

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОБМОТКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ИХ ИЗОЛЯЦИИ

проф. В.Е. Пустоваров, к.т.н. Ю.А. Ясинский,
Т.А. Писаренко, В.Н. Новосад

Рассмотрены основные особенности воздействия импульсных напряжений различной формы на межвитковую изоляцию обмоток высоковольтных электродвигателей и приведены результаты экспериментальных исследований. Обоснована схема соединения фаз обмотки при проведении профилактических испытаний ее изоляции.

Постановка проблемы и анализ публикаций. Существующие установки для испытания междувитковой изоляции обмоток высоковольтных электродвигателей используют испытательное напряжение в форме аperiodических импульсов [1 – 3, 5]. Существенным недостатком таких испытаний является резко неравномерное распределение напряжения такой формы вдоль обмотки при испытаниях целых фаз.

Цель статьи. Представление результатов экспериментальных исследований воздействия импульсов напряжения колебательной формы на обмотки электродвигателя и разработка схемы соединения фаз обмотки для проведения профилактических испытаний междувитковой изоляции.

Особенностью профилактических испытаний междувитковой изоляции повышенным напряжением в форме высокочастотных колебательных импульсов $U_{вч}$ является наличие электрических нагрузок одновременно на междувитковой и корпусной изоляции обмотки электродвигателя. Поэтому схема испытаний должна обеспечивать равномерное распределение междувитковых испытательных напряжений и потенциалов по всей длине обмотки, а также одновременную индикацию дефектов в витковой и корпусной изоляции. Равномерность распространения перенапряжений внутри обмотки зависит от начальных условий, определяющих их появление на одной, двух или трех одновременно фазах обмотки электродвигателя [1 – 6]. Для подтверждения этого факта был проведен специальный эксперимент. Суть его заключается в подаче импульсного напряжения U_i от специального генератора импульсов, имитирующего

импульсные перенапряжения, на одну, две или три одновременно фазы обмотки высоковольтного электродвигателя типа СТД-800 и измерений с помощью осциллографа СИ-65 междувитковых напряжений и потенциалов на секциях обмотки по отношению к корпусу электродвигателя. Схема опыта показана на рис. 1.

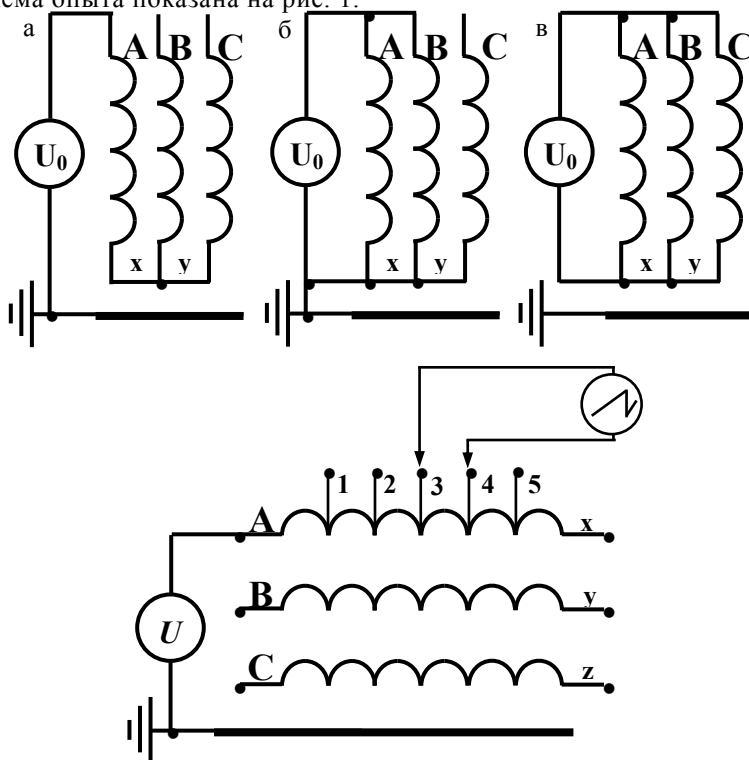


Рис. 1. Схема осциллографирования импульсных напряжений в обмотке высоковольтного электродвигателя СТД-800: а, б, в – схемы подачи импульсного напряжения U_0 на одну, две и три фазы обмотки соответственно; г – схема подключения электронного осциллографа к выводам фазы Ах

По данным измерений построены кривые распределения в обмотке междувитковых напряжений (рис. 2) и потенциалов относительно корпуса электродвигателя (рис. 3) для всех фаз обмотки. На рис. 2 и 3 приняты следующие обозначения: U_k – напряжение на секциях; U_0 – напряжение на входе обмотки; p_k – порядковый номер секции в фазе.

