

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ПОМОЩЬЮ ЭТАЛОННОГО МОМЕНТА ИНЕРЦИИ

© 2010 А.В. Егоров, В.Н. Белогусев, С.В. Дмитриев

Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола

Поступила в редакцию 26.03.2010

Аппаратно-программный комплекс позволяет получить основные механические характеристики асинхронного электрического двигателя: момент инерции, крутящий момент, мощность, коэффициент полезного действия методом эталонного момента инерции. Его применение позволяет значительно повысить экономическую эффективность технологических процессов испытаний асинхронных электрических двигателей.

Ключевые слова: *асинхронный двигатель, момент инерции, аппаратно-программный комплекс*

При испытании вращающихся электрических машин необходима измерительная аппаратура двух типов: для измерения электрических величин (тока, напряжения, мощности); для измерения неэлектрических величин (механических характеристик). Аппаратура первого типа (электроизмерительные приборы) отработана достаточно хорошо. Она стандартизована, подвергается метрологическому контролю и выпускается специализированными предприятиями. С аппаратурой для измерения неэлектрических величин дело обстоит значительно хуже. Номенклатура приборов, выпускаемых централизованно, невелика. Аппаратура не всегда стандартизована и порой не подвергается квалифицированному метрологическому контролю. В подавляющем большинстве случаев каждый завод, каждая проектно-конструкторская организация изготавливают аппаратуру для измерения неэлектрических величин (особенно вращающихся моментов) самостоятельно. На проектирование и изготовление такой нестандартной аппаратуры затрачиваются значительные средства, а высокая точность измерений, как правило, не закладывается даже на начальных стадиях [2].

Егоров Алексей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин. E-mail: aleksej_egorov@rambler.ru

Белогусев Владимир Николаевич, аспирант. E-mail: sernyr86@mail.ru

Дмитриев Сергей Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин. E-mail: kttm@marstu.net

Из вышесказанного делается вывод о необходимости создания испытательного оборудования для измерения неэлектрических величин (механических характеристик), которое бы отвечало требованиям простоты использования, высокой точности измерений и могло бы быть применено для исследований электрического двигателя на любом этапе его жизненного цикла.

Методы непосредственного определения вращающего момента на валу асинхронного электрического двигателя. Вращающий момент является одним из основных параметров двигателя. Без его измерения невозможно определение механической характеристики, а также полезной мощности и коэффициента полезного действия (кпд). Вращающий момент двигателя может быть определен путем непосредственного измерения [2].

Из уравнения движения:

$$M = M_c + M_d = M_c + j \frac{d\omega}{dt} \quad (1)$$

где M – вращающий момент на валу двигателя, $\text{Н}\cdot\text{м}^2$; M_c – момент сопротивления двигателя, $\text{Н}\cdot\text{м}^2$; M_d – динамический момент двигателя, $\text{Н}\cdot\text{м}^2$; j – момент инерции вращающихся масс, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $d\omega/dt$ – ускорение ротора, с^{-2} ; следует, что вращающий момент двигателя можно измерять:

- статическим методом при $M_d=0$ и $M_c=\text{const}$;
- методом суммарного момента ($M_c + M_d$), измеряя момент реакции статора испытуемого двигателя;

- динамическим методом при разгоне двигателя при $M_c=0$;

- квазистатическим методом при переменном тормозном моменте $M_c=v_{вар}$.

С помощью статического метода можно построить статическую механическую характеристику двигателя $M=f(n)$ по точкам, измеряя величину момента для нескольких значений частот n вращения. К недостаткам этого метода следует отнести большой нагрев двигателей при определении момента вне рабочей зоны механической характеристики двигателя, что значительно увеличивает время испытаний, ведет к нестабильности измерений из-за неустановившегося теплового режима, а при длительных измерениях может привести к недопустимому для нормальной работы изоляции нагреву его обмоток [3].

При использовании метода суммарного момента измеряют реактивный момент, действующий на статор испытуемого двигателя. Результаты измерений могут быть записаны в виде осциллограмм. Основным недостатком этого метода является необходимость крепления двигателя к измерительному механизму. Технологический разброс размеров двигателя приводит к смещению его центра тяжести относительно оси поворота прибора, что может привести к значительным погрешностям при измерении [3].

Квазистатический метод – применяется переменный тормозной момент сопротивления $M_c=v_{вар}$. При этом скорость изменения тормозного момента такова, что динамический момент близок к нулю, а вращающий момент двигателя можно принять равным тормозному моменту [4]. Основным недостатком метода является необходимость крепления двигателя к моментометру и нагрузочной машине (часто используется генератор постоянного тока) что может привести к смещению соосности соединения валов испытуемого двигателя и нагрузочной машины и к погрешностям при измерении.

