

УДК 621.313

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЩИТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ МЕДЛЕННО НАРАСТАЮЩИХ ТЕПЛОВЫХ ПЕРЕГРУЗОК© Загирняк¹ М.В., Невзлин² Б.И., Киричков¹ А.В., 2006¹ Кременчугский государственный политехнический университет
² Восточнoукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск

Оцінено вплив місця розміщення термодетектора на тепловий стан електродвигуна, на базі чого встановлено, що при загально прийнятій технології монтажу термодетектора має місце надто велика похибка визначення температури обмотки статора. Якщо термодетектор встановити безпосередньо на обмотку статора та ізолювати від оточуючого середовища, то похибка визначення температури стане припустимою

В настоящее время устройства тепловой защиты, например, тепловые реле ДТР, или более современные термодетекторы, встраиваются в электродвигатель после пропитки обмотки на ее лобовой части в наиболее удобном для установки месте. Поскольку в настоящее время нет обоснованных требований к их установке, ее технология обуславливается не требованиями защиты, а исходит из условий максимальной простоты и удобства.

На основании предложенных ранее моделей работы тепловой защиты [1-3] следует рассмотреть влияние технологии установки термодетектора на ее характеристики, принимая во внимание установленную в [3] зависимость погрешности измерения температуры в стационарном режиме работы от соотношения теплового сопротивления R_{12} изоляции между термодетектором и обмоткой, и теплового сопротивления R_{20} , обусловленного теплопередачей с термодетектора в окружающее его пространство, что и является целью данной работы.

Проанализируем влияние соотношения указанных сопротивлений на характеристики температурной защиты на примере одного из самых распространенных взрывобезопасных двигателей типа ЭДКОФ250М4 мощностью 55 кВт, применяемого для привода скребковых конвейеров.

В качестве термодетекторов температурной защиты могут быть использованы терморезисторы или позисторы. В дальнейшем рассматривается терморезисторная защита, которая конструктивно не отличается от позисторной, но позволяет более точно оценить параметры защиты. При этом управляющие элементы терморезисторной защиты не будут рассмотрены. Фактически такой подход равносильен рассмотрению позисторной защиты с позисторами, имеющими любую, необходимую для оптимальной защиты, температуру срабатывания.

Как показано в [1-3], в рассматриваемом случае можно выделить два источника погрешности определения температуры. Первый обуславливается выбором места установки термодетектора, второй – погрешностью собственно измерения температуры обмотки термодетектором в месте установки.

Первая погрешность может быть скомпенсирована соответствующим выбором температуры срабатывания термодетектора. Вторая зависит от технологии встраивания термодетектора в двигатель и его режима работы.

Поэтому ниже рассчитывается погрешность измерения температуры термодетектором в месте его установки, т.е. разности температур в точке обмотки, над которой установлен термодетектор, и температуры термодетектора в зависимости от технологии установки термодетектора и режима работы электродвигателя.

Предположим для простоты, что термодетектор установлен на лобовой части обмотки статора над ее точкой, в которой температура соответствует среднему превышению температуры обмотки. При этом термодетектор размещен на поверхности секции обмотки, а толщина $\Delta_{из.дат.}$ крепежной изоляции равна 0,3 мм. Эти условия соответствуют обычной технологии установки термодетектора.

Тепловой расчет был проведен для номинальной нагрузки электродвигателя на основе измеренных потерь мощностей в нем. С учетом результатов расчета тепловых сопротивлений, выполненного согласно [4-6], получены следующие данные.

Потери в обмотках статора и ротора при номинальном превышении температуры и температуре окружающей среды, соответствующих техническим требованиям на двигатель, равны соответственно $\Delta P_{s1} = 1740$ Вт и $\Delta P_{s2} = 1004$ Вт;

превышения температур основных точек схемы замещения из [2]:

- 1) пазовая часть обмотки статора $\theta_1 = 104,3^\circ\text{C}$;
- 2) лобовая часть обмотки статора $\theta_2 = 116,2^\circ\text{C}$;
- 3) обмотка ротора $\theta_3 = 131,7^\circ\text{C}$;
- 4) зубцы железа статора $\theta_4 = 94,2^\circ\text{C}$;
- 5) корпус статора над пакетом сердечника статора $\theta_5 = 41,1^\circ\text{C}$;
- 6) корпус статора над лобовыми частями обмотки статора $\theta_6 = 19,5^\circ\text{C}$;
- 7) внутренний воздух в машине $\theta_7 = 106,3^\circ\text{C}$;
- 8) термодетектор $\theta_8 = 112,4^\circ\text{C}$.

