

Для осуществления д. агностики корпусной изоляции предложены новый метод расчета параметров профилактических испытаний изоляции и комбинированная установка

УДК 621.313.34

Ю.А. Ясинский, канд.техн.наук
Украинская инженерно- педагогическая академия

Н.Е. Ходин, И.А. Шапкин
ОП Запорожская АЭС

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСНОЙ ИЗОЛЯЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Введение.

Надежность и долговечность высоковольтных электродвигателей (сокращенно ВВЭД) зависит от многих факторов. Анализ литературных данных [1-3] показывает, что эти факторы можно условно подразделить на три группы.

Первая группа факторов – конструктивные особенности и качество изготовления, которые полностью обусловлены процессом разработки и изготовления ВВЭД.

Вторая группа факторов определяется режимом эксплуатации ВВЭД, величиной и частотой изменения напряжения сети, температурой входящего воздуха и охлаждающей среды, предельными значениями температур подшипников, обмоток, активной части стали, числом пусков, предельными вибрациями.

К третьей группе относятся факторы, целиком зависящие от организации ремонта ВВЭД и качества его проведения.

Действие многих факторов из перечисленных групп приводит к появлению в корпусной изоляции (сокращенно КИ) обмоток опасных дефектов и повреждений, влекущих за собой внезапные отказы обмоток (по данным [1-6] среди других элементов ВВЭД отказы их обмоток являются преобладающими).

Предотвратить внезапные отказы КИ обмоток можно путем внедрения диагностики их технического состояния в условиях эксплуатации и ремонта ВВЭД.

Применительно к КИ ВВЭД в понятие диагностики технического состояния авторы данной статьи вкладывают следующее:

- контроль характеристик КИ в процессе эксплуатации ВВЭД;
- контроль уровня электрической прочности КИ при проведении профилактических испытаний в процессе эксплуатации ВВЭД;
- выявление дефектных мест в КИ в процессе ремонта ВВЭД, которые существенно снижают электрическую прочность КИ и могут быть пробиты при действии на изоляцию эксплуатационных электрических нагрузок (рабочих напряжений и перенапряжений).

Как показывает анализ публикаций [1-6], в которых освещается опыт разработок и применения контроля характеристик КИ в процессе эксплуатации ВВЭД, такой контроль не дает четкого и, главное, однозначного ответа об уровне электрической прочности КИ. Поэтому такой контроль может быть использован только для оценки общего состояния изоляции.

В этом плане представляет интерес работа Берберяна Г.В. [7], в которой предлагается использовать экспертную классификационную схему возникновения и развития дефектов в КИ гидрогенераторов во времени в условиях действия нормальных тепловых и электрических нагрузок. Автор рассматривает временные уровни развития дефектов при таких нагрузках, начинающихся от ключевого дефекта (1-й уровень) и заканчивающихся отказом КИ (7-й уровень). В качестве ключевого дефекта принимается старение изоляции, соответствующее 2-ому уровню. Для анализа событий и фактов в

такой классификационной схеме автор предлагает использовать теорию “нечетких множеств”. Он считает, что по результатам измерений и их обработке по предлагаемому в [7] алгоритму можно давать оценку величине ресурса КИ, а также определять скорость его изменения, а следовательно, предсказать возникновение вероятного отказа КИ во времени.

На наш взгляд предложенную в [7] теорию можно использовать для диагностики крупных ВВЭД, у которых существует контроль тепловых и электрических нагрузок. Это-возможность оценки скорости изменения ресурса КИ.

Такую оценку можно применять для определения сроков проведения профилактических испытаний КИ ВВЭД повышенным напряжением.

Считается, что наиболее эффективным методом выявления опасных дефектов в КИ в условиях ремонта ВВЭД является проведение испытаний КИ повышенным напряжением такой формы, при которой все дефекты, существенно снижающие электрическую прочность изоляции, будут выявлены в процессе испытаний [7]. Как показывает практика проведения профилактических испытаний КИ ВВЭД, одной универсальной формы испытательного напряжения не существует [1-6]. Следовательно, нужны комбинационные сочетания испытательных напряжений различной формы, чтобы достичь требуемого результата.

