

Анализ влияния угла установки датчиков Холла на пульсации электромагнитного момента вентильного двигателя

06, июнь 2017

Смаль А. В., Борисова А. Ю.

УДК: 681.586.728

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

kafsm7@sm.bmstu.ru

Введение

В последние годы в современных мехатронных системах широкое применение нашли вентильные двигатели (ВД) (бесколлекторные двигатели постоянного тока (БДПТ)). Данная тенденция обусловлена стремительным развитием электронно-вычислительной техники и положительными характеристиками ВД, такими как высокая удельная мощность на единицу массы электродвигателя (ЭД), малая энергозатратность, обусловленная отсутствием питания цепи возбуждения. ВД позволяют выполнять требования, предъявляемые к электроприводам, используемых в системах стабилизации высокой точности, в приводах роботов и манипуляторов [1].

1. Принцип работы вентильного двигателя

ВД – это устройство, в котором магнитоэлектрическая синхронная машина с синусоидальным распределением магнитного поля в зазоре включена в замкнутую систему с использованием датчика положения ротора (ДПР), преобразователя координат (ПК) и автономного инвертора (АИ) [2,3]. ДПР вырабатывает информационные сигналы о положении ротора ВД, которые поступают в ПК, где реализуется модуляция сигнала управления (рис.1).

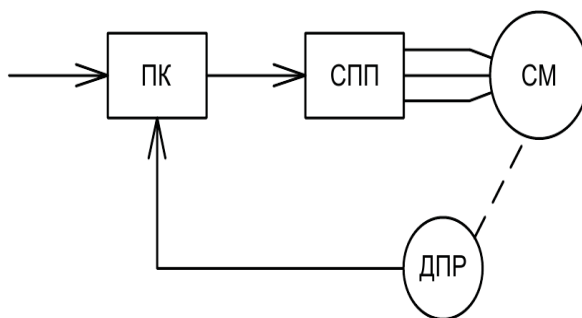


Рис. 1. Функциональная модель ВД

2. Классификация ДПР

По типу чувствительных элементов ДПР подразделяются на:

- фотоэлектрические;
- индуктивные (дроссельные и трансформаторные);
- гальваномагнитные (датчики Холла).

По форме сигнала:

- аналоговые;
- дискретные.

В качестве ДПР в ВД чаще применяют бесконтактные синусно-косинусные трансформаторы (СКВТ) встраиваемого исполнения типа индуктивного редуктосина или резольвера, изготавливаемые с одинаковым числом пар полюсов ВД [4]. Измерительные синусные и косинусные обмотки СКВТ выдают гармонический сигнал пропорциональный косинусу и синусу угла поворота вала ротора. СКВТ обладают не только значительной устойчивостью к вибрационным и ударным нагрузкам, к изменению параметров внешней среды, и низкой чувствительностью к воздействию помех, но и значительной точностью, что определило их применение в качестве ДПР в следящих вентильных электроприводах в жестких условиях эксплуатации. Обработка сигналов с СКВТ происходит с помощью специальных преобразователей сигналов – аналого-цифровых преобразователей вращающихся трансформаторов (АЦП ВТ) различных типов: АЦП ВТ на основе фазовращателя, АЦП ВТ на основе осциллятора, следящего АЦП ВТ [5].

Датчики Холла и фотоэлектрические датчики обладают высокой точностью, малой инерционностью и практически не вносят запаздывания в канале обратной связи по положению ротора. Требования, предъявляемые к электроприводам, работающих в жестких условиях эксплуатации, такие как стойкость к вибрационным и ударным нагрузкам, рабочий диапазон температур ограничивают возможность применения фотоэлектрических датчиков.

При невысоких требованиях к уровню пульсаций момента в ВД могут быть применены цифровые ДПР. Применение цифровых датчиков позволяет непосредственно получить выходной сигнал в цифровой форме, не требуя дополнительной электронной схемы для преобразования сигнала в код, что снижает массогабаритные параметры вентильного электропривода.

