

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ТЕПЛОВЫХ ПЕРЕГРУЗОК

Федоров М.М., Денник В.Ф., Кучеренко А.А.

Проблеме защиты асинхронных двигателей (АД) от тепловых перегрузок посвящено много разработок [1]. В результате создан ряд устройств тепловых защит, которые можно классифицировать по способу контроля температуры машин. Это устройства непосредственного контроля температуры и устройства, построенные на основе косвенной оценки теплового состояния двигателя. Устройства, непосредственно контролирующие температуру, разделяют по типу применяемых температурных датчиков: биметаллические элементы; термометры сопротивления; терморезисторы с отрицательным коэффициентом электрического сопротивления (ТКС); полупроводниковые терморезисторы с положительным ТКС – позисторы; ферриты; пирометры. Кроме того устройства такого типа могут быть построены на базе схем с измерением сопротивления обмоток двигателя. Устройства тепловой защиты электродвигателей, основанные на непосредственном контроле температуры, имеют неоспоримое достоинство, и нашли применение на практике. Однако использование устройств встроенной тепловой защиты ограничивается необходимостью укладки термодатчиков в обмотки машины при ее изготовлении. Это усложняет технологию автоматизированного производства обмоток двигателей. Встроенные в обмотки датчики температуры затруднительно использовать для электроприводов механизмов, получающих питание от троллеев через контактную систему или двигателей, находящихся на значительном удалении от станций управления, так как практически невозможно получить надежную электрическую связь малоомощного датчика температуры с исполнительным устройством. Аналогичные проблемы имеет место при контроле температуры во вращающихся частях электрических машин. Ограничено применение встроенных датчиков и в обмотках высоковольтных машин из соображений техники безопасности.

Для защиты АД, у которых условия охлаждения в процессе эксплуатации могут поддерживаться без заметных ухудшений, используются устройства тепловой защиты с косвенным контролем температуры. Построенные по такому принципу устройства, основаны на определении температуры по величине греющих потерь, которые можно оценить по току нагрузки (переменные потери) и напряжению (постоянные потери). Наиболее простым и распространенным устройством этого типа являются реле с биметаллическими элементами. Биметаллическая пластина вместе с нагревательным элементом моделирует процесс нагрева обмоток электродвигателя в зависимости от величины протекающего по ним тока. Подобные устройства обеспечивают эффективную защи-

ту электродвигателей, работающих в длительных режимах S1, когда температура обмоток находится в жесткой функциональной зависимости от тока двигателя. Для АД, работающих в повторно-кратковременных и перемежающихся режимах (S3-S8) необходимо учитывать динамику тепловых процессов. Это означает, что в моделирующем устройстве тепловые переходные процессы должны быть такими же, как и в защищаемом двигателе. В устройствах с биметаллическими элементами такого совпадения достичь нельзя. Так постоянная времени нагрева обычных тепловых реле не превышает 10-15 мин., а у АД она значительно выше, поэтому устройства защиты с биметаллическими элементами в этом случае малоэффективны и даже полностью непригодны. Из выше изложенного следует, что для защиты АД, работающих в режимах S3-S8, в устройстве защиты должен быть узел, в котором адекватно воспроизводились бы тепловые переходные процессы, имеющие место в защищаемом двигателе при различных режимах работы.

В настоящее время имеется ряд разработок устройств защиты, использующих тепловую модель (аналог) электродвигателя. Одной из наиболее перспективных моделей является – тепловая, разработанная в Донецком государственном техническом университете.

На рис. 1 приведена схема этой тепловой модели.

