

«Московский парниковый» и составила 0,8 см., которая рассчитана в ящике находящимся под естественным освещением и дополнительным красным светодиодным освещением с длиной волны 660нм с момента прорастания семян (ящик №1) и в ящике находящимся только под естественным освещением (контрольный ящик №3).

Проведенное исследование показало положительный эффект воздействия красного света с длиной волны 660нм на разных стадиях развития салата «Московский парниковый»

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Агространа, национальный аграрный портал [Электронный ресурс] <http://agrostrana.ru/wiki/278-salat> (дата обращения: 10.03.2015).
2. Влияние света на растения - FloralWorld.ru [Электронный ресурс] <http://www.floralworld.ru/care/light.html> (дата обращения: 18.10.2015).

### ОБЗОР МЕТОДОВ БЕЗДАТЧИКОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПЕРМЕННОГО ТОКА

Власов К.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Производители систем управления стараются достичь высокой производительности и энергоэффективности от управления электродвигателем. Для управления электродвигателем, как правило, используется векторное управления, а для оценки положения ротора или скорости его вращения используются различные датчики и энкодеры. Использование таких датчиков приводит к увеличению стоимости электропривода в целом, увеличению габаритных размеров и массы системы. С одной стороны, такой электропривод достаточно точный, посмотрев на это с другой стороны, можно сказать, что дополнительные элементы системы приводят к уменьшению общей надежности системы.

В последнее время, стараются разработать системы управления, которые будут иметь минимальное число элементов, но при этом смогут выполнять все необходимые функции. Такими системами являются бездатчиковые системы управления, в них отсутствует элемент, которые отслеживает положение ротора или скорость его вращения, а вместо этого используется алгоритм, который имея технические данные о двигателе, показатели тока и напряжения в каждый момент времени способен вычислить данные о роторе.

На данный момент методов бездатчикового определения скорости и вращения ротора достаточно много, потому в данной работе приведены основные и самые используемые, а также основные принципы этих методов.

Методы для оценки положения ротора и его скорости можно разделить на три основные группы:

1. Методы, основанные на модели электродвигателя;
2. Методы введения сигнала воздействия;
3. Гибкие методы вычисления.

#### **Методы, основанные на модели электродвигателя.**

Эти методы используют модель электродвигателя и измеренные электрические величины. Полученные данные подставляются в модель электродвигателя, чтобы

впоследствии получить данные о скорости вращения ротора и его положении. Обычно получаемыми электрическими величинами является ток статора. В свою очередь это группа делится на три подгруппы:

а) Наблюдатель состояния.

На данный момент наиболее распространен наблюдатель полного порядка, предложенный японским исследователем Hisao Kubota. По ряду показателей этот алгоритм считается самым лучшим, а также он использует полную модель электромагнитных процессов электродвигателя в декартовой неподвижной системе координат  $(\alpha, \beta)$ . Система использует эталонную модель, которой является сам электродвигатель. Выходными координатами модели наблюдателя являются оценки вектора тока статора и потокосцеплений ротора. После этого выполняется вычисление вектора токовой ошибки [1].

Идея данного метода заключается в сведении к нулю произведения вектора токовой ошибки на оценку вектора потокосцепления ротора с помощью интегрального или пропорционально-интегрального регулятора. На рис. 1 представлена структурная схема данного алгоритма.