Эти кривые подтверждают сделанный ранее вывод о неравномерности

электрической нагрузки изоляции обмотки в отдельных ее фазах [4 – 6]. Еще один важный вывод вытекает из анализа кривых распределения на рис. 2, в и 3, в, что при подаче импульсного напряжения $U_{и}$ одновременно на входные зажимы трех фаз обмотки электродвигателя его распределение в обмотке будет наиболее равномерным. Это можно объяснить действием ближних и дальних электромагнитных связей между секциями разных фаз обмотки, лежащими в одних и тех же пазах сердечника статора электродвигателя. Этот вывод подтверждают теоретические и экспериментальные исследования других авторов [4 – 6].

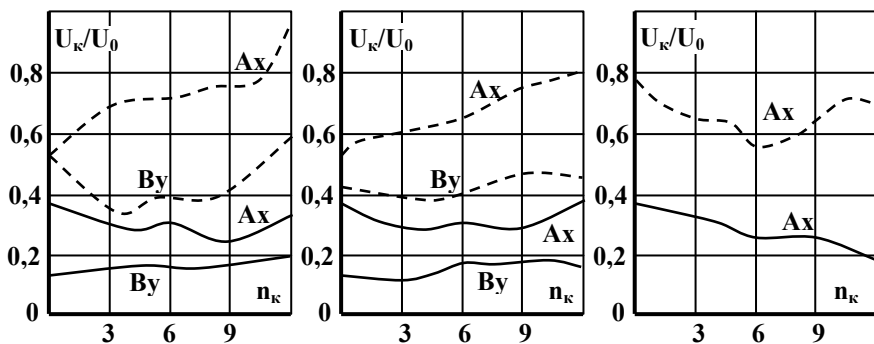


Рис. 2. Распределение междусекционных импульсных напряжений по секциям фаз статорной обмотки высоковольтного электродвигателя

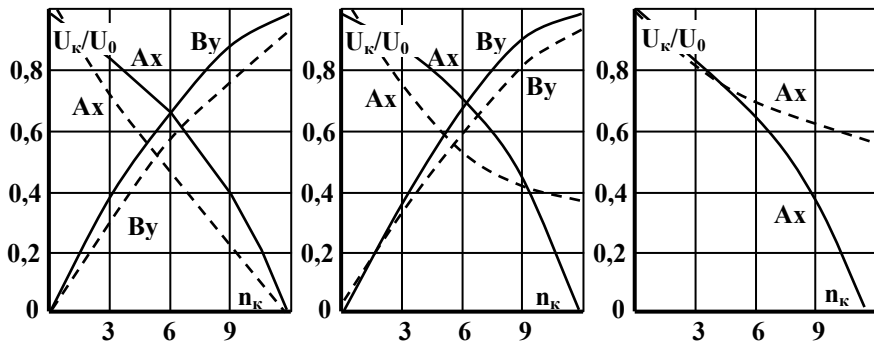


Рис. 3. Распределение импульсных напряжений на секциях фаз статорной обмотки по отношению к корпусу высоковольтного электродвигателя

На основании изложенного в статье предлагается и обосновывается схема соединения фаз обмотки, пригодная для проведения профилактических испытаний междувитковой изоляции обмоток высоковольтных

электродвигателей, подобная схеме на рис. 1, в: все три фазы обмотки соединены согласно и параллельно. В качестве источника испытательного высокочастотного напряжения $U_{вч}$ применяется импульсный аппарат ВЧФ-35 УЗПИ. Ниже приведен анализ предложенной схемы профилактических испытаний витковой изоляции.

Для исследования волновых процессов обмотку представляют схемой замещения в виде электрической цепи с сосредоточенными (рис. 4, а) или распределенными (рис. 4, б) параметрами [4, 7].

