



Столыпинский
вестник

Научная статья

Original article

УДК 621.9Т

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКОГО
ДАТЧИКА**

**METHOD FOR DETERMINING THE TORQUE OF AN INDUCTION
MOTOR USING AN OPTICAL SENSOR**

Чернусь Роман Сергеевич – кандидат технических наук, доцент каф. ЭиАСХ, Алтайский ГАУ (Алтайский государственный аграрный университет), 656049, Барнаул, пр. Красноармейский, д. 98Chernus.Roman@mail.ru

Chernus Roman Sergejevich, e-mail: Chernus.Roman@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается способ измерения крутящего момента на валу приводного электродвигателя машины или механизма, применяемых на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях. Большая часть этих двигателей – это асинхронные электродвигатели. Целью работы является разработка простого бесконтактного метода измерения момента на валу асинхронного электродвигателя. Объектом исследования является оптический датчик, позволяющий с большой точностью определить изменение оборотов электродвигателя. При этом он выдает цифровой сигнал удобный для дальнейшей обработки. Разработана программа для платы Arduino Nano для определения момента, реализующая зависимость момента от оборотов

асинхронного электродвигателя. Применение оптического датчика для определения момента с использованием платы Arduino Nano позволяет упростить обработку сигнала и расчет момента.

Abstract. The article deals with the method of measuring torque on the shaft of a drive electric motor of a machine or mechanism used in industrial and agricultural enterprises. Most of these motors are asynchronous electric motors. The aim of the work is to develop a simple non-contact method of measuring torque on the shaft of an induction motor. The object of the research is an optical sensor, which allows to determine with great accuracy the speed change of the electric motor. At the same time it gives a digital signal convenient for further processing. The program for Arduino Nano board for determining torque, which realizes the dependence of torque on revolutions of asynchronous electric motor, was developed. Application of optical sensor for determining torque using Arduino Nano board allows to simplify signal processing and torque calculation.

Ключевые слова: Асинхронный электродвигатель, оптический датчик оборотов, электрический сигнал, угловая скорость, момент двигателя, программное обеспечение.

Keywords: asynchronous motor, optical speed sensor, electrical signal, angular velocity, motor torque, software.

Введение. Измерение крутящих моментов является важной составляющей в технологическом процессе на сельскохозяйственных и промышленных предприятиях. Измерение крутящего момента на валу приводного электродвигателя позволяет контролировать загрузку машины. Это делает возможным оптимизировать её технологические процессы. При этом стабилизируется загрузка машин, их производительность, улучшается качество выпускаемой продукции, режимы работы оборудования. В электроприводной технике измерение момента требуется для оценки перегрузочной способности электродвигателя. Если не допускать перегрузки машин увеличивается их надежность и безотказный период.

Большая часть электродвигателей для привода машин или механизмов на промышленных и сельскохозяйственных предприятиях – это асинхронные электродвигатели. Это связано с их надёжностью дешёвизной и возможностью работать в тяжелых условиях.

Чаще всего при измерениях крутящих моментов используют упругие элементы, осуществляющие преобразование этих физических величин в линейное либо угловое перемещение или деформацию, которые, в свою очередь, преобразуются в электрический сигнал [1].

В последнее время все чаще стали использоваться бесконтактные методы измерения момента, например, описанный в литературе [2]. Метод основан на измерении тока статора асинхронного двигателя. В работах [3, 4] обоснована математическая модель, описывающая функциональную связь момента на валу электродвигателя с током статора асинхронного двигателя. Но предложенный способ сопряжен со вмешательством в электрическую часть двигателя, так как для измерений необходимо в цепь статора включать измерительный резистор. Это может вызвать небольшой перекос фаз и оказать влияние на работу электродвигателя. Сложность формулы связи между скольжением и током статора, связанная с её громоздкостью, нелинейностью и большим числом различных коэффициентов увеличивает погрешность измерения. Кроме того, в этом методе необходимо иметь дополнительное оборудование (аналого-цифровой преобразователь, персональный компьютер).

