

10. Gang, Z. A DC traction power supply converter system with very low harmonics for railway vehicles [Текст] / Z. Gang, L. Zhigang, W. Lei, D. Lijun // Vehicle Power and Propulsion Conf., 2008. VPPC '08. IEEE. – 3-9-2008. – P. 1-6.
11. Кузнецов, В.Г. Оптимизация потерь электроэнергии в контактной сети железнодорожного транспорта [Текст] / В.Г. Кузнецов, К.А. Калашников, Д.А. Босый // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України.–2012.–С.-18-21.
12. Марквардт, К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог [Текст] / К.Г.Марквардт. – М:Транспорт, 1982.– 528 с.
13. Босов, А. А. Функции множества и их применение [Текст]: учеб. пособие / А. А. Босов. - Днепродзержинск: Изд. дом «Андрей», 2007. -182 с.

Проведена оцінка теплового стану асинхронного двигуна з резисторно-ступінчастим регулюванням у під синхронному діапазоні частоти обертання ротора у тривалому ($S1$) та повторно-короткочасному ($S3$) режимах роботи. Виконано порівняльний аналіз допустимих струмових навантажень АД, розрахованих методами еквівалентних теплових схем та середніх втрат

Ключові слова: асинхронний двигун, тепловий стан, регулювання, струмове навантаження

Проведена оценка теплового состояния асинхронного двигателя с резисторно – ступенчатый регулированием в под синхронном диапазоне частоты вращения ротора в продолжительном ($S1$) и повторно-кратковременном ($S3$) режимах работы. Выполнен сравнительный анализ допустимых токовых нагрузок АД, рассчитанных методами эквивалентных тепловых схем и средних потерь

Ключевые слова: асинхронный двигатель, тепловое состояние, регулирование, токовая нагрузка

УДК. 621.313.333

ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ Пониженной ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ РОТОРА

М. И. Коцур

Кандидат технических наук, старший преподаватель
Кафедра электрических и электронных аппаратов
Запорожский национальный
технический университет
ул. Жуковского 64, г. Запорожье, Украина, 69063
E-mail:kotsur_m@ukr.net

1. Введение

При эксплуатации крановых электроприводов на базе асинхронных двигателей (АД), имеет место изменение условий охлаждения в повторно-кратковременных режимах работы, в широком диапазоне изменения частоты вращения ротора. Асинхронные двигатели крановых и металлургических серий в основном изготавливаются с не вентилированным исполнением. Эффективность охлаждения АД пропорциональна скорости вращения двигателя, поэтому при значительном и продолжительном снижении частоты вращения ротора охлаждение АД существенно ухудшается, что существенным образом влияет на его тепловое состояние [8-13].

В связи с этим при расчете режимов работы по каталожным данным необходимо учитывать поправку на изменение условий охлаждения.

2. Анализ последних предшествующих исследований и публикаций

Анализ научных работ показал, что в многочисленных работах отечественных и зарубежных авторов

оценка теплового состояния АД в основном определяется методами расчета средних потерь и эквивалентных тепловых схем (ЭТС). При этом отсутствуют сведения о коррекции токовой нагрузки АД, учитывающей изменение теплоотдачи узлов АД при изменении частоты вращения ротора и анализ оценки их эффективности и точности расчета при использовании этих методов.

3. Постановка задачи

Целью данной работы является оценка теплового состояния АД при пониженных частотах вращения ротора и проведение сравнительного анализа допустимых токовых нагрузок, рассчитанных методами средних потерь и ЭТС.

4. Изложение основного материала

Для расчета и анализа теплового состояния АД использовалась электротепловая модель АД, которая позволяет учесть особенности преобразования энер-

гии электромагнитного поля в тепловую энергию, процессы теплопередачи и теплообмена, в зависимости от режимов работы и частоты вращения АД. Электротепловая модель АД основана на ЭТС, которая содержит 45 узлов и в отличие от существующих ЭТС учитывает дискретизацию определяющих элементов изоляции в зависимости от конструктивных особенностей исследуемого АД [1, 3-6]. Эквивалентная тепловая схема содержит как постоянные, так и переменные теплопроводности элементов, учитывающие изменение условий охлаждения, вызванные изменением частоты вращения АД. Параметры ЭТС рассчитывались по общеизвестной методике расчета нагрева АД [7].

Работа АД на заданной частоте вращения ротора обеспечивалась за счет применения резисторно – ступенчатого регулирования (РСР). При этом величина потерь в АД неизменна на всем под синхронном диапазоне рабочего скольжения.

