

Система контроля и защиты электрической машины от аварийных режимов

к.т.н. доц. Девочкин О.В.

Университет машиностроения

8(495)223-05-23(доб.13-12); ekems@mami.ru

Аннотация. В статье рассматривается возможность создания системы контроля и защиты электрической машины от аварийных режимов с использованием самой статорной обмотки машины в качестве датчика и ее резонансных характеристик. Предложена структурно-функциональная схема такого устройства и приведены экспериментальные данные по применению системы для асинхронного электродвигателя. Исследования показали, что чувствительным элементом является изоляция обмотки машины.

Ключевые слова: электрическая машина, защита, резонансные характеристики, изоляция, диэлектрическая проницаемость, трансформатор тока

Диагностирование и контроль технического состояния электрических машин переменного тока, а также их защиты от аварийных режимов имеет важное значение и может быть использовано во многих областях промышленности, на гибридных автомобилях и электромотоциклах.

В настоящее время имеется большое число устройств тепловой защиты обмоток электродвигателей. Они основаны на введении различных видов датчиков в конструкцию машины, типа терморезисторов, позисторов, термопар и т.п. [1, 2]. Их установка требует демонтажа и разборки электродвигателей, введения дополнительной изоляции, что затруднительно, не обеспечивает достаточного быстродействия из-за инерционности и приводит к появлению дополнительной динамической погрешности.

В данной работе предлагается устройство защиты обмоток статора электродвигателя переменного тока от аварийных режимов. Её целью является повышение быстродействия и безопасности защиты электродвигателя переменного тока при высокой чувствительности от перегрузки, перегрева, межвиткового замыкания, обрыва фазы и расширение функциональных возможностей защиты. Поставленная цель достигается путем использования явления ухода собственной резонансной частоты обмотки машины при изменении её состояния непосредственно во время работы под напряжением.

Сопротивление обмотки электрической машины на промышленной частоте носит активно-индуктивный характер. При повышенных частотах до 10^4 Гц проявляют себя емкостные сопротивления машины, соизмеримые с индуктивными. Они появляются за счет межвитковых емкостей, емкостей между соседними обмотками, между обмоткой и корпусом и т.д. Поэтому в цепи обмотки статора на различных частотах возникают резонансы токов и напряжений. На резонансной характеристике электрической машины [3] получают до 10 экстремумов. Использовать для целей защиты можно каждый из них, но предпочтительно в целях повышения чувствительности выбирать экстремум с наиболее выраженным броском тока, частота которого обозначена как резонансная $f_{рез}$.

Резонансная частота электрической машины, снятая в номинальном режиме, значительно отличается от таковой, снятой в аварийном режиме, т.к. при любой перегрузке происходит повышение температуры обмотки, что приводит к изменению проводимости проводников обмотки, диэлектрической проницаемости межвитковой и других видов изоляции. В связи с этим изменяются емкости обмоток электрической машины и, соответственно, резонансные частоты.

Если ввести фиксированную резонансную частоту, соответствующую номинальному режиму, то с изменением температуры полное сопротивление обмотки резко увеличится, а ток в измерительной цепи уменьшится.

Таким образом, защищаемая статорная обмотка электрической машины одновременно

служит и датчиком изменения тока от её температуры T .

Для двигателей типа 4AA5082У3 установлено, что резонансная характеристика имеет наибольшие резонансные экстремумы на частотах 1 кГц, 13 кГц, 15 кГц. Наиболее ярко выраженный пик тока приходится на частоту 13 кГц. При нагревом двигателя до 115°C резонансная частота изменилась с 13 до 11,5 кГц. Резонансная величина контрольного тока в эксперименте составляла $I_{\text{рез}} = 10$ мА. При фиксированной частоте $f_{\text{рез}}$ изменение контрольного тока с изменением температуры обмотки машины от номинальной 75°C до повышенной 115°C (но допустимой) составило $0,25I_{\text{рез}}$.

Введение электрического сигнала высокой частоты соответствующей резонансной, осуществляется с помощью трансформатора тока, имеющего три низкоомные обмотки, каждая из которых соединена последовательно с соответствующей фазной обмоткой защищаемого электродвигателя. Высокоомная обмотка этого трансформатора через буферный каскад и усилитель питается от высокочастотного генератора. Его частота соответствует одной из собственных резонансных частот электрической машины.