В качестве ДПР может быть применено тахометрическое устройство с дифференцирующими элементами в виде трансформаторов, созданное на базе синусно-косинусного ДПР ВД [6].

Существует бездатчиковая система управления вентильно-индукторной электрической машины, которая обеспечивает высокие показатели надежности, что обуславливает применение в тяжелых условиях эксплуатации [7].

Основными критериями при выборе ДПР являются:

- точность и надежность передачи сигнала;
- минимальные масса и габариты датчика;

- малое время запаздывания в канале обратной связи по положению ротора;
- высокая стойкость к внешним воздействиям окружающей среды.

Для уменьшения массогабаритных параметров привода в статор двухфазного синхронного двигателя с постоянными магнитами устанавливаются датчики Холла. В пазах нет надежной плоскости и не гарантируется точность установки ДХ, в связи с этим возникает необходимость исследования влияния угла установки на характеристики ДПР.

3. Анализ влияния угла установки ДХ на пульсации электромагнитного момента ЭД

ВД, построенные на основе СД с неявно выраженными полюсами имеют относительно высокую величину пульсаций момента в связи с:

- асимметрией фазных обмоток;
- неточностью установки ДПР;
- отклонением формы потока Φ_0 от гармонической формы [8,9].

Проведем анализ влияния угла установки ДПР на пульсации электромагнитного момента вентильного двигателя. Определим влияние ДПР на основе аналоговых и цифровых ДХ на пульсации момента. Особенностью применения ДХ в отличие от других датчиков является ориентация каждой фазной обмотки статора ЭД.

Структурная схема системы управления вентильным двигателем показана на рис.2, где 1 и 2 являются входами сигнала модуляции.

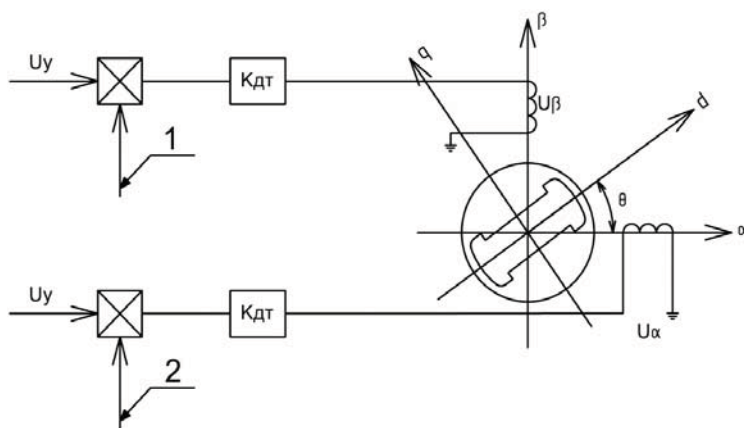


Рис. 2. Структурная схема системы управления вентильным двигателем

Согласно [10] выражение для момента, развиваемого двухфазным СД с неявно выраженными полюсами (1):

$$M_d = i_d \cdot L_{1d} \cdot (-i_f \cdot \sin\theta + i_g \cos\theta), \quad (1)$$

где i_d, i_f, i_g – значения тока в фазных обмотках;

L_{1d} – значение взаимной индуктивности обмотки статора с обмоткой ротора;

θ – угол поворота ротора.

Выражения для фазных токов при задании управления сигналами гармонической формы, полученных с 2 аналоговых ДХ (2):

$$\begin{cases} i_\alpha = -k_{дт} \cdot u_y \cdot \sin\theta \\ i_\beta = k_{дт} \cdot u_y \cdot \cos\theta \end{cases} \quad (2)$$

Подставляя (1.2) в (1.1) получаем линейную зависимость момента M_d от сигнала управления u_y (3):

$$M_d = k_{дт} \cdot i_d \cdot L_{1d} \cdot u_y \quad (3)$$

Согласно (3) момент СД постоянный и не зависит ни от углового положения ротора, ни от значения и направления скорости его вращения.