Среднее превышение температуры обмотки статора $\theta_{1\text{cp}} = 111,0^\circ\text{C}$. Среднее превышение температуры обмотки ротора $\theta_{2\text{cp}} = 131,7^\circ\text{C}$ (температура окружающей среды была принята $+40,0^\circ\text{C}$).

Определенные с помощью термодатчиков опытные превышения температуры обмоток статора и ротора составляют соответственно $\theta_{1\text{оп}} = 113^\circ\text{C}$ и $\theta_{2\text{оп}} = 201^\circ\text{C}$.

Как видно, получено хорошее совпадение расчетного и опытного значений превышения температуры обмотки статора, что позволяет проводить анализ характеристик температурной защиты, установленной на ее лобовой части. Относительно отличия превышения опытного и расчетного значений температур ротора, то поскольку в работе не поставлена задача защиты обмотки ротора, то причины этих различий выходят за пределы данной работы.

Для определения погрешности измерения температуры термодетектором использовалось уравнение из [3]. Эта погрешность соответствует разности температуры части обмотки, на которой установлен термодетектор, и температуры термодетектора:

$$\delta\theta_{12} = (\theta_{z2} - \theta_{z1}) / \theta_{z1} = -a_{z20} / a_{z22}. \quad (1)$$

В рассматриваемом случае:

$$\theta_{z2} = \theta_8 - \theta_7 = 112,4^\circ\text{C} - 106,3^\circ\text{C} = 6,1^\circ\text{C};$$

$$\theta_{z1} = \theta_2 - \theta_7 = 116,2^\circ\text{C} - 106,3^\circ\text{C} = 9,9^\circ\text{C},$$

где a_{z20} – тепловая проводимость перехода термодетектор – окружающая среда; a_{z22} – тепловая проводимость перехода термодетектор – лобовая часть обмотки, которая равна:

$$a_{z22} = a_{z12} + a_{z20}, \quad (2)$$

где a_{z12} – продольная теплопроводность обмотки.

Подставив в (1) значения проводимостей согласно теплового расчета [3]

$$a_{z12} = a_{82} = -1,4804 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{К};$$

$$a_{z22} = a_{88} = 2,40654 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{К},$$

с учетом (2) получим следующую погрешность измерения температуры:

$$\begin{aligned} \delta\theta_{12} &= -a_{z12} / a_{z22} - 1 = \\ &= (1,480 \cdot 10^{-2}) / (2,40654 \cdot 10^{-2}) - 1 = -0,385. \end{aligned}$$

При этом действительная погрешность измерения превышения температуры термодетектора над температурой внутреннего воздуха согласно (1) равна

$$\delta\theta_{12\text{оп}} = (\theta_{z2} - \theta_{z1}) / \theta_{z1} = (6,1 - 9,9) / 9,9 = -0,384$$

и совпадает с расчетной погрешностью с достаточной точностью.

В то же время, полученные значения погрешности показывают, что при общепринятой технологии установки термодетектора, имеет место высокая погрешность измерения превышения температуры обмотки статора относительно окружающей среды, превосходящая 30%.

Как видно из (1) и (2), уменьшить погрешность измерения температуры обмотки с помощью термодетектора можно, уменьшив значение a_{z20} , т.е. улучшив теплоизоляцию термодетектора от окружающей среды.

