

## ОПЕРАТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ\*

А.С. Кульмухаметова

г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет

## ON-LINE DIAGNOSTICS OF AC ELECTRONIC MOTOR

A.S. Kulmukhametova

Chelyabinsk, South Ural State University

Рассмотрены задачи ограничения электромагнитного момента вентильного электродвигателя и определения момента сопротивления на его валу с целью диагностики состояния электропривода. Синтезированы уравнения наблюдателей электромагнитного момента и момента сопротивления, работающих автономно и независимо друг от друга. Проведено математическое моделирование, доказывающее эффективность совместной работы наблюдателей.

*Ключевые слова:* электропривод, диагностика состояния, вентильный электродвигатель, синхронный электродвигатель с постоянными магнитами.

The problems of limitation of electromagnetic torque of the AC electronic motor and assessment of the resisting moment on the motor shaft with the purpose of diagnostics of electric drive state are considered. The equations of electromagnetic torque and resisting moment done by the observers which work independently are synthesized. The mathematical modeling is performed thus it proves the efficiency of observers cooperation.

*Keywords:* electric drive, diagnostics of state, AC electronic motor, synchronous electric motor with permanent magnets.

В ответственных электроприводах возникают задачи регламентирования или ограничения электромагнитного момента двигателя, а также определения величины момента сопротивления на его валу, например, при диагностике в рабочем состоянии электродвигателя. Причем установка дополнительных датчиков момента по конструктивным или иным соображениям невозможна. В этом случае возникает задача оценивания указанных координат по другим наблюдаемым координатам и параметрам. Данная задача решалась применительно к электроприводу запорной арматуры с вентильным двигателем (ВД) с возбуждением от постоянных магнитов, при условии, что напряжение на фазных обмотках изменяется по синусоидальному закону. В этом случае двигатель можно рассматривать как синхронную машину с фиксированным углом нагрузки, который устанавливается датчиком положения ротора. Полученная в результате в общем случае нелинейная и нестационарная математическая модель ВД имеет вид [1]

$$\mu(\tau) = i_q(\tau) \approx \frac{\gamma(\cos\theta + \varepsilon\tau_s \sin\theta) - \varepsilon}{1 + (\varepsilon\tau_s)^2} \left[ 1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_s}} \right]. \quad (1)$$

Здесь  $\gamma \in (0, 1)$  – относительная длительность импульсов ШИМ – регулирования;  $\varepsilon$  – относительная ЭДС или относительная частота вращения ротора;  $\tau_s = \frac{\omega_0 L}{r}$  – электромагнитная постоянная времени обмотки якоря в относительных единицах, в масштабе времени  $\tau = \omega_0 t$ ,  $\omega_0 = \frac{U_0}{K\Phi}$ ; КФ – коэффициент связи между действующим значением фазной ЭДС и частотой вращения ротора.

Анализ этой модели позволил получить передаточные соотношения для квазистационарного режима работы привода, которые легли в основу нелинейного наблюдающего устройства электромагнитного момента ВД. В частности, наблюдатель электромагнитного момента ВД описывается следующим уравнением [2, 3]:

\* По материалам НИР, выполняемой в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры России» на 2009–2013 годы по государственному контракту от 1 сентября 2010 года № 14.740.11.0029.

$$\frac{d\hat{\mu}}{d\tau} = \frac{1}{\tau_3} \left[ -\hat{\mu} + \frac{\gamma(\cos \theta + \varepsilon \tau_3 \sin \theta) - \varepsilon}{1 + (\varepsilon \tau_3)^2} \right], \quad (2)$$

где  $\hat{\mu}$  – оценка электромагнитного момента двигателя. Легко получить дискретную реализацию наблюдателя [4].

Для определения момента сопротивления вращению запорной арматуры используется уравнение движения привода.

Будем предполагать, что частота вращения ротора измеряется, как и в случае определения электромагнитного момента, и мы располагаем оценкой электромагнитного момента двигателя. Тогда уравнения, описывающие механическое движение привода будут следующие:

$$\begin{aligned} \frac{d\varepsilon}{d\tau} &= \frac{1}{\tau_m} (\hat{\mu} - \mu_c), \\ \frac{d\mu_c}{d\tau} &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь пространство состояния расширено и в него включен искомый момент сопротивления. Электромагнитный момент является для этой модели механического движения привода входом (управлением) и должен быть получен с помощью своего наблюдателя. В данном случае модель является линейной и нет никаких препятствий для синтеза линейного редуцированного наблюдателя Люенберга [5]:

$$\begin{aligned} \dot{v} &= \lambda_n v + \varepsilon - \frac{\hat{\mu}}{\lambda_n \tau_m}, \\ \hat{x}_2 &= \hat{\mu}_c = \lambda_n \tau_m \varepsilon + \lambda_n^2 \tau_m v. \end{aligned} \quad (4)$$

Таким образом, реализация наблюдателя момента сопротивления чрезвычайно проста – реализуется на одном интеграторе. Так же, как и для

наблюдателя электромагнитного момента двигателя, можно легко получить дискретную модель наблюдателя. Особенность наблюдателя момента сопротивления в том, что он работает совместно с наблюдателем электромагнитного момента. Причём синтез этих двух наблюдателей мы провели автономно, независимо друг от друга. Такой порядок синтеза предпочтительнее, чем синтез полноразмерного наблюдателя всех неизмеряемых координат объекта. Для подтверждения результатов было проведено компьютерное моделирование. Качество оценивания в обоих случаях высокое, абсолютная ошибка не превышает 0,02.

### Литература

1. *Определение электромагнитного момента и момента сопротивления на валу синхронного электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов* / С.Г. Воронин, Д.А. Курносов, Д.В. Коробатов и др. // *Электротехника*. – 2012. – № 2. – С. 2–5.
2. *Шабуров, П.О. Обеспечение работоспособности электропривода с вентильным двигателем при единичных отказах в силовом канале* / П.О. Шабуров, С.Г. Воронин, Д.А. Курносов // *Электричество*. – 2010. – №11. – С. 39–42.
3. *Динамические модели вентильного двигателя при различных сочетаниях параметров* / С.Г. Воронин, Д.В. Коробатов, Р.Т. Киякпаев, А.С. Кульмухаметова // *Известие Академии электротехнических наук*, 2012. – 14 с.
4. *Самосейко, В.Ф. / Теоретические основы управления электроприводом: учебное пособие* / В.Ф. Самосейко. – СПб.: Элмор, 2007. – 464 с.
5. *Браммер, К. / Фильтр Калмана-Бьюси* / К. Браммер, Г. Зиффлинг. – М.: Наука, 1982. – 199 с.

*Поступила в редакцию 10.10.2012 г.*

**Кульмухаметова Александра Сериковна** – аспирант кафедры «Электромеханика и электромеханические системы», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Контактный телефон: 8-(351)267-90-57. E-mail: kul@inbox.ru

**Kulmukhametova Aleksandra Serikovna** – Postgraduate student of Electromechanics and Electromechanical Systems Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Contact telephone number: 8-(351)267-90-57. E-mail: kul@inbox.ru