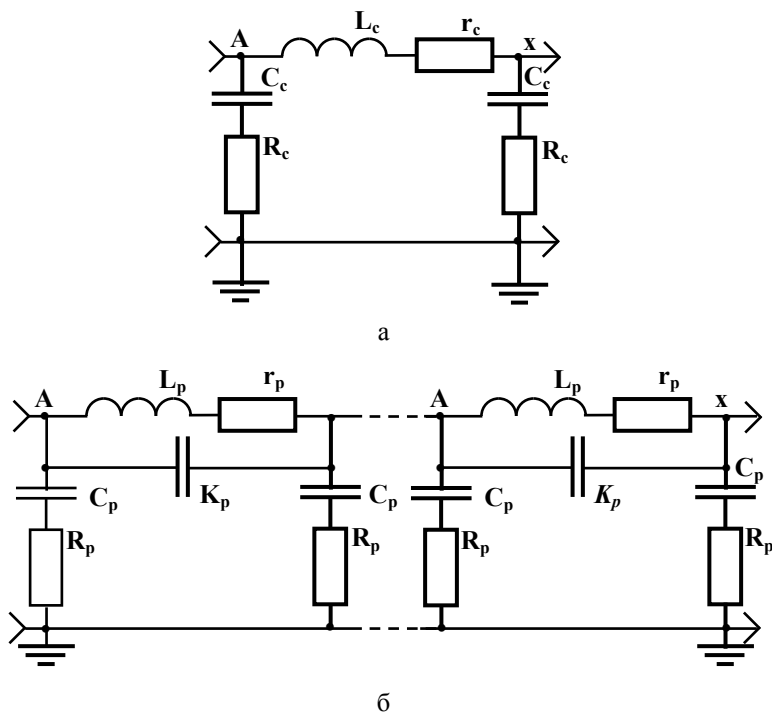


Рис. 4. Схема замещения обмотки статора высоковольтного электродвигателя с сосредоточенными (а) и распределенными (б) параметрами для импульсного и высокочастотного режимов

Распределение высокочастотного напряжения $U_{вч}$ в обмотке можно проанализировать по схеме замещения с распределенными параметрами. Строгий математический анализ таких схем замещения очень сложен и требует проведения специальных исследований для учета зависимости величины распределенных параметров обмотки от частоты [4, 5]. Ниже предлагается метод приближенного анализа схемы замещения с распре-

ленными параметрами, обладающий достаточной для практики профилактических испытаний точностью. Распределенные параметры обмотки имеют следующее обозначение: C_p – емкость элемента обмотки на корпус; L_p – индуктивность элемента; $C_{пр}$ – продольная емкость элемента; r_p – сопротивление элемента, эквивалентное потерям в меди; R_p – сопротивление элемента, эквивалентное потерям в стали при высоких частотах.

Распределенные параметры обмотки можно достаточно точно определить по ее сосредоточенным параметрам C_c, L_c, r_c, R_c , обозначение которых аналогично соответствующим распределенным, используя несложные расчеты и экспериментальные данные. Для получения необходимых экспериментальных данных достаточно снять характеристики холостого хода $U_{xx} = f(t)$ и короткого замыкания $i_{кз} = f(t)$ обмотки. Методика такого эксперимента подробно изложена в [4] и поэтому здесь не рассматривается. Характеристики $U_{xx} = f(t)$ и $i_{кз} = f(t)$ обмотки показаны на рис. 5.

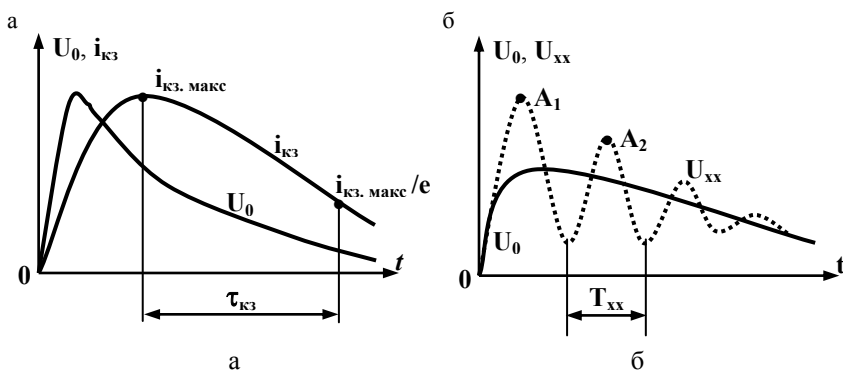


Рис. 5. Режимы короткого замыкания (а) и холостого хода (б) статорной обмотки высоковольтного электродвигателя при импульсных воздействиях

Параметр L_c определяется по номинальным данным электродвигателя

$$L_c = \frac{k_{ст}}{\omega_{вч}} \sqrt{\left(\frac{U_H}{I_H \sqrt{3}}\right)^2 - r_{обм}^2}, \quad (1)$$

где U_H – номинальное напряжение; I_H – номинальный ток; $r_{обм}$ – нормированное значение сопротивления обмотки постоянному току (определяется по расчетному формуляру); $k_{ст}$ – коэффициент, учитывающий процессы в стали; $\omega_{вч}$ – частота колебаний напряжения $U_{вч}$.