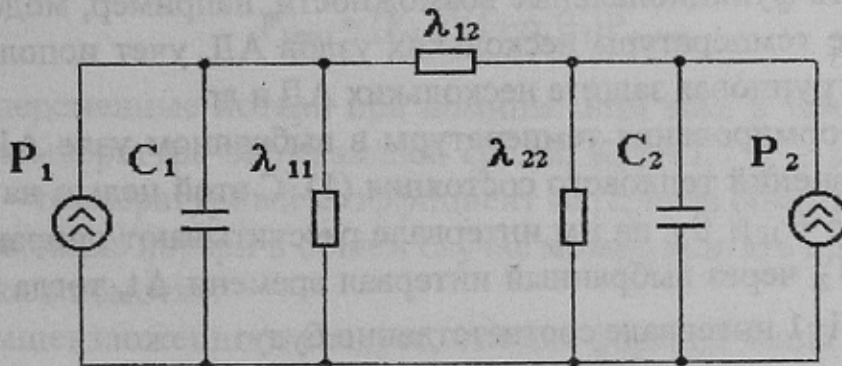


Рисунок 1 – Схема тепловой модели

В узле 1 модели формируется температура $\theta_i(t)$ любого i -го узла АД. Пассивные параметры модели – теплопроводности (λ_{11} , λ_{12} , λ_{22}) и теплоемкости (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 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 мо-

дели P_1 и P_2 являются потерями мощности в АД. P_1 – в выбранном узле машины, а P_2 – суммарные потери в остальных узлах. Переходные процессы, имеющие место в модели, описываются системой из двух дифференциальных уравнений

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

$$C_2(d\theta_2/dt) + \theta_2(\lambda_{22} + \lambda_{12}) - \theta_1\lambda_{12} = P_2, \quad (1)$$

где θ_1 – температура в выбранном узле АД.

Техническая реализация модели в устройствах тепловой защиты может быть осуществлена на основе аналогового или дискретного принципов. Вариант аналоговой модели возможен в виде эквивалентной электрической схемы из R – C цепочек или с использованием операционных усилителей. Устройства защиты с использованием аналоговой модели прошли успешную апробацию на установках ряда предприятий. Накопленный опыт эксплуатации тепловых защит свидетельствует о некоторых недостатках и ограничениях. Это относится к сложности подбора емкостей C_1 и C_2 , формированию потерь P_1 и P_2 и др. Использование дискретного принципа моделирования позволяет устранить указанные недостатки, что позволяет повысить точность моделирования и одновременно расширить функциональные возможности, например, моделирование в одном устройстве температуры нескольких узлов АД, учет использованного ресурса изоляции, групповая защита нескольких АД и др.

Алгоритм формирования температуры в выбранном узле АД составляется на основе уравнений теплового состояния (1). С этой целью на основе известных температур θ_{1i} и θ_{2i} на i -м интервале рассчитывают приращения температур $\Delta\theta_{1i}$ и $\Delta\theta_{2i}$ через выбранный интервал времени Δt , тогда температуры θ_{1i+1} и θ_{2i+1} на $i+1$ интервале соответственно будут

$$\theta_{1i+1} = \theta_{1i} + \Delta\theta_{1i};$$

$$\theta_{2i+1} = \theta_{2i} + \Delta\theta_{2i}. \quad (2)$$

Формулы для расчета $\Delta\theta_{1i}$ и $\Delta\theta_{2i}$ могут быть получены из уравнений (1)

$$\Delta\theta_{1i} = (P_{1i} - \theta_{1i}\lambda_{11i} + \theta_{2i}\lambda_{12i})\Delta t/C_1,$$

$$\Delta\theta_{2i} = (P_{2i} - \theta_{2i}\lambda_{22i} + \theta_{1i}\lambda_{12i})\Delta t/C_2. \quad (3)$$

Коэффициенты теплопроводности λ_{11i} , λ_{22i} и λ_{12i} зависят от режима охлаждения АД на i -м участке. Для двигателя с самовентиляцией возможны два режима: нагрев при вращающемся роторе (λ_{11ni} , λ_{22ni} и λ_{12ni}) и остывание

при неподвижном роторе (λ_{11oxi} , λ_{22oxi} и λ_{12oxi}). В случае, если на интервале Δt имеют место оба режима, необходимо выделить часть интервала с работающим двигателем Δt_p и период пауз Δt_n , а при расчете приращений использовать эквивалентные теплопроводности, равные

$$\lambda_s = (\lambda_n \Delta t_p + \lambda_{ox} \Delta t_n) / \Delta t. \quad (4)$$

Важную роль играет процесс формирования потерь P_{1i} и P_{2i} на i -м интервале. В общем случае потери P_i представляют в виде суммы постоянных $P_{пост\ i}$, переменных $P_{пер\ i}$ и добавочных потерь $P_{доб\ i}$

