_u относятся к новой изоляции, а $K_u < 1$ характерно для изношенной изоляции [1, 2]. Отсюда следуют два важных вывода:

- испытание напряжением частоты 50 Гц не гарантирует необходимый уровень импульсной прочности изоляции;
- импульсное напряжение обладает избирательной способностью к развитым местным дефектам изоляции, чем напряжение частоты 50 Гц.

При разработке и внедрении импульсных испытаний витковой изоляции важным вопросом является оценка электрического старения изоляции. Как показали экспериментальные исследования, воздействие импульсных напряжений амплитудой равной $0,5U_{cp}$ (где U_{cp} – среднее про-

бивное импульсное напряжение) при любом числе импульсов не вызывает снижение импульсной прочности витковой изоляции. Относительно корпусной изоляции обмоток высоковольтных электродвигателей можно сделать аналогичные выводы. Известно, что воздействие на корпусную изоляцию любого числа импульсов с амплитудой $(3 \dots 5) U_{ном}$ не вызывает в ней ухудшений и является безопасным. Коэффициент K_u для корпусной изоляции может изменяться от 0,7 до 1,5 в зависимости от состояния и типа изоляции, длительности фронта импульса [3]. Внутренние перенапряжения возникают при включениях электродвигателя в сеть и отключениях от сети.

Рассмотренные выше предпосылки позволяют сформулировать основные требования для разработки метода комбинированных профилактических испытаний изоляции обмоток высоковольтных электродвигателей:

- величины испытательных напряжений должны быть такими, чтобы при испытаниях выявлялись не только грубые развитые дефекты, но и менее опасные ослабленные места, в которых при дальнейшей эксплуатации могут развиваться грубые сосредоточенные дефекты;
- испытания должны проводиться без каких-либо частичных разборок электродвигателя после отключения его от сети;
- метод должен обеспечивать создание требуемых величин импульсных испытательных напряжений на корпусной и витковой изоляции по всей испытываемой обмотке.

Сформулированные основные требования к методу профилактических испытаний изоляции обмотки можно выполнить в испытательной установке, которая позволяет реализовать метод предварительного заряда обмотки (рис. 1).

Конденсатор $C1$, заряжаясь через левую (по схеме) половину искрового разрядника 3, обеспечивает предварительный заряд обмотки 4 относительно корпуса до максимального напряжения $U_{макс}$. При срабатывании правой (по схеме) половины искрового промежутка 3 создается разряд конденсаторов $C1$ и $C2$ на испытываемую обмотку. Тем самым, по обмотке пробегает волна импульсного напряжения $2U_{макс}$, воздействующая как на корпусную, так и на витковую изоляцию.

Величина напряжения $U_{макс}$ регулируется источником 1 переменного (или постоянного) напряжения. Величина виткового испытательного напряжения дополнительно регулируется за счет изменения крутизны фронта падающей на обмотку волны напряжения путем изменения величины балластных резисторов $R1$ и $R2$.

Требуемые величины витковых испытательных напряжений могут быть рассчитаны, исходя из заданного значения $U_{макс}$ по формуле:

$$U_{вит} [кВ] = \frac{U_{макс} \cdot K_{\phi}}{n_{вит}}, \quad (1)$$

где $U_{вит}$ – межвитковое напряжение; $n_{вит}$ – количество витков; K_{ϕ} – коэффициент затухания величины импульсного напряжения по длине обмотки.

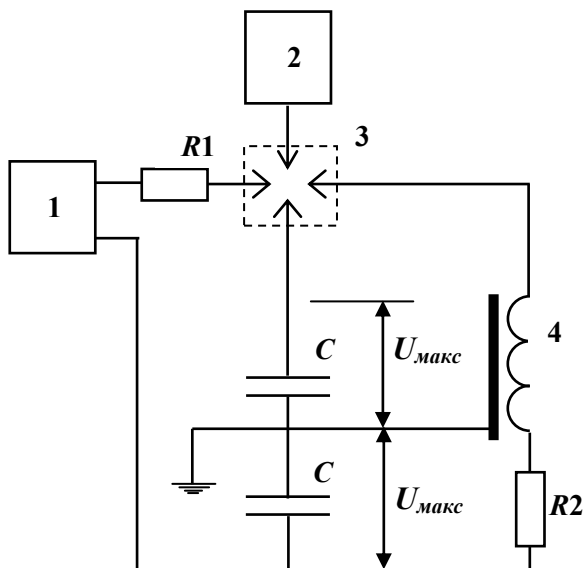


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема комбинированных профилактических испытаний изоляции обмоток высоковольтных электродвигателей

Формула (1) позволяет определить величину напряжения $U_{вит}$ в любой части обмотки, задаваясь значениями K_{ϕ} по [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Балдин Е.П., Козырев Н.А. Электрическая прочность витковой изоляции электрических машин высокого напряжения // Сб. статей под ред. Л.Г. Мамиконянца. – М.: ГЭИ. – 1979. – С. 46 – 64.
2. Козырев Н.А. Изоляция электрических машин и методы ее испытания. – Л.: ГЭИ, 1974. – 452 с.
3. Воскресенский В.Ф. Испытания электрооборудования. – М.: ГЭИ, 1979. – 408 с.

Поступила 5.11.2002

ПУСТОВАРОВ Владимир Евгеньевич, канд. техн. наук, профессор, профессор УИПА. В 1961 году окончил Харьковское ВАИВУ. Область научных интересов – радиоэлектроника и электроэнергетика. E-mail: vladimir@ic.kharkov.ua.

ЯСИНСКИЙ Юрий Антонович, канд. техн. наук, доцент УИПА. В 1964 году окончил ХПИ. Область научных интересов – высоковольтные испытания изоляции электрооборудования.