

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ УСТРОЙСТВ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАЩИТЫ МНОГОСКОРОСТНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Фёдоров М.М., Апухтин М.В., Пинчук О.Г., Марков А.А.
Донецкий национальный технический университет

Электропривод широкого класса механизмов требует регулирования частоты вращения. При использовании асинхронных двигателей (АД) частоту вращения можно регулировать плавно путём изменения частоты питающего напряжения или дискретным способом – изменением числа пар полюсов обмотки статора.

АД с изменением числа пар полюсов нашли широкое применение в качестве приводных для различных механизмов судовой промышленности (якорно-швартовые устройства, погрузочно-разгрузочные лебёдки), для механизмов перемещения мостовых и козловых кранов. Режим работы АД в этих механизмах сопровождается работой под нагрузкой при различных частотах вращения, частыми пусками, торможениями, паузами, что соответствует режимам S4 – S5, в рамках режима S8 (согласно ГОСТ 183 – 74). Эти режимы характеризуются высокой интенсивностью тепловыделения в элементах конструкции АД и вызывают необходимость разработки эффективных средств тепловой защиты (ТЗ) их обмоток.

Наиболее оптимальной ТЗ является устройство с использованием встроенных температурных датчиков (позисторы, терморезисторы и другие). Однако их применение для многоскоростных АД вызывает необходимость установки температурных датчиков в каждую из статорных обмоток защищаемого АД, что существенно усложняет технологический процесс изготовления и укладки обмоток. Кроме того, передача слабо-мощного сигнала от температурного датчика весьма затруднительна при расположении АД на значительном удалении от станции управления или связи с ней через контактную систему с применением троллей.

Перспективными при построении ТЗ для многоскоростных АД являются устройства, основанные на косвенной оценке теплового состояния обмоток путём моделирования АД. При этом важнейшим требованием к ТЗ является точность моделирования тепловых пере-

ходных процессов по величине греющих потерь. Принципиально при моделировании могут быть использованы эквивалентные тепловые схемы (ЭТС) замещения электрических машин. Однако их применение, особенно для многоскоростных АД, имеет определённые объективные трудности. В качестве модели могут быть использованы динамические тепловые модели узлов (ДТМУ), разработанные в Донецком национальном техническом университете [1].

Принципиальная схема (ДТМУ), используемая в устройствах ТЗ этого типа, приведена на рис. 1