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

При неизменном напряжении сети $U_{1н}$ постоянные потери $P_{пост\ i}$ практически неизменны. В случае, когда имеет место колебания напряжения сети U_1 , постоянные потери можно рассчитать по формуле

$$P_{пост\ i} = P_{постн\ i} (U_1 / U_{1н})^2. \quad (6)$$

Переменные потери в обмотках находятся в функциональной зависимости от квадрата тока и температуры

$$P_{пер\ i} = (K_{1i})^2 (1 + \alpha \theta_i) P_{перн\ i}, \quad (7)$$

где $P_{перн\ i}$ — переменные потери при номинальном токе и температуре обмотки, равной температуре окружающей среды; $K_{1i} = I_i / I_{н\ i}$ — кратность тока в обмотке; α — температурный коэффициент материала обмотки.

Добавочные потери в общем случае можно считать пропорциональными квадрату тока в обмотке.

Из вышеизложенного следует, что для формирования P_{1i} и P_{2i} обязательно необходимо контролировать токи обмоток статора АД. Желателен и контроль напряжения сети. Последнее дает возможность не только корректировать постоянные потери, но и более точно сформировать величину тока ротора, а, следовательно, и переменных потерь в роторе, которые существенно растут при пониженном напряжении сети. Особую роль играет выбор шага Δt_1 контроля тока. Принимая во внимание, что тепловые процессы имеют длительный характер, то шаг Δt для расчетов $\Delta \theta_{1i}$ и $\Delta \theta_{2i}$ рационально выбирать равным $\Delta t = (30-60)$ сек. Для двигателей, работающих в повторно-кратковременных режимах S4 — S5, это время соизмеримо с длительностью цикла $t_{ц}$, поэтому шаг Δt_1 рационально уменьшить до 1-2 сек. При этом по возможности желательно фиксировать мгновенные значения токов, что существенно расширяет функциональные возможности устройства, позволяя судить об их гармоническом составе, несимметрии и пр., а, следовательно, и о возможных внутренних неис-

правностях АД. В качестве примера на рис.2 представлена структурная схема устройства предварительной обработки данных АД.