На рис. 1 приведена зависимость относительных превышений максимальной температуры наиболее нагреваемого элемента лобовой части обмотки статора Θ_{\max}^* АД типа МТФ-111-6, $P_H=3,5$ кВт, от рабочего скольжения s управляемого АД с РСР в повторно-кратковременном режиме работы S3 для стандартизированных значений ПВ.

Относительное превышение максимальной температуры определяется по формуле

$$\Theta_{\max}^* = \frac{\Theta_{\max}}{\Theta_H}, \quad (1)$$

где Θ_{\max} - максимальное превышение температуры лобовой части обмотки статора АД, °С; Θ_H - номинальное превышение температуры лобовой части обмотки статора АД (для АД МТФ-111-6, $\Theta_H=94,2$ °С).

Анализ полученных результатов показал, что с ростом рабочего скольжения наибольшее превышение температуры имеет место при продолжительном режиме работы (ПВ=1,0). В повторно-кратковременном режиме работы, с уменьшением значения ПВ значение Θ_{\max}^* снижается.

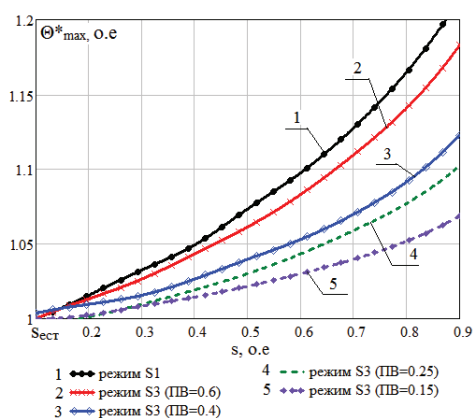


Рис. 1. Зависимость превышения максимальной температуры лобовой части обмотки статора (Θ_{\max}^*) от скольжения s АД типа МТФ-111-6, $P_H=3,5$ кВт для стандартизированных значений ПВ

Для исключения перегрева и обеспечения нормального теплового режима регулируемого АД в под синхронном диапазоне частоты вращения ротора, при

разных режимах работы, определялась методом средних потерь допустимая мощность АД [2].

Средние потери при изменении скорости само вентилируемого АД в общем виде определены по формуле

$$\Delta P_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^v \beta_i \cdot t_i}, \quad (2)$$

где n - число интервалов в цикле нагрузочной диаграммы; v - число интервалов, на которых АД работает с установившейся скоростью или находится в состоянии покоя; t_i - время работы АД с установившейся скоростью или время паузы; β_i - коэффициент ухудшения теплоотдачи на i -м интервале работы АД с пониженной скоростью.

Коэффициент ухудшения теплоотдачи от скорости АД определяется из следующего выражения:

$$\beta_i \approx \beta_0 + (1 - \beta_0) \cdot \frac{\Omega_i}{\Omega_H}, \quad (3)$$

где β_0 - коэффициент ухудшения теплоотдачи во время паузы ($\beta_0=0,25$);

Ω_i - угловая скорости АД на i -м интервале нагрузочной диаграммы;

Ω_H - угловая номинальная скорость АД.

На рис. 2 приведены допустимые значения коэффициента кратности тока статора β_{Is} для рабочего скольжения АД и режимов работы с разными значениями ПВ, обеспечивающие нормальный тепловой режим ($\Theta_{\max}^*=1,0$). Допустимые значения β_{Is} , рассчитанные с помощью метода средних потерь АД по (2 - 3), были сопоставлены с результатами расчетов допустимой токовой нагрузки АД по электротепловой модели АД. Анализ результатов расчета показал, что наибольшее допустимое значение токовой нагрузки имеет место при расчете по тепловой модели.

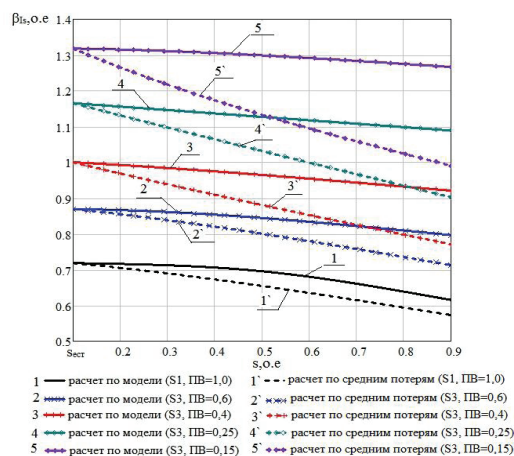


Рис. 2. Зависимость допустимых значений коэффициента кратности тока статора β_{Is} от скольжения s АД типа МТФ-111-6, $P_H=3,5$ кВт, обеспечивающие нормальный тепловой режим ($\Theta_{\max}^* = 1,0$)

Это вызвано тем, что нахождение нагрузочного тока, определяется относительно допустимой максимальной температурой лобовой части обмотки статора.

