

СИСТЕМА ТЕПЛООВОГО КОНТРОЛЯ ОБМОТОК ГРУППЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИКАХ

Федоров М.М., Малеев Д.М., Смирнов А.И.

Каф. Электромеханики и ТОЭ, ОПИ ДонГТУ

E-mail: fedorov@skif.net

Abstract

Fedorov M. M., Maleev D. M., Smirnov A.I. Thermal control system for group asynchronous motors on refinery factories. A principles of building and an especialities of working the system of group control temperature condition asynchronous motors refinery factories are considered.

Введение

Механизмы, обеспечивающие технологический цикл на углеобогажительных фабриках, в своем большинстве основаны на использовании электроприводов. Общее количество эксплуатируемых электродвигателей на обогатительных фабриках превышает тысячу, а более 95% из них - асинхронные электродвигатели (АД). Их режимы работы разнообразные. Примерно 70% работают в продолжительном режиме (S1 согласно ГОСТ183-79) при постоянной нагрузке (вентиляторы, насосы, дымососы и пр.) или близкой к нему, когда нагрузка неизменна в течении 1-2 часов (конвейеры, элеваторы и др.). Для защиты АД этих механизмов достаточно теплового реле с биметаллическим элементом.

Большая группа механизмов работает в повторно-кратковременных режимах (двигатели крановых механизмов, разгрузчики тяжелых фракций отсадочных машин, пробоотборники и др.). Температуры обмоток АД в этих режимах постоянно изменяются и их контроль затруднен. В течении рабочих интервалов цикла возможна работа двигателей со значительными перегрузками, которые могут привести к перегреву изоляции обмоток с последующим выходом их из строя. Эксплуатация АД может сопровождаться и аварийными ситуациями. Например, при заклинивании или обрыве линейного провода возможна работа АД с неподвижным ротором. В этом случае токи обмоток достигают 6-8 кратных значений номинального тока I_{II} и двигатель в через 5-10 с. выходит из строя. Замена двигателей приводит к длительным остановкам и нарушениям технологического процесса. Кроме того, восстановительный ремонт АД дорогостоящий, затраты на него соизмеримы со стоимостью новых двигателей [1].

Из изложенного выше следует, что электродвигатели механизмов обогатительных фабрик нуждаются в системах контроля температуры их обмоток и защиты от перегрева сверх допустимых значений. Температурные реле с биметаллическим элементом не могут гарантировать защиты двигателя, работающего в повторно-кратковременном режиме. Необходимо обеспечивать непрерывный контроль постоянно изменяющейся температуры.

Электроприводы механизмов обогатительных фабрик, как правило, работают в условиях запыленности и значительного удаления от станций управления, поэтому устройства, основанные на непосредственном контроле температуры с помощью встроенных в обмотки датчиков, малопригодны, так как передача маломощного сигнала от АД к его станции управления затруднена. Целесообразно построение систем теплового контроля обмоток АД, основанных на косвенных методах с использованием тепловых моделей, входным сигналом которых являются токи двигателей.

Станции управления АД, как правило, расположены в распредпунктах, которые размещены на рабочих отметках фабрики. В одном распредпункте может быть сосредоточено 15-30 станций. В подобной ситуации рационально применение систем группового контроля.

1. Структурная схема системы группового контроля температуры обмоток асинхронных двигателей

Структурная схема системы группового контроля приведена на рис 1. Система состоит из измерительно-преобразовательных комплексов (ИПК), которыми снабжен каждый АД и вычислительного комплекса (ВК), соединенного с ИПК каждого АД линиями связи (ЛС). В функции ИПК входит непрерывное измерение параметров АД (токи, напряжения и пр.) с последующей передачей их в ВК по ЛС через определенные промежутки времени $t_{\text{лс}}$, а также индикация возникающих аварийных состояний (обрыв одной из фаз, длительный пуск и т.д.). В задачи ВК входит формирование величин температуры различных узлов АД, фиксирование ее превышения над максимально допустимой, передача сигнала температуры на станции управления привода и диспетчеру (оператору) фабрики.