Рассмотрим вариант установки термо-детектора на поверхности секции обмотки с толщиной крепежной изоляции равной 3 мм. В результате тепловых расчетов, проведенных согласно [4-6], получены следующие данные:

$$\theta_1 = 104,3^\circ\text{C}; \theta_2 = 116,2^\circ\text{C}; \theta_3 = 131,7^\circ\text{C};$$

$$\theta_4 = 94,2^\circ\text{C}; \theta_5 = 41,1^\circ\text{C}; \theta_6 = 19,5^\circ\text{C};$$

$$\theta_7 = 106,3^\circ\text{C}; \theta_8 = 114,2^\circ\text{C}.$$

При температуре окружающей среды равной $+40,0^\circ\text{C}$ средние превышения температур обмоток статора и ротора аналогичны указанным выше, что подтверждает правомерность принятого ранее допущения о независимости среднего превышения температур элементов двигателя от технологии установки термодетектора.

Аналогично предыдущему для определения погрешности измерения температур термодетектором воспользуемся уравнением (1).

Тогда

$$\theta_{z2} = \theta_8 - \theta_7 = 114,2^\circ\text{C} - 106,3^\circ\text{C} = 7,9^\circ\text{C};$$

$$\theta_{z1} = \theta_2 - \theta_7 = 116,2^\circ\text{C} - 106,3^\circ\text{C} = 9,9^\circ\text{C}.$$

Подставив в (1) значения проводимостей согласно теплового расчета [3]

$$a_{z12} = a_{82} = -1,4804 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{К};$$

$$a_{z22} = a_{88} = 1,86872 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{К},$$

с учетом (2) получим следующую погрешность измерения температуры:

$$\delta\theta_{12} = -a_{z12} / a_{z22} - 1 = \\ = (1,480 \cdot 10^{-2}) / (1,86872 \cdot 10^{-2}) - 1 = -0,208.$$

Действительная погрешность измерения согласно (1) равна

$$\delta\theta_{12ii} = (\theta_{z2} - \theta_{z1}) / \theta_{z1} = (7,9 - 9,9) / 9,9 = -0,202$$

и совпадает с расчетной погрешностью с достаточной точностью.

Результаты тепловых исследований двигателя с различной толщиной $\Delta_{из.дат.}$ изоляции термодетектора от окружающего пространства приведены в табл 1.

Таблица 1 - Результаты моделирования тепловой защиты от медленно нарастающих перегрузок

$\Delta_{из.дат.}$, мм	θ_{1cp} , °C	θ_7 , °C	θ_2 , °C	θ_8 , °C	$\delta\theta_{12оп}$
0.3	111,0	106,3	116,2	112,4	-0,383
3.0	111,0	106,3	116,2	114,2	-0,202

Таким образом оценка влияния толщины крепежной изоляции термодетектора на тепловое состояние двигателя показала, что принятое допущение о независимости среднего превышения температур элементов двигателя от этой величины правомерно. Кроме того, при общепринятой технологии установки термодетектора в случае медленно нарастания тепловой перегрузки имеет

место высокая погрешность (более 30%) измерения им превышения температуры обмотки статора относительно окружающей среды. При медленном нарастании тепловой перегрузки погрешность измерения температуры обмотки статора с помощью термодетектора можно уменьшить до 20%, улучшив теплоизоляцию термодетектора от окружающей среды.

1. Загирняк М.В., Невзлин Б.И., Киричков А.В. *Современные тепловые защиты электродвигателей в горных условиях* // *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету.* – 2005, № 5. – С. 10-13. 2. Киричков А.В., Невзлин Б.И. *Нахождение температуры срабатывания термодетектора* // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.* – 2006, №2(13). – С.7-11. 3. Невзлин Б.И., Киричков А.В. *О погрешности измерения температуры обмотки статора асинхронного двигателя термодетекторами* // *Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації.* – 2006, № 2 (13). – С. 7-11. 4. Бурковский А.Н., Ковалев Е.Б., Коробов В.К. *Нагрев и охлаждение взрывозащищенных электродвигателей.* – М.: Энергия, 1970.- 198 с. 5. Ковалев Е.Б. Бурковский А.Н., Голянд Б.С. *Методика тепловых расчетов взрывонепроницаемых электродвигателей* // *Электропромышленность.*- 1970, № 1.-С.75-77. 6. Ковалев Е.Б., Бурковский А.Н. *Исследование тепловых сопротивлений электрических машин* // *Электропромышленность.*- 1968, №342.- С. 18-19