Целью настоящей работы является разработка простого бесконтактного метода измерения момента на валу асинхронного электродвигателя.

Математическая модель.

В основу метода положено выражение, связывающее момент и угловую скорость двигателя [5]:

$$M = \frac{3U_1^2 \frac{R'_2}{s}}{\omega_0 \left(X_k^2 + \left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 \right)}. \quad (1)$$

X_k - индуктивное сопротивление короткого замыкания, Ом;

R_1 - сопротивление статора, Ом;

R_2' - приведенное сопротивление ротора, Ом;

s - скольжение;

U_1 - напряжение на статоре, В;

Скольжение двигателя очень легко определяется по известной формуле:

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \quad (2)$$

где $\omega = \frac{\pi n}{30}$ - угловая частота вращения электродвигателя, рад/с;

ω_0 - синхронная угловая частота вращения поля статора электродвигателя, рад/с;

n - обороты электродвигателя, об/мин.

Совместное решение уравнений (1) и (2) позволяет получить функциональную связь момента с оборотами асинхронного двигателя. Для этого нужно подставить скольжение, описываемое выражением (1), в уравнение момента (2).

Объекты и методы.

Для снижения погрешности измерения момента требуется регистрировать минимальные изменения скорости вращения двигателя.

Для измерения частоты вращения применяются тахометры, построенные с использованием механического контактного и бесконтактных оптического, стробоскопического и индуктивного принципов измерения, а также комбинации этих методов.

Оптический способ основан на подсчете числа отраженных объектом импульсов светового потока. Датчики этой группы позволяют измерять значения частот вращения в очень широком диапазоне, они более удобны в применении, чем контактные [6]. Поэтому для измерения момента асинхронного электродвигателя принято решение использовать именно оптический способ.

Алгоритм реализации предлагаемого метода измерения момента.

На валу электродвигателя закрепляется пластинка с отверстиями или другой дискретизатор, предназначенный для прерывания светового потока между светодиодом и фотоэлементом оптической пары. Оптический датчик закрепляется неподвижно на корпусе двигателя. При вращении вала луч светодиода прерывается с частотой вращения вала (или пропорциональной ей при нескольких отверстиях в пластинке или других дискретизаторах) и датчик на выходе формирует цифровые сигналы с частотой равной частоте прерываний светового потока. Эти сигналы поступают в плату Arduino Nano, где производится расчет момента, по формулам (1) и (2). Результаты расчетов выводятся на дисплей непосредственно подключенный к Arduino или монитор персонального компьютера.

Для определения момента на языке программирования C/C++ разработана программа-скетч для платы Arduino Nano (Рисунок), реализующая выражения (1) и (2) для асинхронного двигателя АИР56В4 мощностью 180 Вт с учетом его характеристик.

```

#include "LCD_1602_RUS.h"
LCD_1602_RUS lcd(0x27, 16, 2);
float moment;
volatile unsigned long lastflash, flash, lastshow;
unsigned int RPM;
String spaces = "    ";
void setup() {
  Serial.begin(9600);           // открыть порт
  attachInterrupt(0, sens, RISING); // подключить прерывание на 2 пин при
повышении сигнала
  pinMode(3, OUTPUT);          // 3 пин как выход
  digitalWrite(3, HIGH);       // подать 5 вольт на 3 пин
  lcd.init();                  // инициализация дисплея
  lcd.backlight();             // включить подсветку
  lcd.setCursor(0, 0);         // курсор слева 1 строчка
  lcd.print(L"Обороты: ");    // слово Обороты
  lcd.setCursor(0, 1);        // курсор слева 2 строчка
  lcd.print(L"Момент: ");     // слово Момент
}
void sens() {
  flash = micros() - lastflash; // вычислить время между двумя оборотами
  lastflash = micros();         // запомнить время последнего оборота
}

void loop() {
  if (micros() - lastflash > 1000000) { // если сигнала нет больше секунды
    RPM = 0;                               // считаем, что всё стоит и не крутится
    moment = 0;
  } else {
    RPM = (float) 60000000 / flash;        // обороты в минуту
    moment = (float) 1 / ( 83.33 - 0.03524 * RPM + (13.54 / (1 - 0.0006667 * RPM
))); // момент , Н/м
  }
  if (millis() - lastshow > 300) { // каждые 300 миллисекунд
    lcd.setCursor(9, 0); // курсор 9 слева 1 строчка
    lcd.print(RPM);      // выводим обороты
    lcd.print(spaces);   // очищаем цифры с прошлого вывода
    lcd.setCursor(9, 1); // курсор 9 слева 2 строчка
    lcd.print(moment);   // выводим момент
    lcd.print(spaces);   // очищаем цифры с прошлого вывода
    lastshow = millis(); // сброс таймера
  }
}