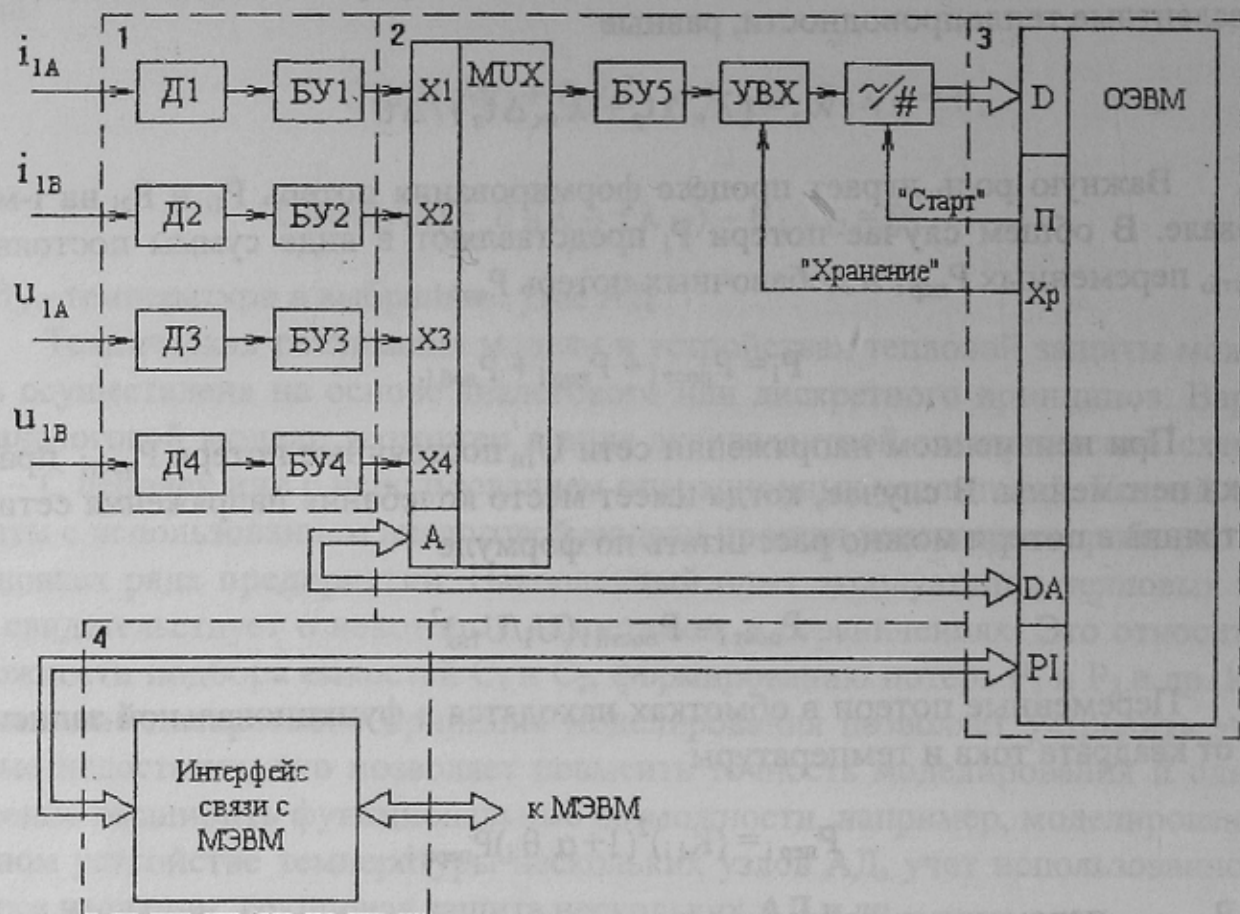


Рисунок 2 – Структурная схема предварительной обработки мгновенных значений фазных токов и напряжений АД

В состав этой схемы входят четыре блока. Блок 1 включает в себя два датчика тока D_1 и D_2 и два датчика напряжения D_3 и D_4 , позволяющие контролировать мгновенные значения фазных токов и напряжений. Кроме того блок 1 содержит буферные усилители $БУ_1 - БУ_4$ (рекомендуется выполнить на базе операционных усилителей типа 140УД17). Блок 2 – аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), включающий в себя буферный усилитель $БУ_5$, аналоговый коммутатор MUX (К590КН2), устройство выборки-хранения УВХ (КР1100СК2), двенадцатибитовый интегральный АЦП (594ПА1А). Блок 3 – ОЭВМ выполнен на базе однокристалльной микроЭВМ (К1816ВМ51). Блок 4 – интерфейс связи с центральной микроЭВМ (МЭВМ), рекомендован к исполнению на базе ИМС серии К555.

Алгоритм работы схемы следующий:

1. В блоках 1 и 2 осуществляется преобразование в численный вид мгновенных значений фазных токов и напряжений один раз за 0.2 с, со съемом 1000 отсчетов (100 точек на период) по каждой величине.

2. Полученные численные данные поступают в блок 3, в котором формируются комплексы действующих значений фазных токов и напряжений, их гармонический состав, все виды потерь, а также интервалы Δt_p и Δt_n режимов работы двигателя на каждом шаге Δt_i .

3. С помощью блока 4 осуществляется передача сформированных величин в центральную МЭВМ с шагом $t=30$ с.

4. В центральной МЭВМ рассчитываются $\Delta\theta_{ii}$, $\Delta\theta_{2i}$, θ_{ii+1} и θ_{2i+1} , а также другие характеристики АД, связанные с возможной несимметрией, плохим гармоническим составом и пр.

Центральная МЭВМ связана с одной стороны с информационным табло, на которое поступают сведения о тепловом состоянии обмоток и другие контролируемые параметры электродвигателя, а с другой стороны со станцией управления, в которую поступает сигнал на отключение или на снижение нагрузки АД при его перегреве.

Список литературы

1. Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электроэнергетических систем. М. "Энергоатомиздат", 1992.
2. Фритчи В. Применение микропроцессоров в системах управления. М. "Мир", 1984.
3. Гальперин М.В. Практическая схемотехника в промышленной автоматике. М. "Энергоатомиздат", 1987.