Целью настоящей работы является разработка методики определения сроков проведения профилактических испытаний КИ ВВЭД, а также нового комбинированного метода профилактических испытаний, при использовании которого будут выявляться все опасные дефекты в КИ.

1. Разработка методики определения сроков проведения профилактических испытаний КИ ВВЭД

Применительно к изоляции силовых трансформаторов методика определения сроков проведения профилактических испытаний разработана в [4]. Как показал анализ, эту методику можно применить и к КИ ВВЭД. В этом случае сущность такой методики состоит в использовании двух основных характеристик КИ: “кривой срока службы” и кривой зависимости пробивного напряжения от времени и величины приложенного напряжения [5]. С достаточной для диагностики КИ ВВЭД точностью обе эти характеристики КИ могут быть построены по данным оценочных испытаний образцов новой изоляции и данным эксплуатации с использованием выражений (1) – (3) из [4].

Из выражения (3) в [4] следует, что вероятность пробоя КИ в процессе проведения ее профилактических испытаний возрастает линейно с увеличением времени испытания $t_{исп}$ и экспоненциально с ростом величины испытательного напряжения $U_{исп.i}$. Следовательно, для увеличения эффективности испытаний, которая будет повышаться в случае, если возрастет вероятность пробоя КИ в процессе испытаний (а не в условиях эксплуатации ВВЭД), надо увеличивать суммарное время профилактических испытаний.

По результатам профилактических испытаний можно определить вероятную величину пробивного напряжения в зависимости от текущих значений величины приложенного напряжения U и времени его приложения t , используя выражение (5) из [4] :

$$U_{пр} = U_{пр.0} (U_{пр.0} / U)^{-t/T_{сл}}, \quad (1)$$

где $T_{сл}$ – текущее значение срока службы изоляции, лет.

Выражение (1) имеет смысл, если $t_0 \leq t$ и $U \leq U_{\text{пр.о}}$. В момент, когда $U = U_{\text{пр.о}}$, наступит пробой КИ. Каждому значению напряжения U соответствует определенный срок службы $T_{\text{сл}}$.

Для выбора числа профилактических испытаний и периода времени между испытаниями исходной информацией по [4] являются: величина испытательного напряжения $U_{\text{исп.и}}$, время испытания $t_{\text{исп}}$, максимальный интервал времени между первым и последним (планируемым) испытанием $T_{\text{макс}}$, где пробивное напряжение будет меньше испытательного.

Для определения промежутка времени $T_{\text{макс}}$ будем исходить из предпосылки, что между соседними испытаниями не должно происходить аварийного пробоя КИ. Тогда согласно с [4]:

$$\Delta U_{\text{пр}} = U_{\text{пр}}(T_1) - U_{\text{пр}}(T_2) = U_{\text{исп1}} - U_{\text{пр.мин}}, \quad (2)$$

где $\Delta U_{\text{пр}}$ – снижение пробивного напряжения между соседними испытаниями; T_1 , T_2 – соответственно периоды времени, которые соответствуют начальному и конечному испытанию; $U_{\text{исп1}}$ – величина испытательного напряжения при первом профилактическом испытании; $U_{\text{пр.мин}}$ – минимальная электрическая прочность КИ.

Для использования выражения (2) необходимо учитывать следующие допущения [4]:

- между первым и последним профилактическими испытаниями КИ постоянно находится под воздействием рабочего напряжения;
- чрезмерные по величине внутренние перенапряжения на обмотки ВВЭД в этот период отсутствуют.

