УДК 621.313.333.018

**ТЕМПЕРАТУРНОЕ РЕЛЕ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA16 КАК УНИВЕРСАЛЬНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОБМОТОК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**Гусаров А.А., инженер**

*(Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина)*

При эксплуатации мощного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АД) в режиме работы *S4* существует опасность перегрева «клетки» ротора, вплоть до температурных деформаций и расплавления его стержней.

Температурные защиты, выполненные согласно требованиям ГОСТ 27888-88, реагируют на усреднённую температуру контролируемого узла. Известные системы температурной защиты АД [1] не учитывают температуру ротора, косвенно контролируя только температуру в обмотке статора. Перегрев обмотки статора обычно не служит ограничением пусковых режимов двигателя.

Причиной выплавления обмотки ротора является не только неправильная эксплуатация электродвигателя, но и игнорирование разработчиками защитных систем скин-эффекта, вызванного наличием глубокого паза, следовательно, неравномерного распределения плотности тока и потерь в стержнях ротора и их неравномерного нагрева [2].

Предлагаемое температурное реле выполнено на базе микроконтроллера ATmega16 и обеспечивает защиту обмоток статора и ротора при эксплуатации АД как в стационарных, так и в нестационарных режимах при любых внешних условиях (окружающей среды, энергоснабжения, охлаждения и т.д.). В основу определения температур электродвигателя положен метод эквивалентных тепловых схем. В качестве исходной тепловой схемы замещения использована схема, обоснованная в исследовании [3], и применяемая повсеместно.

С целью создания комбинированной системы тепловой защиты схема модифицирована введением 8 узла – термодетектора (рис.1). Термодетектор (термистор малой теплоемкости) установленный в лобовой части обмотки статора позволяет контролировать среднюю температуру в точке установки.

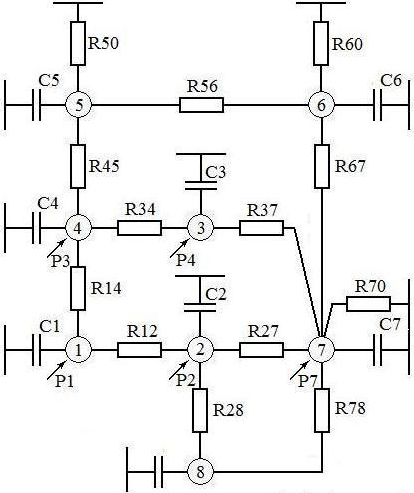
Результаты теплового расчёта по 8-узловой схеме замещения приняты за эталон в определении погрешностей работы разрабатываемого температурного реле

Как показывает опыт, в подавляющем большинстве случаев, для оценки реального теплового состояния электродвигателя достаточно отслеживать не всё его температурное поле, а только один его элемент, например обмотку статора и только в очень тяжелых режимах работы. В этом случае, реальная сумма экспонент в решении задачи, заменяется двумя эквивалентными.

Приняв эту концепцию, математическая модель для микроконтроллера отслеживает температуру четырёх узлов: стали статора, лобовой части обмотки статора, температурного датчика и обмотки ротора по двум экспонентам из восьми, создающим основной нагрев лобовой части обмотки двигателя.

Решение, получаемое с учётом термореле [4], имеет удовлетворительную сходимость с решением полной системы дифференциальных уравнений, описывающих динамическую схему замещения АД (рис.1).

Место установки реле предполагается между магнитным пускателем и управляемым им электродвигателем.



➀ – пазовая часть обмотки статора;

➁ – лобовая часть обмотки статора;

➂ – обмотка ротора;

➃ – зубцы статора;

➄ – корпус статора над пакетом

статора;

➅ – корпус статора над лобовыми

частями обмотки статора;

➃ – зубцы статора;

➄ – корпус статора над пакетом

статора;

➅ – корпус статора над лобовыми

частями обмотки статора;

➆ – внутренний воздух в машине.

➇ – термодетектор.

Рисунок 1- Динамическая тепловая схема замещения АД с термодетектором.

Предусмотрены два варианта работы защиты:

- двигатель отключается термодетектором.

Условие отключения двигателя: θ8+ϑокр≥ϑтд.

Условие нормальной работы: θ2+ϑокр<Θреле.;

- двигатель отключается температурным реле.

Условие отключения двигателя: θ2≥Θреле или θ3+ϑокр≥ϑ2обм.доп.

Условия нормальной работы: θ2<Θреле или θ3+ϑокр<ϑ2обм.доп.

где θ8, θ2, θ3 – значения превышения температур над нормируемой температурой окружающей среды, выдаваемые термореле, соответственно, для лобовой части обмотки статора и обмотки ротора; ϑокр – нормируемая температура окружающей среды; ϑтд – температура срабатывания термодетектора; Θреле – превышение температуры срабатывания цифрового реле; ϑ2обм.доп. – допустимая температура обмотки ротора АД.

Согласно ГОСТ183-74 ϑокр=40°С, но по техническим условиям для двигателя ЭДКОФ250М4 ϑокр=30°С.