На рисунке 1 приведена структурно-функциональная схема устройства защиты обмоток статора электрической машины от перегрузки, перегрева, межвиткового замыкания, перекоса и обрыва фазы.

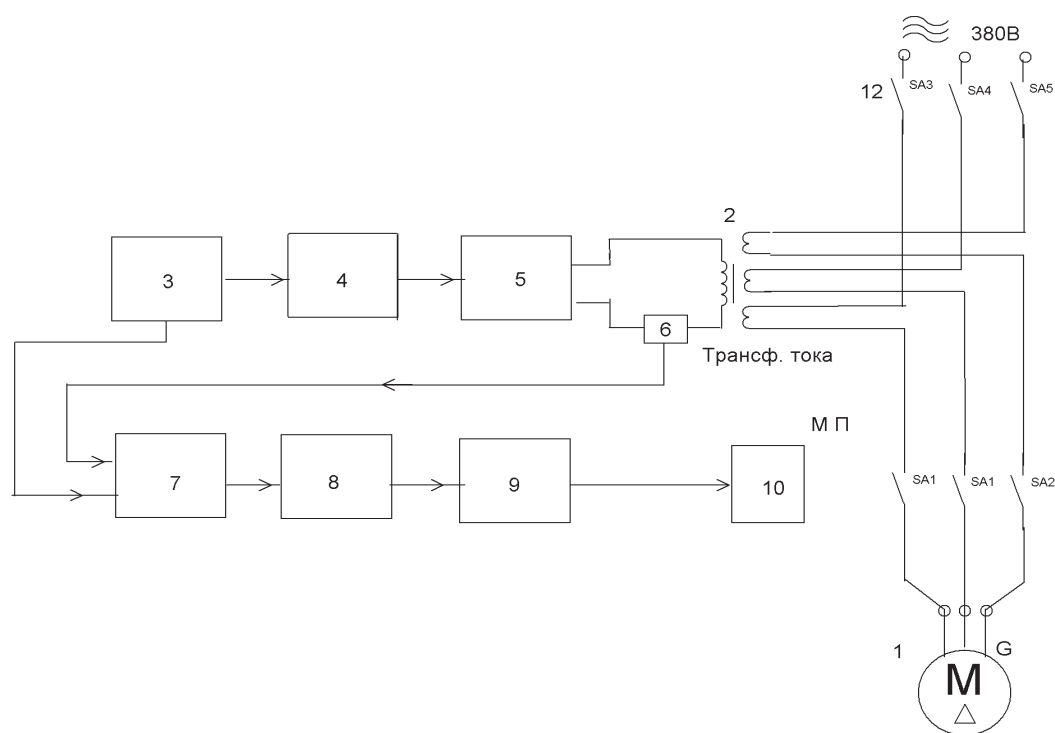


Рисунок 1. Структурно-функциональная схема устройства защиты обмоток статора электрической машины от перегрузки, перегрева, межвиткового замыкания, перекоса и обрыва фазы

Устройство защиты содержит обмотку защищаемого электродвигателя 1, в каждую фазу которого последовательно включены три низкоомные обмотки трансформатора тока 2. Этот трансформатор работает в необычном для него режиме, т. к. используется как силовой по высокой частоте, а обмотки статора для него являются нагрузкой. Генератор одной из резонансных частот 3 через усилитель 4 и буферный каскад 5 соединен с первичной обмоткой трансформатора тока 2, связанной с элементом 6 выделения полезного сигнала. Выход этого элемента соединен с одним из входов амплитудно-фазового детектора 7, второй вход которого подключен к генератору 3. Выход детектора через пороговое устройство 8 и блок защиты 9 соединен с исполнительным органом 10, в качестве которого используется обычный магнитный пускатель.

Устройство работает следующим образом: генератор 3 вырабатывает синусоидальное напряжение с частотой, соответствующей частоте выбранного резонанса работающего электродвигателя. Это напряжение, преобразованное усилителем 4, через буферный каскад поступает на трансформатор тока 2. Устройство выполнено так, что контрольный ток резонансной частоты, вводимый в обмотки статора через трансформатор, в фазах электродвигателя не смещен на 120° , поэтому регистрируется его суммарное изменение во всех трех обмотках. Трехфазная система силовых токов промышленной частоты от работающего электродвигателя не создает токов в первичной обмотке трансформатора 2 и не наводит напряжение в элементе выделения сигнала 6. Одновременно выделяется большая часть мощности генератора резонансной частоты в обмотках двигателя.