Динамический метод определения вращающих моментов основан на измерении ускорения электродвигателя при разгоне от неподвижного состояния до номинальной частоты вращения. К недостаткам данного метода можно отнести необходимость определять момент инерции вращающихся масс испытуемого двигателя.

Обычно значение момента инерции (или маховых моментов GD^2) приводятся в каталожных данных двигателей. При изготовлении конкретных машин значения их моментов инерции задаются как средние на серию, которые

могут отличаться друг от друга в силу вариации технологических условий изготовления и сборки двигателей, т. е. точное значение момента инерции конкретного электродвигателя заранее может быть неизвестно. Зачастую сведения о моменте инерции испытуемого двигателя отсутствуют [5].

Расчетные методы определения механических характеристик. Механические характеристики асинхронного электрического двигателя рассчитываются по переменным:

- ротора (измеряются токи двух фаз статора), возможно измерение только на двигателе с короткозамкнутым ротором;

- статора (измеряются фазные напряжения и токи двух фаз статора). При построении механической характеристики испытуемого двигателя по переменным статора требования к измерительной аппаратуре повышаются по сравнению со способом по переменным ротора в связи с более высокой частотой измеряемых сигналов [6].

К недостаткам расчетного метода определения механических характеристик можно отнести отсутствие возможности определять игольчатые провалы момента на стадии пуска и не достаточная точность.

Вывод: из всех выше перечисленных методов наиболее простым, быстро реализуемым и эффективным является динамический метод определения вращающего момента на валу двигателя. В процессе его практической реализации возникает необходимость определения динамики изменения значения момента инерции вращающихся масс двигателя с учетом потерь на трение в опорах ротора (и щеточном механизме для двигателей с фазным ротором) в зависимости от угловой скорости ротора. Современные методы и средства измерений не позволяют сделать этого эффективно и с высокой степенью точности.

Существующие методы определения момента инерции вращающихся масс асинхронного электрического двигателя. Существующие методы определения момента инерции ротора асинхронной электрической машины, регламентируются ГОСТ 11828 – 86: - *метод крутильных колебаний*. К недостаткам следует отнести необходимость разбора двигателя, ограниченность применения по мощности, невысокая точность, сложность с реализацией точного подвеса на струну, невозможность определения динамики потерь на трение во всем диапазоне скоростных режимов работы двигателя;

- метод вспомогательного маятника. К недостаткам нужно отнести необходимость разбора двигателя в некоторых случаях, ограниченность применения по мощности, недостаточная точность, невозможность определения динамики потерь на трение во всем диапазоне скоростных режимов работы двигателя;

- метод самоторможения. К недостаткам следует отнести ограниченность применения по мощности, не высокая точность вследствие невозможности определения динамики потерь на трение во всем диапазоне скоростных режимов работы двигателя.

Предлагаемый метод «эталонного момента инерции». Реализуется метод следующим образом (см. рис. 1): из муфты вынимаются скрепляющие устройства, и удаляется элемент 5 с эталонным моментом инерции. Двигатель 2 запускается на холостом ходу, и угловая скорость выходного вала 3 доводится до номинальной, при этом определяется зависимость углового ускорения выходного вала от угловой скорости:

$$\varepsilon_1(\omega) = \frac{\omega + d\omega - \omega}{dt} \quad (2)$$

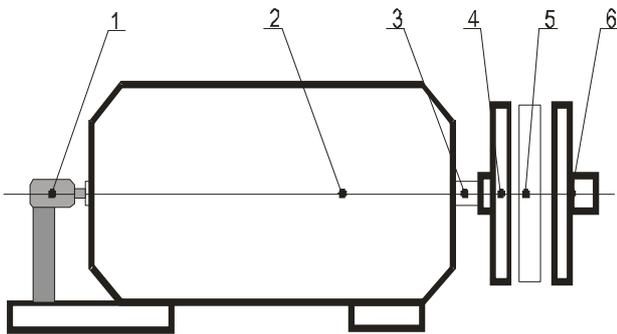


Рис. 1. Схема крепления экспериментальной установки: 1 – энкодер; 2 – электрический двигатель; 3 – вал двигателя; 4 – первая полумуфта, 5 – диск с эталонным моментом инерции; 6 – вторая полумуфта

Определение зависимости углового ускорения выходного вала от угловой скорости происходит с помощью энкодера. В режиме холостого хода уравнение движения имеет следующий вид:

$$M(\omega) = j(\omega) \cdot \varepsilon_1(\omega) \quad (3)$$

где $j(\omega)$ – зависимость момента инерции ротора с учетом потерь на трение в опорах (и щеточном механизме для двигателей с фазным ротором).