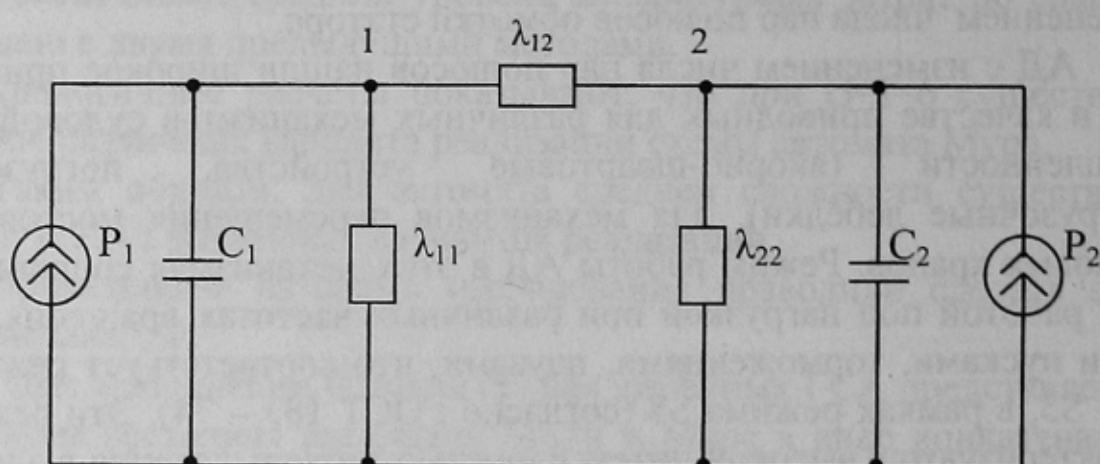


Рисунок 1 - Эквивалентная тепловая схема

В узле 1 модели формируется температура $\theta_i(t)$ любого i -го узла конструкции АД. Пассивные параметры модели – теплопроводности (λ_{11} , λ_{12} , λ_{22}) и теплоёмкости (C_1 и C_2) рассчитываются с помощью экспериментальных кривых нагрева и охлаждения соответствующего узла двигателя. Их величины могут меняться в зависимости от режима охлаждения соответствующего узла двигателя. Например, в режиме S3 в АД с самовентиляцией имеет место два состояния – нагрев при вращающемся роторе и охлаждение при неподвижном роторе. Источниками тепла в тепловой модели P_1 и P_2 являются потери мощности в АД. P_1 – в выбранном узле машины, а P_2 – суммарные потери в остальных узлах.

Применение ДТМУ для многоскоростных АД имеет определённые особенности, поскольку контроль теплового состояния необходимо осуществлять для наиболее нагретых узлов АД, которых в многоскоростных АД может быть несколько, соответст-

венно возрастает количество ДТМУ в устройстве ТЗ. В общем случае применение ДТМУ в устройствах ТЗ для многоскоростных АД должно соответствовать следующим требованиям:

- количество ДТМУ должно соответствовать количеству обмоток защищаемого АД;
- каждому режиму нагрева АД с различным значением частоты вращения должны соответствовать значения теплопроводностей (λ_{11} , λ_{12} , λ_{22}) и греющих потерь P_1 и P_2 .
- источники тепловых потерь P_1 и P_2 , для ДТМУ обмоток, не обтекаемых током, должны быть пересчитаны на эквивалентные для этих обмоток [2].

Техническая реализация ДТМУ в устройствах ТЗ может быть осуществлена по аналоговому (с помощью R – C цепочек, операционных усилителей и др.) и дискретному принципам. Устройства ТЗ аналогового типа были разработаны в ДонНТУ, испытаны и рекомендованы в производство для судовых АД серии МАП, выпускающихся НПО «Динамо» г. Москва. Накопленный опыт эксплуатации устройств ТЗ этого типа подтвердил их работоспособность и эффективность применения, однако имеют место определённые недостатки, что позволяет говорить о сложностях при подборе величин теплоёмкостей C_1 и C_2 , формирования потерь P_1 и P_2 и др. Применение дискретного принципа моделирования позволяет устранить эти недостатки и одновременно расширить функциональные возможности.

Алгоритм формирования температуры в узле АД формируется на основе уравнений теплового состояния в выбранном узле АД полученных с помощью ДТМУ:

$$\begin{aligned} C_1 \frac{d\theta_1}{dt} + \theta_1(\lambda_{11} + \lambda_{12}) - \theta_2\lambda_{12} &= P_1 \\ C_2 \frac{d\theta_2}{dt} + \theta_2(\lambda_{22} + \lambda_{12}) - \theta_1\lambda_{12} &= P_2 \end{aligned} \tag{1}$$

На выбранном интервале Δt_i , имея известные величины θ_{1i} и θ_{2i} рассчитываются приращения температуры на i -м интервале $\Delta\theta_{1i}$, $\Delta\theta_{2i}$ и определяют температуру на $i+1$ интервале:

$$\begin{aligned}\theta_{1\ i+1} &= \theta_{1i} + \Delta\theta_{1i} \\ \theta_{2\ i+1} &= \theta_{2i} + \Delta\theta_{2i}\end{aligned}\quad (2)$$

Выражения для определения $\Delta\theta_{1i}$ и $\Delta\theta_{2i}$ можно получить из уравнений (1)

$$\begin{aligned}\Delta\theta_{1i} &= (P_{1i} - \theta_{1i}\lambda_{11i} + \theta_{2i}\lambda_{12i}) \frac{\Delta t_i}{C_1} \\ \Delta\theta_{2i} &= (P_{2i} - \theta_{2i}\lambda_{22i} + \theta_{1i}\lambda_{12i}) \frac{\Delta t_i}{C_2}\end{aligned}\quad (3)$$