В момент времени T_1 максимальное значение испытательного напряжения $U_{\text{исп}}$ определится следующим образом:

$$U_{\text{исп.макс}} = U_{\text{пр.0}} (U_{\text{пр.0}} / U_{\text{ф}})^{-T_1 / T_{\text{сл.н}}}. \quad (3)$$

В момент времени T_2 минимальное пробивное напряжение изоляции $U_{\text{пр.мин}}$ определится по выражению:

$$U_{\text{исп.мин}} = U_{\text{пр.0}} (U_{\text{пр.0}} / U_{\text{ф}})^{-T_2 / T_{\text{сл.н}}}. \quad (4)$$

Прологарифмировав выражения (3) и (4), определим период времени $T_{\text{макс}}$:

$$T_{\text{макс}} = \ln(U_{\text{исп.макс}} / U_{\text{пр.мин}}) \cdot \exp[(U_{\text{пр.о}} - U_{\text{ф}}) / B_e] / \ln(U_{\text{пр.о}} / U_{\text{ф}}). \quad (5)$$

В выражение (5) входят все основные исходные данные, правильные выбор и задание которых гарантируют с вероятностью 0,95 отсутствие аварийных пробоев КИ ВВЭД в течение времени $T_{\text{макс}}$ между начальным и конечным профилактическими испытаниями.

2. Разработка комбинированной испытательной установки

Как показывает опыт проведения профилактических испытаний КИ ВВЭД, изложенный в [3;6], при испытаниях повышенным напряжением промышленной частоты 50 Гц и повышенным выпрямленным напряжением выявляются все развитые опасные дефекты в КИ ВВЭД. В настоящее время эти испытательные напряжения создаются в отдельных самостоятельных установках и испытания КИ ними проводятся также отдельно, причем в 85% случаев проводятся только испытания повышенным напряжением.

ем частоты 50 Гц. Общим недостатком всех существующих испытательных установок является отсутствие возможности точного определения места расположения выявленных дефектов в КИ ВВЭД при испытаниях.

Авторами данной статьи предложена комбинированная установка, позволяющая проводить испытания КИ ВВЭД двумя формами испытательного напряжения (частоты 50 Гц и выпрямленным) в заданной последовательности, а также точно определять место выявленного дефекта в КИ. Блок-схема установки представлена на рис.1.

Принцип действия комбинированной установки заключается в следующем. С помощью регулятора напряжения 1, подключенного к низкой стороне испытательного трансформатора 2, требуемое испытательное напряжение на его выходе подается на высоковольтный коммутатор 7, с помощью которого задается программа испытаний.

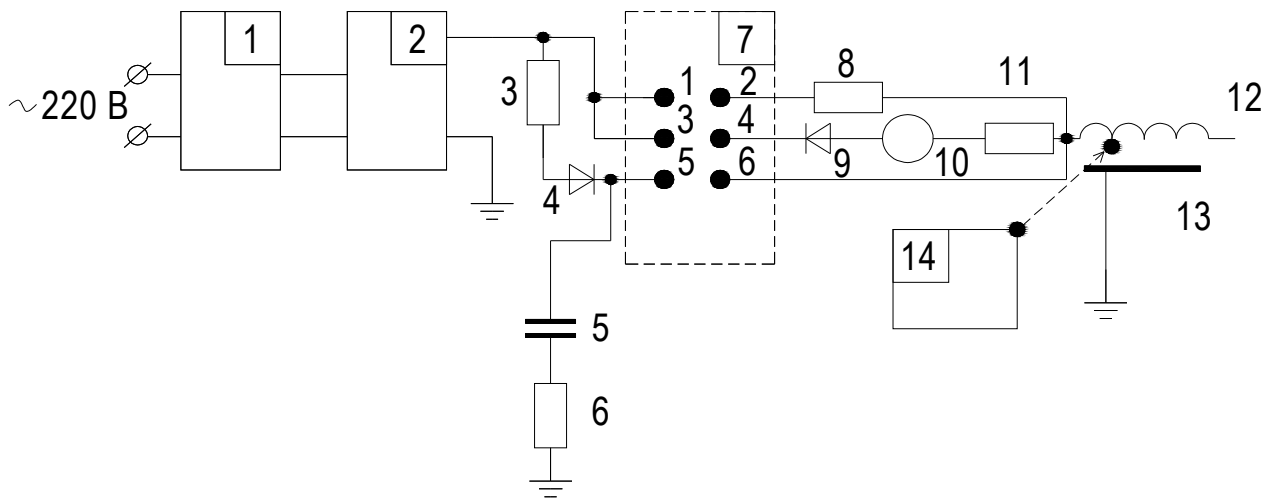


Рис.1. Блок-схема комбинированной испытательной установки

С выхода “2” коммутатора 7 испытательное напряжение промышленной частоты 50 Гц через балластный резистор 8 подается на обмотку 12 ВВЭД относительно корпуса 13.