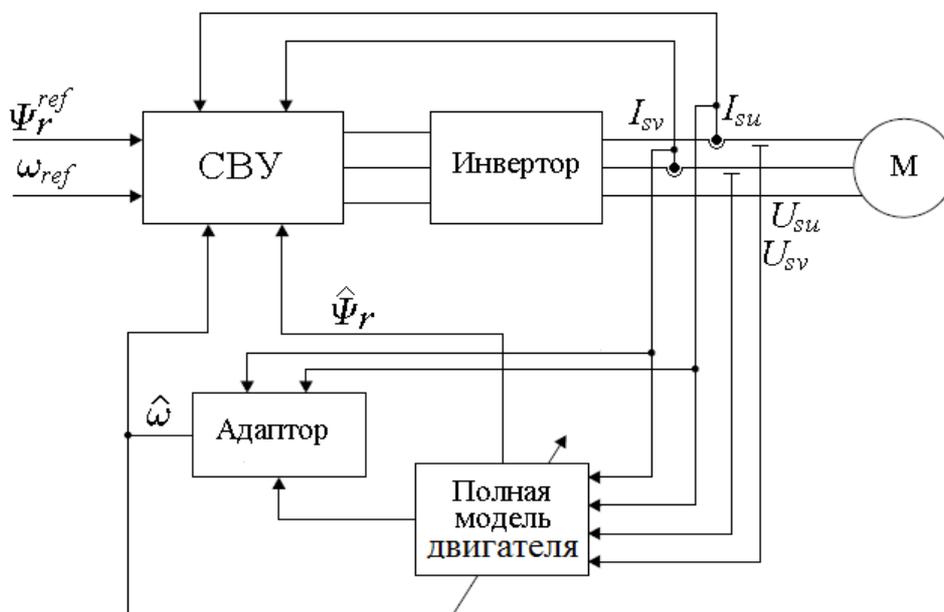


Рис. 1. Структурная схема алгоритма наблюдателя состояния полного порядка

б) Методы на основе обратной ЭДС.

Метод обратной ЭДС является одним из самых простых в системах поиска скорости и положения ротора, данный метод основан на определении параметров ротора в тот момент, когда график обратной ЭДС проходит через ноль. Этот проход через ноль запускает так называемый таймер, который работает некоторое время, а после завершения работы произойдет следующая коммутация [4].

Для обычной работы электродвигателя необходимо, чтобы фаза двигателя и его противо-ЭДС были согласованы, это необходимо для генерации постоянного крутящего момента. Текущую точку коммутации, которая показана на рис.2, можно определить с помощью точки пересечения нуля (ZCP) обратной ЭДС и  $30^\circ$  фазового сдвига [2,3]. Электродвигатель приводится в движение с помощью трехфазного инвертора, использующего шести ступенчатую коммутацию. Во время работы только две фазы проводят ток одновременно, а третья остается свободной. Для того чтобы

получить максимальный крутящий момент преобразователь должен выполнять коммутацию через каждые  $60^\circ$  путем определения пересечения нуля обратной ЭДС [5].