Величина значений теплопроводностей λ_{11i} , λ_{12i} , λ_{22i} зависят от режимов теплоотвода АД на i -том интервале. В рассматриваемых режимах работы для АД с самовентиляцией следует выделить интервалы со следующими режимами охлаждения: работа под нагрузкой с практически постоянной частотой вращения - $\lambda_{нз}$. Неподвижный ротор в паузе - $\lambda_{оx}$ и режим пуска - $\lambda_{пс}$ (торможения - $\lambda_{т}$). При работе под нагрузкой, каждая ступень частоты вращения имеет соответствующую ей величину $\lambda_{нз}$. В режимах пуска и торможения величины теплопроводностей можно принять равными :

$$\lambda_{пс} = \lambda_{т} = \frac{(\lambda_{нз} + \lambda_{оx})}{2}\quad (4)$$

Греющие потери P_{1i} и P_{2i} на i -м интервале в общем случае представляют сумму постоянных, переменных и добавочных потерь:

$$P_i = P_{пост i} + P_{пер i} + P_{доб i}\quad (5)$$

Постоянные потери зависят от квадрата коэффициента напряжения $k_u = U_1/U_{1н}$:

$$P_{пост} = k_u^2 P_{постн}\quad (6)$$

Переменные потери в обмотке зависят от квадрата тока и температуры θ :

$$P_{пер} = \beta_i P_{пер} (1 + \alpha\theta)\quad (7)$$

где $\beta_I = I/I_1$ - кратность тока;

α – температурный коэффициент сопротивления.

Добавочные потери пропорциональны квадрату тока:

$$P_{доб} = \beta_I^2 P_{добн} \quad (8)$$

На интервале, когда защищаемая обмотка АД не обтекается током, необходимо учесть взаимное влияние соседней обмотки. В предлагаемом устройстве это осуществляется за счёт введения эквивалентных потерь $P_{1экв}$ и $P_{2экв}$. Методика их учёта была рассмотрена в литературе [2].

Следовательно, для формирования величин P_{1i} и P_{2i} необходимо контролировать напряжение и токи статорных обмоток АД. Последнее условие, позволяет более точно формировать величину переменных потерь в роторе АД.

Большое значение имеет выбор шага Δt_i . Для многоскоростных АД, работающих в повторно-кратковременных режимах, время Δt_i может быть соизмеримо с длительностью цикла, следовательно, необходимо предусмотреть уменьшение величины Δt_i . Практическая реализация применения ДТМУ в устройствах ТЗ может быть осуществлена с использованием микропроцессорной техники. Структурная схема такого устройства приведена на рис.2.

Устройство содержит блоки аналоговой и цифровой обработки сигналов. Блок аналоговой обработки содержит три датчика тока Д1, Д2, Д3, три датчика напряжения Д4, Д5, Д6, шести буферных усилителей, нормализующих сигналы, устройство оцифровки сигнала, содержащее в своём составе 6 устройств выбора и хранения (УВХ), аналогового коммутатора МИХ и аналогового-цифрового преобразователя (АЦП). Блок цифровой обработки состоит из центрального процессорного блока (ЦПБ), управляющего системой и рассчитывающего необходимые характеристики АД; устройства оперативной памяти (ОЗУ); пользовательского интерфейса ИП (который позволяет вводить команды с клавиатуры и отображать их на экране дисплея, выводить информацию о температуре обмотки АД); последовательного интерфейса ПИ (для передачи данных в ПЭВМ, их дальнейшее

хранения и обработки) и двух параллельных портов ПП1 и ПП2, которые служат для опроса счётчиков C_1 и C_2 , контролирующих соответственно частоту сети и частоту АД.