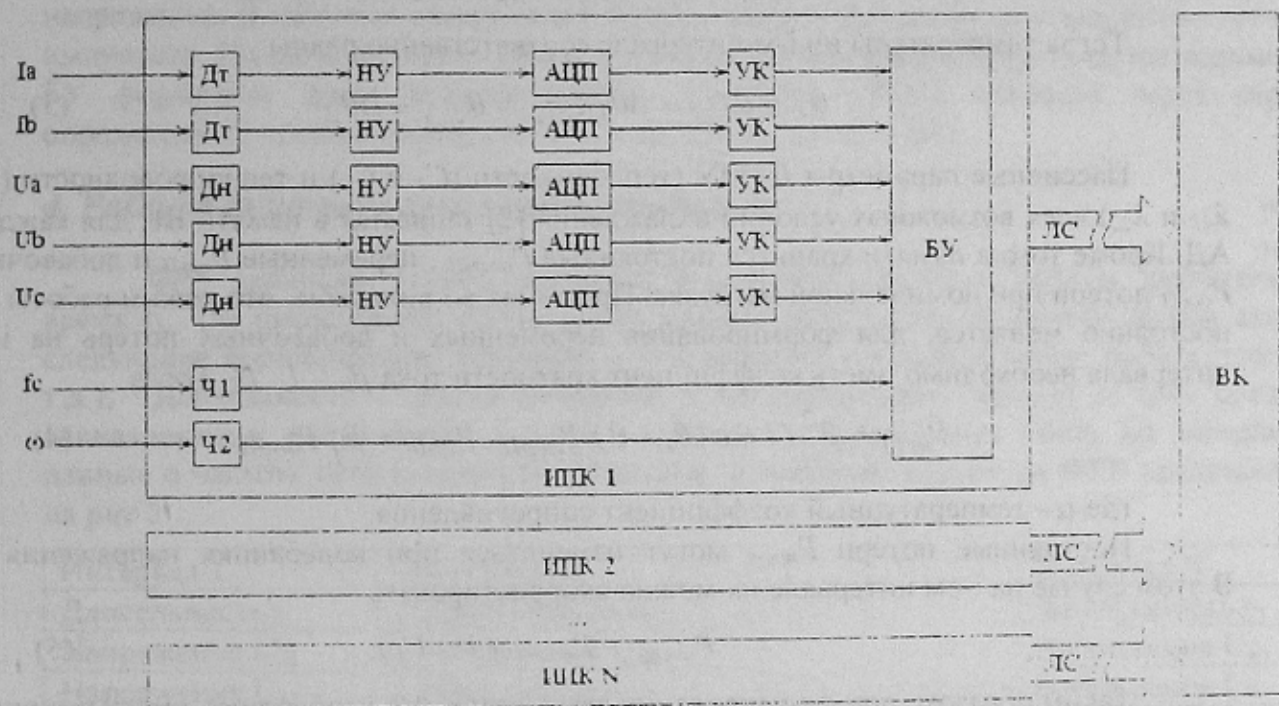


Рисунок 1. - Структурная схема системы группового контроля температур АД

2. Алгоритм работы вычислительного комплекса

ВК обслуживает группу АД. Для формирования температурных узлов АД используются тепловые модели. В ДонДТУ разработана динамическая тепловая модель узлов (ДТМУ) электрических машин. В качестве контролируемого узла выбрана лобовая часть обмотки статора АД, которая испытывает наибольшие тепловые нагрузки. Система дифференциальных уравнений, описывающая динамику тепловых процессов в выбранном узле, получена с помощью ДТМУ и имеет вид

$$C_1 \frac{d\theta_1}{dt} + \theta_1(\lambda_{11} + \lambda_{12}) - \theta_2 \lambda_{12} = P_1;$$

$$C_2 \frac{d\theta_2}{dt} + \theta_2(\lambda_{22} + \lambda_{12}) - \theta_1 \lambda_{12} = P_2.$$

где: θ_1 – температура выбранного узла АД; θ_2 – эквивалентная температура, учитывающая реакцию остальных частей двигателя на тепловые процессы в выбранном узле; $\lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{22}$ – теплопроводности ДТМУ, соответствующие режиму охлаждения АД; C_1 и C_2 – теплоемкости ДТМУ; P_1 и P_2 – соответственно потери мощности (источник тепла) в выбранном узле АД и суммарные потери в остальных частях двигателя.