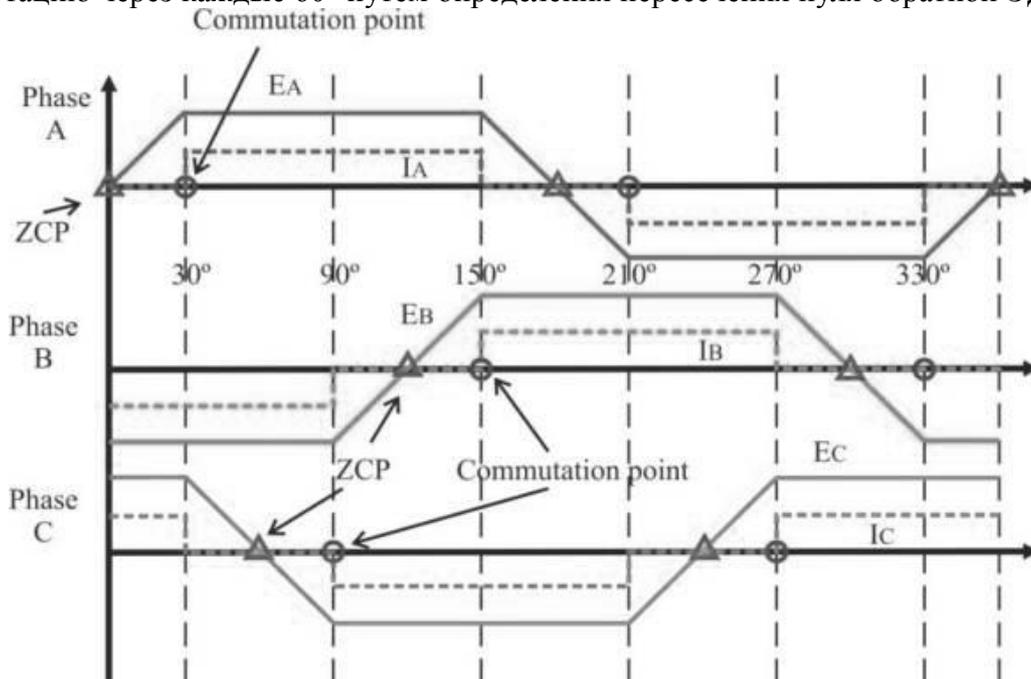


Рис. 2. Точки пересечения нуля обратной ЭДС и точки коммутации тока фазы

#### Метод введения сигнала воздействия.

Основной принцип этого метода состоит во введении высокочастотного пульсирующего сигнала напряжения в одну из составляющих управляющего сигнала двигателя, а затем повернуть на некоторый электрический угол этот пульсирующий сигнал для того, чтобы получить заметную разницу между сигналом до инъекции и после инъекции с некоторым периодом работы. Так как вводится сигнал напряжения, а измеряется сигнал тока, то результат может быть представлен отклонением, соответствующего высокочастотного сигнала. Данный метод делится на две подгруппы по виду сигнала:

- а) Методы высокой частоты. В этом методе выполняется, как правило, введение сигнала напряжения, частота сигнала которого составляет от нескольких сотен Гц до нескольких кГц.
- б) Методы низкой частоты. Этот метод основан на механической вибрации ротора. В этом методе вводимый сигнал использует частоту от нескольких Гц до нескольких сотен кГц.

На рис.3 векторная диаграмма представляет принцип этого метода. Вся обработка выполняется в  $dq$ -координатах, данная система координат вращается с основной частотой. Вводимый сигнал напряжения высокой частоты отмечен как  $V_{hf}$ . Этот сигнал является пульсирующим (это отмечено стрелкой), а также он может быть представлен двумя векторами, вращающимися в противоположных направлениях. Угол этого пульсирующего вектора, который также вращается с частотой 50 Гц по отношению к  $dq$ -координатам помечен как  $\varepsilon$ , где  $\varepsilon = 2\pi 50t$ . Следствием введения высокочастотного сигнала напряжения является высокочастотный ток  $I_{hf}$ , который пульсирует в направлении вектора напряжения  $V_{hf}$ . Существует также меньший пульсирующий компонент тока  $I_{hf}$ , который представлен в перпендикулярном направлении [6].

Метод высокочастотной инъекции имеет неоспоримый плюс, так как его можно применять во всем диапазоне скоростей, в том числе для скоростей близких к нулю.

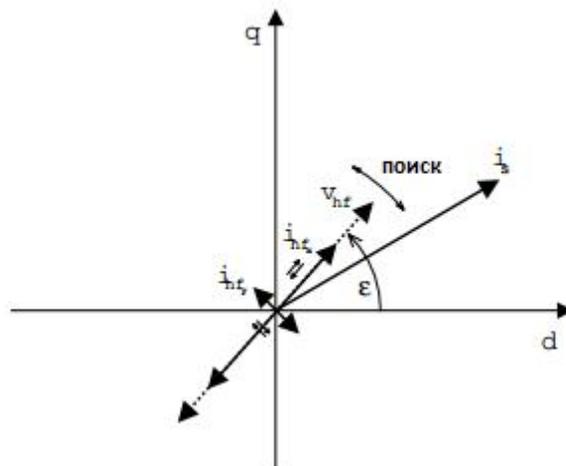


Рис. 3. Векторная диаграмма введения высокочастотного напряжения

#### Гибкие методы вычисления.

Гибкие методы вычисления используют нейронные сети, нечеткую логику или генетические алгоритмы для определения позиции и скорости вращения ротора. Нейронные сети изучают свойства электродвигателя с помощью заранее определенных данных, то есть они обучаются. После обучения нейронная сеть точно оценивает положение и скорость вращения ротора. В качестве входов в такой системе используются токи и напряжения. Также параметры электродвигателя могут быть определены и во время обычной работы двигателя. Нечеткая логика имеет немного другой принцип работы, она опирается на лингвистические правила, которые заранее определяются экспертом.