Относительно температуры ϑтд ГОСТ 27888-88 указывают на невозможность оговорить границы рабочих температур детекторов, используемых в системе температурной защиты. Этот выбор может быть сделан только изготовителем машины в соответствии с опытом эксплуатации данного оборудования. По согласованию с заводом-изготовителем (ОАО Первомайский электромеханический завод им. К.Маркса) ϑтд=170°С. В таком случае, порог срабатывания для первого варианта защиты: Θ8сраб=ϑтд–ϑокр=170–30=140°С.

Для изоляции класса Н максимально допустимая температура изоляции, Θиз.доп.= 180°С. ГОСТ 27888-88 указывает, что в зависимости от категории защиты и погрешностей различных её элементов она, как правило, будет работать при температурах на 10÷20°С ниже пределов, указанных в этих таблицах. Поэтому, уставка на срабатывание реле: *Θреле= Θиз.доп.–20°С=160°С*.

Поскольку нет никаких нормативных документов для ограничения температуры ротора, кроме температуры плавления алюминия, допустимых температур для подшипников, установленных на валу ротора и допустимых температур для смазки подшипников, зададимся допустимой температурой обмотки ротора Θ3обм.доп=ϑ2обм.доп–ϑокр=280–30=250°С.

Оценка функциогнирования разработанной температурной защиты по ГОСТ 27888-88 сведена в табл. 1.

*Таблица 1*

**Результаты анализа работы температурной защиты**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант защиты | Скорость нарастания  тепловой перегрузки  (ГОСТ 27888-88, МЭК 34–11) | *Θоб.max,°C*  (ГОСТ 27888-88) | | Уставки на  срабатывание  защиты | | | Контроль  т/детектора  *θ8* | | Контроль  статора  *θ2* | Контроль  ротора  *θ3* | |
| Категория 1 | Категория 2 | *Θреле= Θиз.доп.–20°С* | *Θтд= Θ8сраб* | *Θ3обм.доп* | Данные термореле | Действительная температура | Действительная температура | Действительная температура | Защита |
| I1 | Низкая | 195 | 215 |  | **140** | 250 | 137 | **140** | 147 | 152 | + |
| Высокая | 250 | 275 |  | **140** | 250 | 153 | **140** | 339 | 182 | + |
| I2 | Низкая | 195 | 215 | 160 |  | 250 | 152 | 155 | 162 | 174 | + |
| Высокая | 250 | 275 | 160 |  | 2***50*** | 37 | 40 | **165** | ***224*** | + |

Установлено, что вслучае быстро нарастающей тепловой перегрузки, в момент срабатывания первого варианта защиты (*θ8*≥*Θ8сраб=140°С*) температура лобовой части обмотки статора достигает значения *θ2=339°С,* что превышает значение максимально допустимой температуры обмоток по требованиям ГОСТ 27888-88 *Θоб.max=250°С.* Значит, первый вариант работы защиты от термодетектора не удовлетворяет требованиям ГОСТ.

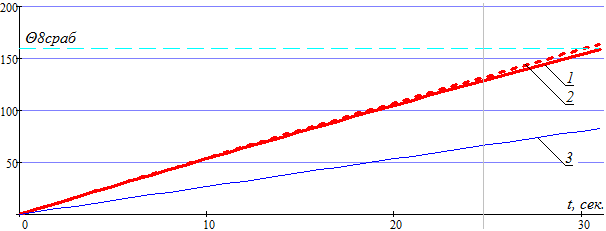
В случае быстро нарастающей тепловой перегрузки, при *θ2*≥*Θреле=160°С* действительное значение температуры *θ2 н*е превышают максимальной температуры срабатывания защиты *Θоб.max=250°С* (рис. 2). Следовательно,. второй вариант работы защиты по данным расчета температуры обмотки статора температурным реле удовлетворяет требованиям ГОСТ 27888-88.

Рисунок 2 - Значения температур контролируемых узлов АД в течение времени, вплоть до срабатывания второго варианта защиты в случае быстро нарастающей тепловой перегрузки: 1, 2 - температуры лобовой части обмотки статора *θ2*, рассчитанные температурным реле и по эталонной тепловой схеме; 3- температура обмотки ротора *θ3*.

Перечень ссылок

1. Бирг А.Н., Дмитриев В.Н., Надель Л.А. Реле защиты двигателя на базе однокристальной микро-ЭВМ КМ1813ВЕ1 // Материалы семинара "Микропроцессоры и средства вычислительной техники в новых разработках". Чебоксары. -1989.
2. Ковалёв Е.Б., Гусаров А.А. Распределение плотности тока и удельных потерь мощности в короткозамкнутых обмотках ротора двигателей забойных машин // Взрывозащищенное электрооборудование. - Сборник научных трудов УкрНИИВЭ. - 2008. - С. 102-106.
3. Ковалев Е.Б., Бурковский А.Н., Голанд Б.С. Методика тепловых расчетов взрывонепроницаемых электродвигателей // Электропромышленность 1970. - № 1.
4. Гусаров А.А. Определение температурных параметров асинхронных электродвигателей с быстро нарастающей тепловой перегрузкой для создания температурного реле защиты обмотки статора // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації – 1009. -№2 (19) – С. 46-51.