На основе приведенных уравнений составляется алгоритм формирования температуры в выбранном узле. Для i -ого интервала, по известным температурам в начале интервала $\theta_{1,i-1}$ и $\theta_{2,i-1}$ рассчитываются приращения температур $\Delta\theta_1$ и $\Delta\theta_2$, за время $\Delta t = t_{ic}$ по формулам

$$\begin{aligned} \Delta\theta_1 &= (P_1 - \theta_{1,i-1}(\lambda_{11} + \lambda_{12}) + \theta_{2,i-1}\lambda_{12}), \\ \Delta\theta_2 &= (P_2 - \theta_{2,i-1}(\lambda_{22} + \lambda_{12}) + \theta_{1,i-1}\lambda_{12}). \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда температуры на i -м интервале соответственно равны:

$$\theta_{1,i} = \theta_{1,i-1} + \Delta\theta_1, \quad \theta_{2,i} = \theta_{2,i-1} + \Delta\theta_2. \quad (3)$$

Пассивные параметры ДТМУ (теплоемкости (C_1 и C_2) и теплопроводности ($\lambda_{11}, \lambda_{12}$ и λ_{22}) всех возможных условий охлаждения [2] записаны в памяти ВК для каждого АД. Кроме того в памяти хранятся постоянные $P_{номH}$, переменные $P_{непл}$ и добавочные $P_{добH}$ потери при номинальной нагрузке. Принимая во внимание, что режим работы АД постоянно меняется, для формирования переменных и добавочных потерь на i -ом интервале необходимо иметь коэффициент кратности тока $\beta_{ii} = I_i / I_H$. Тогда

$$P_{непл} = \beta_{ii}^2 (1 + \alpha(\theta_i - \theta)) P_{непл}, \quad P_{добH} = \beta_{ii}^2 P_{добH}, \quad (4)$$

где α – температурный коэффициент сопротивления.

Постоянные потери $P_{номH}$ могут изменяться при колебаниях напряжения U . В этом случае на i -ом интервале их можно скорректировать

$$P_{номH} = P_{номH} (U / U_H). \quad (5)$$

Таким образом, при формировании температур $\Delta\theta$ необходимо иметь величины токов (I_i) и напряжений (U_i) на интервале. Кроме того, для выбора теплопроводностей необходимо знать режим охлаждения. Для АД с самовентиляцией имеет место два режима охлаждения: работа под нагрузкой при практически неизменной частоте вращения ($\lambda_{p,i}$) и неподвижном роторе в период пауз ($\lambda_{н,i}$). Эти соображения должны быть учтены при построении ИПК.

3. Алгоритм функционирования измерительно-преобразовательного комплекса

В состав ИПК (рис. 1) входят три датчика напряжения (ДН) и два датчика тока (ДТ), пять нормирующих усилителей (НУ), пять аналого-цифровых преобразователей (АЦП), пять устройств-квадраторов (УК), измеритель частоты сети (Ч1), частоты вращения (Ч2) и блок управления (БУ).

ИПК функционирует следующим образом: снимаемый с датчиков сигнал поступает на НУ, где производится его предварительное преобразование в сформированный с напряжением 1В. После этого производится преобразование сигналов в цифровой формат. Оцифровка значений тока и напряжения происходит с определенной частотой, зависящей от точности, (обычно, достаточно 200 точек на период) и производится постоянно. Измерения всех токов и напряжений должны производиться синхронно через строго фиксированные промежутки времени. Именно для этого используется несколько АЦП, т.к. использование только одного повлекло бы за собой усложнение схемы путем введения в нее пяти устройств выборки и хранения, а также коммутатора аналоговых сигналов, что негативно отразилось бы на точности оцифровки. При формировании потерь требуются действующие значения токов и напряжений, для их вычисления необходимо иметь массив квадратов мгновенных значений. С этой целью в ИПК применяются УК, в качестве которых используются аппаратные средства обработки цифровых сигналов, построенные на жесткой логике и осуществляющие возведение в квадрат цифрового сигнала, снимаемого с АЦП. БУ производит суммирование каждого из значений квадратов тока и напряжения и хранит в памяти их сумму, чтобы через определенное время вычислять действующий ток или напряжение. В качестве измерителей частоты сети и вращения используются счетчики импульсов. По данным, приходящим от датчиков тока, напряжения и частот вращения, БУ формирует файл режима работы двигателя (ФРР), который через строго определенные промежутки времени $t_{тс}$ передается по ЛС в ВК.