**Вывод:** Исходя из всего выше сказанного, можно сказать, что методов бездатчикового управления очень много, каждый хорош по своему в той или иной ситуации. На данный момент нет идеального метода, так как одни методы лучше работают на низких скоростях, другие не могут управлять электродвигателем на малых скоростях и скоростях близких к нулю. В связи с этим, существует необходимость в создании системы управления, которая сможет максимально точно управлять электродвигателем во всем диапазоне его скорости. Помимо этого такая система способна отслеживать малейшие неточности во время работы электродвигателя и предупредить о возможной неисправности, что позволит избежать дорогостоящего ремонта или даже полной замены вышедшего из строя агрегата.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. K. Ohyama. Comparative. Analysis of Experimental Performance and Stability of Sensorless Induction Motor // IEEE Trans. Indus. Electr. – February 2006. – vol. 53 – no.1. – pp. 178 – 186.
2. Iizuka K, Uzuhashi H, Kano M, Endo T, Mohri K. Microcomputer Control for Sensorless Brushless Motor // IEEE Trans And Appl. – 1985. – IA-21 – pp.595–601.
3. Bonfè M, Bergo M. A Brushless Motor Drive with Sensorless Control for Commercial Vehicle Hydraulic Pumps // Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2008). – Cambridge, England. – July 2008. – pp.612–617.
4. Becerra RC, Jahns TM, Ehsani M. Four-Quadrant Sensorless Brushless ECM Drive // Proceedings of the Sixth Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 1991). – Palm Springs, CA, USA. – March 1991. – pp. 202–209.

5. Shao J, Nolan D, Hopkins T. A Novel Direct Back EMF Detection for Sensorless Brushless DC (BLDC) Motor Drives // Proceedings of the Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2002). – Dallas, TX, USA. – March 2002. – pp. 33–37.
6. Drevensek, D., D. Zarko, T.A. Lipo, A Study of Sensorless Control of Induction Motor at Zero Speed Utilizing High Frequency Voltage Injection // EPE Power Electronics and Motion Control Conference. – Dubrovnik Croatia. – Sept. 2002. – pp.31 – 42.

## **ПРИМЕНЕНИЕ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ТОКА В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ**

Серьёзов Ю. В.

Вологодский государственный университет, г. Вологда

### **Актуальность работы**

В настоящее время во многих отраслях производства при работе электродвигателей необходимо учитывать величину и характер изменения механической нагрузки, а также момента инерции на валу электродвигателя. Примером может служить прокатный стан или шлифовальный станок.

### **Основные проблемы и решения**

Исходя из того, что такие параметры как момент нагрузки или момент инерции трудно измерять напрямую, информацию о них получают косвенно. Одним из наиболее распространённых способов является определение статического тока.

Задача получения достоверной информации о статическом токе, а значит - о величине нагрузки на привод, является очень важной. Система управления обязана уметь четко определять текущий режим. Кроме того, величина статического тока используется для подсчета энергетических затрат (расхода электроэнергии) на полезную работу [1].

Принцип работы датчика статического тока основывается на выделении динамической составляющей тока при помощи модели двигателя, либо при помощи наблюдателя состояния (модели с коррекцией). Динамическая составляющая вычитается из полного тока, оставшаяся часть и является статическим током. Данную задачу возможно решить с помощью цифрового наблюдателя состояния (НС). Выполнение НС в аналоговом виде усложняет поставленную задачу, т.к. возникают проблемы помехозащищенности, нестабильности параметров операционных усилителей, а также необходимость масштабирования переменных [3]. Подобных недостатков лишены цифровые НС (ЦНС), поэтому даже в САУ с аналоговыми регуляторами их применение целесообразно и оправдано. Применение наблюдателей состояния (НС) для восстановления не измеряемых координат объекта регулирования позволяет строить эффективные системы автоматического управления (САУ).

Наблюдатель состояния основывается на модели двигателя. Настройка НС состоит из трех этапов [2].

Первый – необходимо для модели двигателя (т.е. для наблюдателя с отключенными корректирующими связями) при работе привода вхолостую, подобрать значения параметров двигателя так, чтобы восстановленная моделью динамическая составляющая тока как можно лучше совпадала с полным током двигателя.

Второй – необходимо подключить корректирующие коэффициенты наблюдателя состояния и подбирать коэффициенты корректирующих связей, варьируя собственную