При этом доля выделяемых потерь в данном элементе конструкции меньше величины средних потерь АД, рассчитанных согласно (2). С ростом рабочего скольжения, а также с уменьшением значения ПВ, увеличивается разность между расчетными значениями β_{Is} .

Таким образом, определение допустимой токовой нагрузки с помощью метода средних потерь приводит к недоиспользованию ресурса по мощности АД, что особенно выражено при малом значении ПВ.

5. Выводы

1. Проведена оценка теплового состояния управляемого с помощью РСР асинхронного двигателя с

фазным ротором типа МТФ-111-6, $P_H=3,5$ кВт, в продолжительном (S1) и повторно-кратковременном (S3) режимах работы, в подсинхронном диапазоне частоты вращения ротора. Установлено, что значительное превышение температуры имеет место в диапазоне больших скольжений АД.

2. С целью повышения эксплуатационной надежности и поддержания номинальной температуры АД в под синхронном диапазоне частоты вращения ротора методами ЭТС и средних потерь были определены допустимые значения токовой нагрузки обмотки статора АД типа МТФ-111-6. Установлено, что применение метода средних потерь для расчета допустимой токовой нагрузки приводит к недоиспользованию мощности АД.

Литература

1. Андриенко, П. Д. Анализ термической стойкости изоляции асинхронного двигателя с фазным ротором при разных способах управления [Текст] / П. Д. Андриенко, И. М. Коцур, М. И. Коцур // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. - К.: Техніка, 2011 – №3(79). – С. 420 – 422.
2. Бурковский, А.Н. Определение допустимого тока статора закрытого асинхронного двигателя в кратковременных режимах с начальным нагревом [Текст] / А.Н. Бурковский, О.А. Рыбалко, Л.К. Шихова // *Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. – Донецк: ООО „Юго-Восток Лтд”, 2005. – С. 193-197.*
3. Коцур, М. И. Оценка ресурса системы изоляции управляемого асинхронного двигателя с фазным ротором в подсинхронном диапазоне частоты вращения ротора [Текст] / М. И. Коцур, П. Д. Андриенко, И. М. Коцур // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –2011. – №5/8(53). – С. 41-45.*
4. Коцур, М. И. Особенности режимов работы модифицированной системы импульсного регулирования асинхронного двигателя с фазным ротором [Текст] / М. И. Коцур, П. Д. Андриенко, И. М. Коцур, // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2012., – №3(19) – С. 163–165.*
5. Коцур, М. И. Повышение энергоэффективности схемы импульсного регулирования в цепи выпрямленного тока ротора [Текст] / М.И. Коцур // *Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2011. – №2(14). – С. 86-89.*
6. Коцур, М. И. Особенности выбора балластного сопротивления для схемы импульсного регулирования в цепи выпрямленного тока ротора [Текст] / М.И. Коцур // *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. - К.: Техніка, 2011, – №4(80). – С. 56-61.
7. Сипайлов, Г.А. Тепловые гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах [Текст] / Г.А. Сипайлов, Д.И. Санников, В.А. Жадан - М.: Высш. Шк., 1989. - 240 с.
8. Souto, O.C.N. Induction motors thermal behaviour and life expectancy under non-idea supply conditions [Text] / O. C. N. Souto, J.C. de Oliveira, L.M. Neto // *Proceedings of 9th IEEE Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), Orlando (USA), October 2000 – PP. 899-904.*
9. Hameyer, K. Thermal computation of electrical machines [Text] / K. Hameyer, U. Pahner, R. Belmans, H. Hedia // *3rd international workshop on electric & Magnetic fields, Liège, Belgium, May 6-9, 1996; pp. 61-66.*
10. Busschots, F. Direct torque control: application to crane drives [Text] / F. Busschots, B. Renier, R. Belmans // *7th European conference on power electronics and applications EPE, Trondheim, Norway, September 8-10, 1997; pp. 4579-4584.*
11. Driesen, J. Finite element modelling of thermal contact resistances and insulation layers in electrical machines [Text] / J. Driesen, R. Belmans, K. Hameyer // *IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC'99), Seattle, Washington, USA, May 9-12, 1999; pp. 222-224.*
12. Driesen, J. Coupled magneto-thermal simulation of thermally anisotropic electrical machines [Text] / J. Driesen, R. Belmans, K. Hameyer // *IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC'99), Seattle, Washington, USA, May 9-12, 1999; pp. 469-471.*
13. Abreu, J.P. Induction motor thermal aging caused by voltage distortion and imbalance: loss of useful life and its estimated cost [Text] / J.P. Abreu, A.E. Emanuel // *IEEE Transactions on Industry Applications. – 2002. – №1. – P. 12-20.*