4. Работа системы группового контроля

ФРР включает в себя данные о возможных режимах работы двигателя за время $t_{тс}$. Он представляет собой набор данных типа запись. В состав записи входят следующие составляющие: Интервал – тип рабочего интервала (пуск, работа, пауза и т.д.); Длительность – длина интервала в миллисекундах; данные о трех средних эквивалентных напряжениях и двух средних эквивалентных токах на интервале; данные о частоте сети и скорости вращения. Возможная структура ФРР представлена на рис 2.

Интервал 1	Интервал 2	...	Интервал N
Длительность t_1	Длительность t_2	...	Длительность t_N
Напряжение U_{a1}	Напряжение U_{a2}	...	Напряжение U_{aN}
Напряжение U_{b1}	Напряжение U_{b2}	...	Напряжение U_{bN}
Напряжение U_{c1}	Напряжение U_{c2}	...	Напряжение U_{cN}
Ток I_{a1}	Ток I_{a2}	...	Ток I_{aN}
Ток I_{b1}	Ток I_{b2}	...	Ток I_{bN}
Частота сети f_{c1}	Частота сети f_{c2}	...	Частота сети f_{cN}
Частота вращения ω_1	Частота вращения ω_2	...	Частота вращения ω_N

Рисунок 2. – Структура файла режима работы двигателя.

Объем информации в ФРР следующий: интервал – 8 бит; длительность – 16 бит; напряжения и токи: объем каждого – 32 бита, частоты сети и вращения – объем каждой по 16 бит. Таким образом, посылка для одного режима занимает 216 бит (27 байт). Поскольку за время $t_{тс}$ двигатель может работать в нескольких режимах, объем ФРР может меняться.

Следует отметить, что формирование ФРР может производиться в т.н. «фоновом режиме», когда главной задачей БУ является сбор и преобразование данных, а формирование ФРР выполняется одновременно с ним. Время передачи ФРР по ЛС

$t'_{лс}$ должно быть относительно невелико, ($t'_{лс} \ll t_{лс}$) для того, чтобы ВК смог рассчитать приращения температуры $\Delta\theta$ и опросить ИПК на других двигателях. Использование современных каналов связи позволяет время $t'_{лс}$ сократить до 3-5% относительно $t_{лс}$. Это особенно важно при групповом контроле, т.к. от времени $t'_{лс}$ будет зависеть число двигателей, обслуживаемых системой.

Работа системы группового контроля существенным образом отличается от работы системы индивидуального контроля. Основное отличие заключается в значительном уменьшении времени, отводимого для расчета приращений температуры $\Delta\theta$. Кроме того, в системе необходим блок, синхронизирующий передачу данных от ИПК разных АД к ВК. В общем случае диаграмма посылок информации ФРР от разных ИПК к ВК при групповом контроле температуры будет иметь вид, изображенный на рис.3.