Двигатель останавливается. Затем на полумуфту 4 вала электрического двигателя с помощью скрепляющих элементов закрепляется элемент муфты 5, обладающий эталонным моментом инерции j_3 . Двигатель запускается на холостом ходу, и угловая скорость системы «выходной вал и эталонный элемент» доводится до номинальной, определяется зависимость углового ускорения системы «выходной вал и эталонный элемент» от угловой скорости:

$$\varepsilon_2(\omega) = \frac{\omega + d\omega - \omega}{dt} = \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

В режиме холостого хода уравнение движения имеет следующий вид:

$$M(\omega) = (j(\omega) + j_3) \cdot \varepsilon_2(\omega) \quad (5)$$

Так как в режиме холостого хода вращающий момент двигателя всегда равен одной и той же величине, можем приравнять правые части выражения (3) и (5) и определить зависимость момента инерции ротора электрического двигателя с учетом потерь на трение в опорах (и щеточном механизме в двигателях с фазным ротором):

$$j(\omega) = j_3 \cdot \frac{\varepsilon_2(\omega)}{\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_2(\omega)} \quad (6)$$

Подставляя значение $j(\omega)$ в выражения (3) или (5) определяем кривую эффективного крутящего момента $M(\omega)$ и эффективной мощности $N(\omega)$. Фиксируя зависимость от угловой скорости потребляемой двигателем электрической мощности $N_3(\omega)$ в процессе определения $\varepsilon_2(\omega)$ определяем зависимость эффективного коэффициента полезного действия двигателя от угловой скорости:

$$\eta(\omega) = \frac{N(\omega)}{N_3(\omega)} \quad (7)$$

На один из возможных способов реализации разработанного метода определения момента инерции электрического двигателя подана заявка на изобретение №2008127116 «Способ определения момента инерции электрического двигателя».

Для реализации разработанного метода был создан аппаратно-программный комплекс (АПК) и разработаны технические условия на его производство (ТУ 4258-001-02069579-2009). Аппаратно-программный комплекс позволяет проводить испытания двигателей без демонтажа с рабочего места и получать

зависимости основных характеристик от угловой скорости ротора: момента инерции, эффективного крутящего момента, эффективной мощности, мощности потерь на трение, коэффициента полезного действия, что позволяет значительно повысить экономическую эффективность испытаний электрических двигателей при высоких показателях точности.

Выводы: метод определения коэффициента полезного действия электрических машин с помощью эталонного момента инерции прошел на кафедре Транспортно-технологических машин Марийского государственного технического университета этап установочных испытаний, показал свою работоспособность и сходимость результатов с результатами полученными другими методами.

Работы по разрабатываемому научному направлению проводятся при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям в рамках государственного контракта №02.740.11.0511.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гольдберг, О.Д. Испытания электрических машин. Учеб. Для вузов по спец. «Электромеханика». – М.: Высш. шк. 1990. – 255 с.
2. Потапов, Л.А. Измерение вращающих моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей / Л.А. Потапов, Ф.М. Юферов. М., «Энергия», 1974. – 128 с.
3. Котельнец, Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин: учебник для вузов / Н. Ф. Котельнец, Н. А. Акимова, М. В. Антонов. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 384 с.
4. Акимов, Л.В. Устройство для экспрессдинамометрических испытаний асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором / Л.В. Акимов, О.Л. Литвинов, Н.П. Спанцирети // Электротехника. – 1975. - №3. – С. 47-49.
5. Алешин, Д.А. Разработка высокопроизводительного комплекса оценки качества асинхронных двигателей: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Кемерово, 1988. – 149 с.
6. Ташилицкий, М.М. Разработка способов экспериментального определения параметров и механических характеристик асинхронных двигателей: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М., 2005. – 166 с.

DEFINITION THE EFFICIENCY OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MACHINES BY MEANS OF STANDARD MOMENT OF INERTIA

© 2010 A.V. Egorov, V.N. Belogusev

Mari State Technical University, Ioshkar-Ola

The hardware-software complex allows to receive the basic mechanical characteristics of an asynchronous electric motor: the moment of inertia, twisting moment, capacity, efficiency by method of standart moment of inertia. Its application allows to raise considerably economic efficiency of technological processes in tests of asynchronous electric motors.

Key words: *asynchronous engine, moment of inertia, a hardware-software complex*

Aleksey Egorov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Transport-Technological Machines. E-mail: aleksej_egorov@rambler.ru
Vladimir Belogusev, Graduate Student. E-mail: sernyr86@mail.ru

Sergey Dmitriev, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Transport-Technological Machines. E-mail: kttm@marstu.net