С выхода “4” коммутатора 7 высокое напряжение подается на полупроводниковый выпрямитель 9, выпрямленное испытательное напряжение подается через измеритель тока утечки 10 и балластный резистор 11 на обмотку 12 относительно корпуса 13.

При обнаружении дефекта в КИ обмотки 12 с помощью обычной схемы индикации по возрастанию тока в обмотке (на рис.1 обычная схема индикации не показана) на коммутатор 7 подается команда на включение его выхода “б” и конденсатор 5 разряжается через балластный резистор 6 на обмотку 12 относительно корпуса 13 и дефектное место в КИ выжигается по каналу пробоя, созданного ранее действием испытательного напряжения. Если это место в КИ визуально не фиксируется, то зона дефекта сканируется инфракрасным оптическим пирометром 14 и точное место дефекта определяется по максимальной температуре его нагрева.

Выводы.

Предложена методика расчета параметров профилактических испытаний КИ ВВЭД, пригодная для любой формы испытательного напряжения.

Достоинством методики является возможность расчета этих параметров для проведения цикла профилактических испытаний КИ на протяжении всего срока службы ВВЭД.

Расчеты требуемых характеристик КИ по предложенным в данной статье формулам (1)-(5), могут быть выполнены для любой из применяемых в ВВЭД конструкций КИ.

Предложена новая комбинированная испытательная установка для проведения профилактических испытаний КИ ВВЭД.

Установка позволяет проводить комбинированные испытания КИ двумя формами испытательного напряжения – частоты 50 Гц и выпрямленным, что позволяет выявлять все опасные дефекты в КИ.

Достоинством установки и ее новизной является возможность определения места дислокации выявленных при испытаниях дефектов.

Литература

1. Бернштейн Л.М. Изоляция электрических машин общепромышленного применения. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Энергия, 1977. – 367 с.
2. Внутренние перенапряжения в электрических сетях высокого напряжения переменного тока. (Итоги науки и техники). – М.: Изд-во АН СССР, 1964. – 242 с.
3. Ермолин Н.П., Жерихин И.П. Надежность электрических машин. – Л.: Энергия, 1976. – 248 с.
4. Ясинский Ю.А. Выбор параметров профилактических испытаний изоляции трансформаторов / Международный научно-технический журнал Светотехника и электро-энергетика.-Харьков,2007.- №1 (9).-С. 89-92.
5. Козырев Н.А. Изоляция электрических машин и методы ее испытания. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1967. – 264 с.
6. Кулаковский В.Б. Профилактические испытания и дефекты изоляции электрических машин. – М.: Энергия, 1970. – 184 с.
7. Берберян Г.В. Определение принадлежности нечетных подмножеств для принятия решений в системе тепловой диагностики гидрогенераторов./Вестник государств. инженерного университета Армении.-Ереван:ГНУА.-2001.- №2.-С.63-68.

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОРПУСНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРОДВИГУНА ВИСОКОЇ НАПРУГИ Ю.О. Ясинський, М.Є. Ходін, І.О. Шапкін

Для проведення діагностики корпусної ізоляції запропоновані новий метод розрахунку параметрів профілактичних випробувань ізоляції та комбінована установка

THE DIAGNOSTIC OF TECHNICAL CONDITION OF A BODY INSULATION OF HIGH-VOLTAGE ELECTRICAL ENGINES

Y.A. Jasinsky, N.E. Hodin, I.A. Shapkin

For realization of a diagnostic of a body insulation the new method of calculation of a parameters by a precautionary test of a insulation and the combined installation is proposed