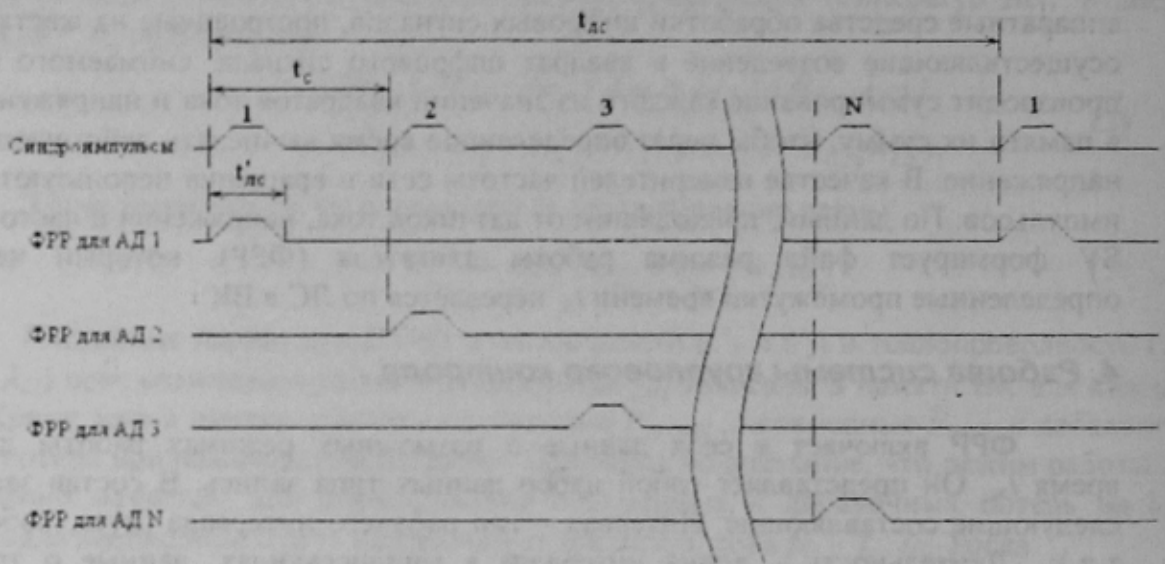


Рисунок 3. – Возможный вариант посылки ФРР.

Из диаграмм видно, что за время опроса группы двигателей $t_{лс}$ каждый двигатель опрашивается один раз. Время следования синхронимпульсов t_c равно:

$$t_c = \frac{t_{лс}}{N}, \tag{6}$$

где: N - число двигателей.

Таким образом, на расчет приращения температуры узлов и ее контроля для одного двигателя требуется время $t_{рас}$, равное

$$t_{рас} = t_c - t'_{лс} = \frac{t_{лс}}{N} - t'_{лс}; \tag{7}$$

Значение $t_{рас}$ является основным параметром для задания требований к вычислительной мощности ВК, пропускной способности ЛС и к методу контроля (который сводится к моделированию теплового состояния в том или ином узле конкретного двигателя). Правильный выбор $t_{рас}$ и $t_{лс}$ при заданном количестве двигателей N определяет принципы построения всей системы (структуру и конструкцию ИПК, пропускную способность ЛС, вычислительную мощность ВК и т.д.)

Расчеты показывают, что число контролируемых двигателей для ПЭВМ класса Pentium при $t_{лс} = 30$ сек. и скорости передачи ФРР по ЛС равной 33600 бит/сек., превышает 200. Учитывая возможные шумы в линии, большую удаленность ИПК отдельных двигателей от ВК и другие возможные проблемы, уменьшающие скорость

обмена, число двигателей в наихудшем случае будет не менее 100. Такое количество вполне удовлетворяет нуждам обогатительной фабрики.

Заклучение

Предлагаемая система контроля теплового состояния АД электроприводов механизмов обогатительных фабрик может выполнять и ряд других функций: прогнозирование теплового состояния обмоток АД в различных возможных режимах работы, учет расходуемого ресурса изоляционных материалов и пр. Ее внедрение будет способствовать более эффективному контролю технологических процессов обогатительных фабрик. Следует отметить, что авторам неизвестны аналоги подобных систем в отечественной и зарубежной практике.

Литература

1. Г.И. Дьяков, А.Т. Литвак и др. "Эксплуатация и ремонт углеобогатительного оборудования", Справочное пособие, М., Недра, 1973г, 400 с.
2. М.М. Федоров "Динамические тепловые модели узлов электрических машин", сб. тр. Одесского Государственного Политехнического Университета, Вып. 53, К., 1999г, с.70-73.