

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника
Научная специальность (профиль) 05.09.02 Электротехнические материалы и изделия
Инженерная школа энергетики
Отделение Энергетики и электротехники

Научно-квалификационная работа

Тема научно-квалификационной работы
ВЛИЯНИЕ МОДУЛИРОВАННОГО ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НА МЕЖВИТКОВУЮ ИЗОЛЯЦИЮ

УДК 621.3.048.3-049.7

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A4-27	Болгова Вероника Андреевна		

Руководителя профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор, руководитель ОЭЭ,	Дементьев Юрий Николаевич	PhD, доцент		

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Леонов Андрей Петрович	к.т.н., доцент		

АННОТАЦИЯ

Во время эксплуатации электрических машин их изоляция подвергается действию температуры, электрическим и механическим воздействиям, а также влиянию окружающей среды. Это приводит к старению, ухудшению свойств и разрушению диэлектрических материалов, сокращая срок службы электрической машины в целом. Применение преобразователей частоты для регулирования скорости электрических двигателей значительно повысило значимость электрических воздействий на изоляцию низковольтных обмоток, изменив характер ее старения.

В настоящее время в современных преобразователях частоты предлагается использовать полупроводниковые приборы нового поколения на основе карбида кремния (SiC). Они обладают рядом преимуществ, такими как высокие рабочие напряжения и температуры, высокая частота переключений, что позволяет расширить функциональные возможности силовой электроники. В то же время, их применение приводит к повышению электрических и тепловых нагрузок, что может негативно сказываться на функционировании электрической машины. Изменение эксплуатационных факторов обуславливает необходимость уточнения и внесения корректировок в существующие методы испытаний и модели оценки показателей надежности.

В связи с этим, данная работа посвящена исследованию влияния частотного регулирования на надежность системы изоляции обмотки электрического двигателя. Рассмотрены особенности условий эксплуатации низковольтных обмоток в частотно-регулируемом приводе (ЧРП), выявлены причины негативного воздействия данного метода управления на систему изоляции, указаны основные способы, применяемые для его устранения. Выполнен обзор методов, позволяющих оценить стойкость межвитковой изоляции к действию модулированного напряжения.

В целях определения стойкости изоляционных материалов, используемых при изготовлении обмоток электрических машин к

электротепловым воздействиям, характерных для режимов работы ЧРП, были проведены испытания на образцах эмалированных обмоточных проводов. В результате проведенных экспериментальных исследований подтверждено возникновение коронных разрядов при воздействии повышенного синусоидального, а также импульсного модулированного напряжения, при уровнях, соответствующих вероятным значениям перенапряжений в обмотке двигателя в составе ЧРП. Изучены процессы разрушения изоляции под действием коронных разрядов, выявлен электротепловой характер старения. Отмечено резкое ухудшение свойств изоляции и ускоренное разрушение при воздействии импульсного напряжения с наносекундными фронтами высокой частоты.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки математической модели для прогнозирования срока службы электроизоляционных материалов, адаптированных к особенностям условий эксплуатации электрических машин.

Ключевые слова: короностойкость, межвитковая изоляция, низковольтная обмотка, система изоляции, частичные разряды, частотно-регулируемый привод, электротепловое старение.

ABSTRACT

During the electrical machines operation, their insulation is exposed to the effect of temperature, the electrical and mechanical stresses, as well as the environmental impact. It leads to insulation aging, properties deterioration and destruction of dielectric materials, shortening the electrical machine's service life. The use of power converters for electric motors speed control has increased remarkably the significance of electrical stresses effect on low-voltage winding insulation, changing the nature of its aging.

Currently, the implementation of new generation semiconductor devices based on silicon carbide (SiC) in modern power converters is proposed. They have

numerous advantages, such as high operating voltage and temperature, high switching frequency, that allows to extend the power electronics functionality. At the same time, their application leads to the both electrical and thermal stresses increasing that can adversely affect the electrical machine operation. The change in operational factors makes it necessary to refine and adjust the existing testing methods and models intended to reliability indicators assessing.

In this regard, the given work deals with the investigation of the frequency control impact on the electric motor winding insulation system reliability. The operational conditions features of low voltage windings in a variable frequency drive (VFD) are considered; the negative effects caused by this control method using on the insulation system are identified, as well as the main ways to eliminate it are discussed. The methods allowing to estimate the turn isolation endurance to the effect of modulated voltage are reviewed.

In order to determine the endurance of insulating materials used in the electrical machine winding manufacture to the electrothermal stresses typical for the VFD operation modes, specimens made by enameled winding wires are tested. As a result of performed experimental studies, corona discharges appearance are confirmed under the increased sinusoidal voltage waveform as well as impulse modulated voltage, at levels corresponding to the probable overvoltage values in the motor winding in VFD. The processes of insulation destruction under the corona discharges are studied, and the electrothermal nature of aging is revealed. A rapid deterioration and accelerated insulation failure under the high frequency impulse voltage with nanosecond rising fronts is observed.

The obtained results can be used to develop a mathematical model for predicting the electrical insulating materials service life adapted to the electrical machines operating conditions.

Key words: corona resistance, turn insulation, low voltage winding, insulation system, partial discharges, variable frequency drive, electrothermal aging.