При любом аварийном режиме происходит повышение температуры обмоток, что ведет к изменению проводимости обмоток, диэлектрической проницаемости межвитковой и других видов изоляции. В связи с этим изменяются емкости обмоток и, соответственно, резонансная частота. При появлении дефектов, межвитковом замыкании, обрыве фаз и т.п. за счет изменения резонансной частоты двигателя в элементе выделения сигнала 6 изменяется ток (напряжение), который подается на первый вход амплитудно-фазового детектора 7, на второй вход которого поступает сигнал с выхода генератора 3. Разностный сигнал с выхода амплитудно-фазового детектора поступает через пороговое устройство 8 на блок защиты, который сигнализирует о неисправности и отключает работающий двигатель от сети.

На рисунке 2 приведены частотные характеристики асинхронного электродвигателя 4AA5082У3 для двух значений температуры T_1 и T_2 ($T_1 < T_2$).

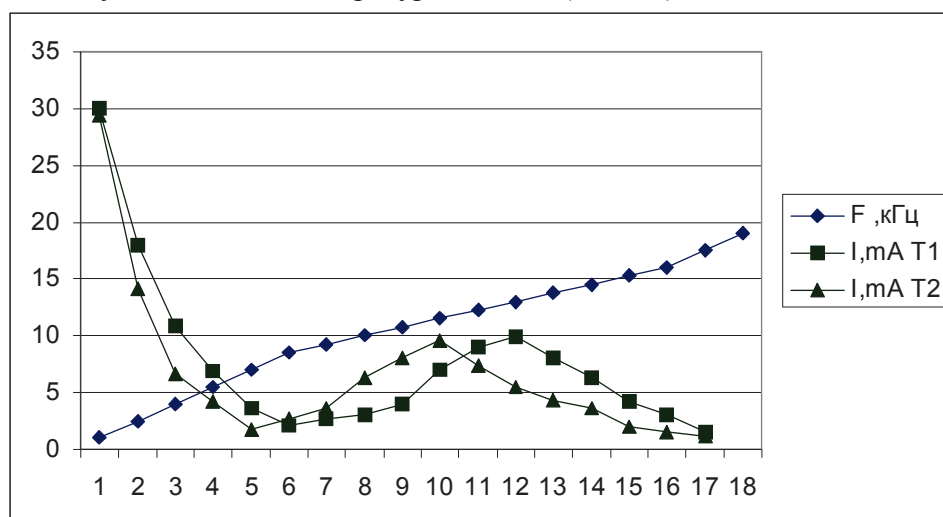


Рисунок 2. Частотные характеристики асинхронного электродвигателя при $T_1=75^\circ\text{C}$ и $T_2=115^\circ\text{C}$

Исследования, проведенные для двух типов асинхронных двигателей АОЛ2-32-2 и 4AA5082У3, показали, что их частотные характеристики имеют наибольшие резонансные экстремумы на частотах: 13,5 кГц для АОЛ и два экстремума 9,5 кГц и 15 кГц для 4AA.

При нагреве двигателей до температуры 115°C , допустимой для данного класса изоляции, резонансные частоты изменялись соответственно с 13кГц до 11,5кГц; с 9,5 кГц до 8,4 кГц и с 15 кГц до 13,5 кГц.

Чувствительность по частоте составила $S_{\text{час}}=30$ Гц/град для двух типов двигателей на экстремумах 13 кГц и 15 кГц.

Экспериментальные исследования рассматриваемой системы защиты показали, что чувствительным элементом устройства является изоляция, у которой контролируется изменение диэлектрической проницаемости, непосредственно в зоне повышения температуры, что способствует увеличению быстродействия и надежности защиты, т.к. фиксируется ло-

кальное изменение температуры. Это сохраняет качество изоляции и продлевает срок службы всей машины. Изоляция является наиболее слабым звеном в активной части электрической машины.

Литература

1. Девочкин О.В. и др. Электрические аппараты, Уч. пос.- М., Издательский центр «Академия», 2010.
2. А.С. СССР №1220045 кл. Н 02Н 5/04, (Б.№11), 1982
3. А.С. СССР №1436175 кл. Н02Н 7/08 (Б.№41), 1988
4. Горошков Б. И., Радиоэлектронные устройства, - М. , «Радио и связь», 1985.