```

Рисунок – Скетч-программа для Arduino Nano для определения момента асинхронного двигателя АИР56В4

Выводы. Применение оптического датчика для определения момента с использованием платы Arduino Nano и разработанного программного обеспечения позволяет упростить обработку сигнала и расчет момента.

Задачи для дальнейшего исследования экспериментальная проверка и определение погрешностей измерения момента.

Литература

1. Куликовский К.Л. Методы и средства измерений // К.Л. Куликовский, В.Я. Купер.- М.: Энергоатомиздат, 1986.- 448с..
2. Чернущ Р.С. Измерение момента на валу асинхронного электродвигателя с использованием программной среды LABVIEW /Р.С. Чернущ // Вестник

- Алтайского государственного аграрного университета.- Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2018, №4(162).-С.162-168
3. Багаев А.А. Метод измерения момента на валу в функции тока статора приводного асинхронного электродвигателя / А.А. Багаев, Р.С. Чернусь // Сборник научных статей международной конференции «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования». – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2015. - С.625 – 631.
 4. Багаев А.А. Математическая модель функциональной зависимости момента и мощности приводного асинхронного электродвигателя центробежного расходомера сыпучих сельскохозяйственных материалов от тока статора при частотном регулировании/ А.А. Багаев, Р.С. Чернусь// Вестник Алтайского государственного аграрного университета.- Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2015.-№ 10 (132)
 5. Онищенко Г.Б. Электрический привод / Г.Б.Онищенко. - М.: Академия, 2006.-288 с.
 6. Тахометры - измерители скорости вращения [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.energotest.ru/tcm.html> Дата обращения: 20.04.2023

Literature

1. Kulikovskiy K.L. Methods and Means of Measurement // K.L. Kulikovskiy, V.J. Cooper.-Moscow: Energoatomizdat, 1986.- 448p.
2. Chernus R.S. Measuring the moment on the shaft of an asynchronous electric motor using the software environment LABVIEW / R.S. Chernus // Bulletin of the Altai State Agrarian University.- Barnaul: RIO Altai CAU, 2018, №4(162).- P.162-168
3. Bagaev A.A. Method for measuring torque on the shaft as a function of stator current of a drive induction motor / A.A. Bagaev, R.S. Chernus // Collection of scientific papers of the international conference "Lomonosov readings in Altai: fundamental problems of science and education". - Barnaul: Publishing house of Alt. un-ta, 2015. - С.625 - 631.

4. Bagaev A.A. Mathematical model of functional dependence of torque and power of the drive asynchronous electric motor of the centrifugal flowmeter of bulk agricultural materials on the stator current with frequency regulation / A.A. Bagaev, R.S. Chernus // Bulletin of Altai State Agrarian University.- Barnaul: RI Altai CAU, 2015.- № 10 (132)
5. Onishchenko G.B. Electric drive / G.B. Onishchenko. - М.: Academy, 2006.-288 р.
6. Tachometers - velocity meters of rotation [Electronic resource].- Mode of access: <http://www.energotest.ru/tcm.html> Date of reference: 20.04.2023

© Чернусь Р.С., 2023 Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №6/2023.

Для цитирования: Чернусь Р.С. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА // Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №6/2023.