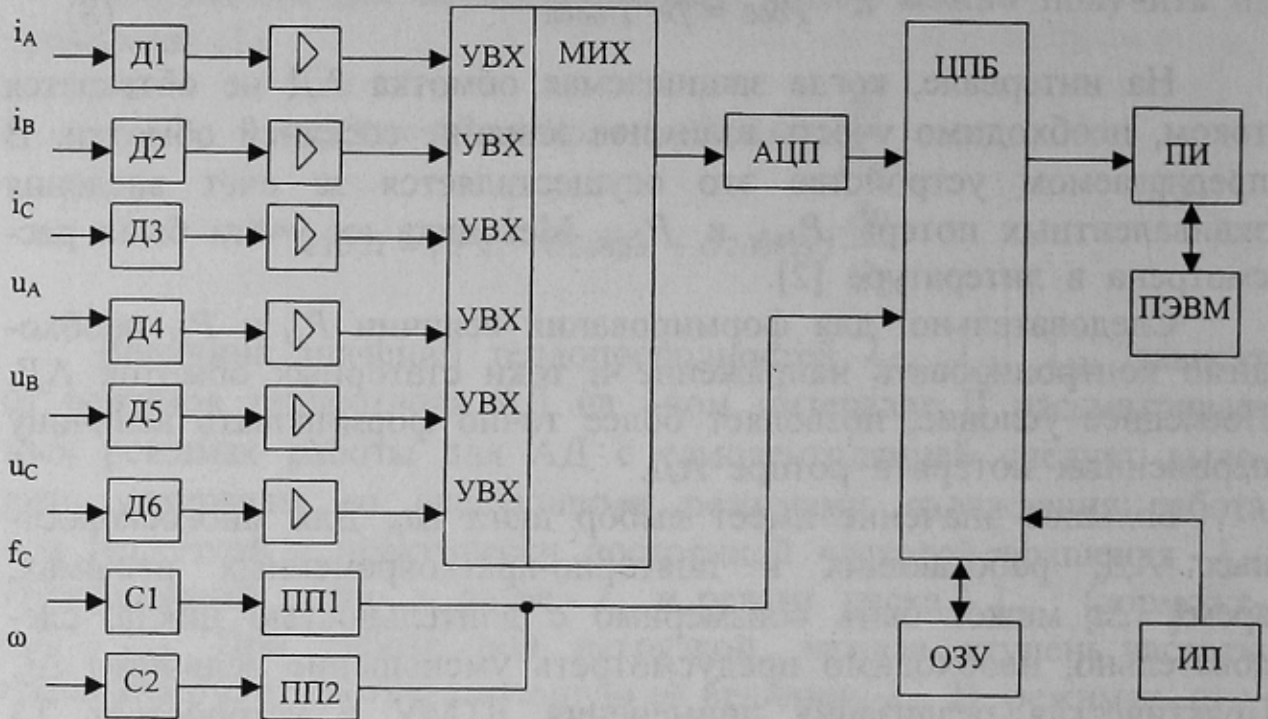


Рисунок 2 - Структурная схема устройства тепловой защиты

Алгоритм работы устройства следующий:

1. Блок аналоговой обработки сигнала осуществляет преобразование в численный вид мгновенных значений фазных токов и напряжений 100 - 200 точек за период для каждой величины.
2. Счётчики C_1 и C_2 производят измерение частот сети и вращения АД, что даёт возможность определить режим работы АД и выбрать соответствующие пассивные параметры модели на интервале.
3. Численные данные о фазных токах и напряжениях поступают в блок цифровой обработки сигнала, который формирует комплексы действующих значений токов и напряжений, позволяющие формировать величины потерь.

4. По полученным данным рассчитываются приращения температур на каждом шаге Δt_i , приращения $\Delta\theta_{1i}$, $\Delta\theta_{2i}$, θ_{1i+1} , и θ_{2i+1} , определяются необходимые параметры и характеристики АД. На базе рассчитанных данных формируются тепловые и электромеханические характеристики АД в различных режимах работы.
5. Последовательный интерфейс передаёт сформированные величины в ПЭВМ через заданный временной интервал. В ПЭВМ осуществляется сравнение температур обмоток с допустимой соответствующего класса изоляции; и при превышении её выдаётся аварийный сигнал в систему управления двигателем.

В устройстве предусмотрена возможность контроля величин температур обмоток (пользовательский интерфейс ИП выводит информацию о температуре обмоток).

Предлагаемое устройство позволяет наиболее полно учесть все факторы, оказывающие влияние на тепловое состояние многоскоростного АД, осуществить точное моделирование его теплового состояния, определить наиболее напряжённый в тепловом отношении, узел устройства многоскоростной АД и надёжно защитить конструкцию АД от перегрева.

Список источников:

1. Фёдоров М.М. «Динамические тепловые модели узлов»
2. Фёдоров М.М., Апухтин М.В., Марков М.А. «Тепловое состояние многоскоростных асинхронных двигателей» – Наукові праці Донецького національного технічного університету, 2001р.