Рекомендуемое выражение (1) не требует определения и использования многих геометрических параметров обмотки. Сопротивления r_c и R_c

определяются соответственно по характеристикам $U_{xx} = f(t)$ и $i_{кз} = f(t)$:

$$r_c = \frac{L_c}{\tau_{кз}} - (R_\Gamma - R_{ш}), \quad (2)$$

где $\tau_{кз}$ – постоянная времени в режиме короткого замыкания обмотки (определяется по характеристике $i_{кз} = f(t)$); R_Γ – разрядное сопротивление генератора импульсов U_0 ; $R_{ш}$ – сопротивление шунта при измерениях тока короткого замыкания.

Сопротивление R_c определяется по степени затухания напряжения U_{xx} на разомкнутом конце обмотки (рис. 5, а)

$$R_c = \frac{2L_c \ln(A_1/A_2)}{T_{xx}}, \quad (3)$$

где A_1, A_2 – амплитуды 1-го и 2-го колебаний напряжения U_{xx} ; T_{xx} – период колебаний напряжения U_{xx} .

Зная T_{xx} , можно определить параметр C_c :

$$C_c = \frac{T_{xx}}{4\pi^2 L_c}. \quad (4)$$

Параметры r_p, C_p, R_p можно определить по формулам, предложенным в [4 – 6]:

$$r_p = r_c / n; \quad C_p = C_c / n; \quad R_p = R_c \cdot n, \quad (5)$$

где n – число секций обмотки, учтенных в схеме замещения. Параметр $C_{пр}$ для секции можно определить из [4].

С достаточной степенью точности параметр L_p можно определить из выражения [5]:

$$L_p = \frac{L_c}{mk_p + n}, \quad (6)$$

где m – удвоенное число электромагнитных связей в обмотке (подсчитывается по конкретной схеме обмотки электродвигателя); k_p – коэффициент связи между звеньями схемы замещения.

Коэффициент k_p равен [5, 6]:

$$k_p = (0,7 \dots 0,8) \cdot \gamma_1 / \gamma, \quad (7)$$

где γ – число эффективных проводников в секции; γ_1 – число эффективных проводников в секции, связанных с другими звеньями.

Числовые значения γ и γ_1 определяются по конкретной схеме обмотки электродвигателя.

Выводы.

1. Предложена схема параллельного и согласного соединения трех

фаз обмотки высоковольтного электродвигателя для реализации в испытательной установке при проведении профилактических испытаний межвитковой изоляции.

2. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований, подтверждающие целесообразность применения при профилактических испытаниях междувитковой изоляции обмоток высоковольтных электродвигателей схемы в виде параллельного и согласного соединения трех фаз обмотки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бажанов С.А. Профилактические испытания изоляции электрооборудования высокого напряжения. – М.: Энергия, 1987. – 288 с.
2. Блушинский А.Б. Прибор для испытания витковой изоляции электрических машин и аппаратов. – М.: Информэлектро, 1982, Э-82-53/15. – 11 с.
3. Выбор аппаратуры для профилактических испытаний изоляции электрооборудования. ОРГРЭС. – М.: Энергия, 1982. – 247 с.
4. Глазков Ю.А., Горский А.Н. О схеме замещения обмотки электродвигателя в синусоидальном и импульсном режимах // Труды ЛИИЖТ. – Л., 1981. – Вып. 313. – С. 128 – 135.
5. Геллер Б., Веверка А. Волновые процессы в электрических машинах. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 485 с.
6. Кулаковский В.Б. Профилактические испытания и дефекты изоляции электрических машин: 3-е изд., испр. и доп. – М.: Энергия, 1979. – 184 с.
7. Ясинский Ю.А. Повышение надежности высоковольтного электрооборудования // Бумажная промышленность. – 1984. – № 5. – С. 28 – 29.

Поступила 18.08.2004

ПУСТОВАРОВ Владимир Евгеньевич, канд. техн. наук, профессор, профессор УИПА. В 1961 году окончил Харьковское высшее авиационно-инженерное военное училище. Область научных интересов – радиоэлектроника и электроэнергетика.

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

ПИСАРЕНКО Татьяна Александровна, аспирант Украинской инженерно-педагогической академии. В 2002 году окончила магистратуру УИПА. Область научных интересов – электроэнергетика, вопросы надежности оборудования.

НОВОСАД Вячеслав Николаевич, студент Украинской инженерно-педагогической академии. Область научных интересов – электроэнергетика.