Учитывая неточность установки фазных ДХ, наблюдаются пульсации момента (4):

$$M_d = k_{дт} \cdot u_y \cdot i_d \cdot L_{1d} \cdot (-i_f \cdot \sin\theta \cdot \sin(\theta \pm \Delta_s) + i_g \cdot \cos\theta \cdot \cos(\vartheta \pm \Delta_c)), \quad (4)$$

где Δ_s и Δ_c – углы, характеризующие неточность установки фазных ДХ.

Выражения для фазных токов при модуляции сигнала управления сигналом прямоугольной формы, полученного с 2 цифровых ДХ (5) и (6):

$$\begin{cases} i_\alpha = -k_{дт} \cdot u_y, \text{ если } \Phi_0 \sin\theta < 0 \\ i_\alpha = k_{дт} \cdot u_y, \text{ если } \Phi_0 \sin\theta \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} i_\beta = -k_{дт} \cdot u_y, \text{ если } \Phi_0 \cos\theta < 0 \\ i_\beta = k_{дт} \cdot u_y, \text{ если } \Phi_0 \cos\theta \geq 0 \end{cases} \quad (6)$$

При применении в качестве ДПР ДХ с цифровым выходом наблюдаются пульсации момента в случае установки ДХ при $\Delta_s=0$ и $\Delta_c=0$.

Для подтверждения теоретических данных разработана математическая модель системы управления вентильным двигателем в пакете MATLAB&Simulink. Пульсации момента оценены с помощью статистического метода - дисперсии D момента. По полученным результатам построены гистограммы зависимости дисперсии момента от угла установки аналоговых и цифровых ДХ (Рис.3).

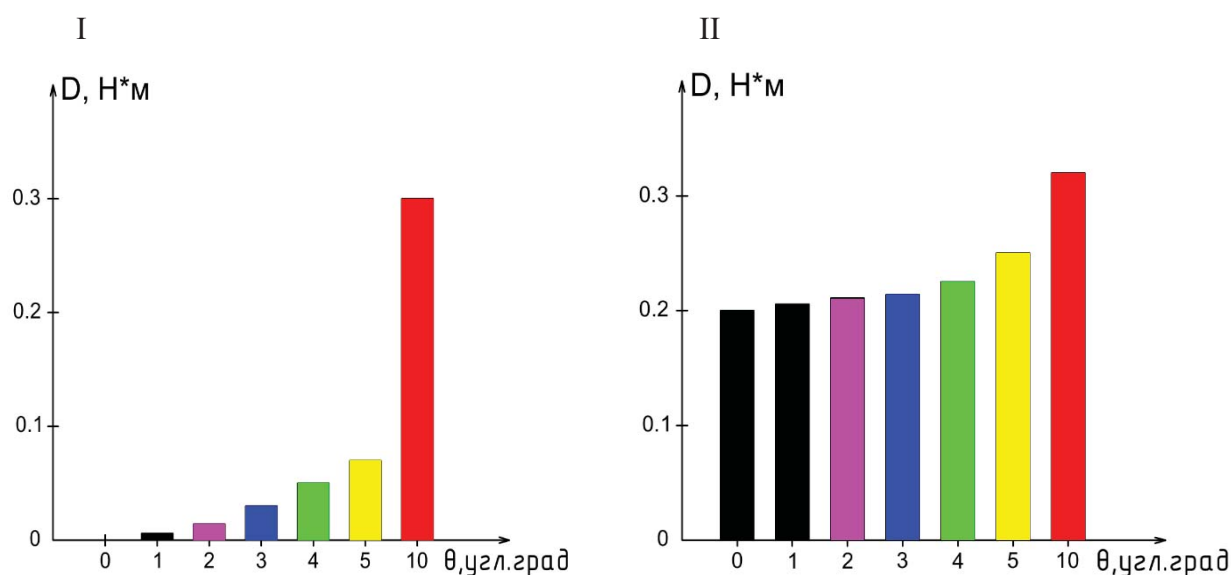


Рис. 3. Зависимость дисперсии момента от угла установки I – аналоговых; II – цифровых ДХ

В случае увеличения угла смещения ДХ увеличивается значение пульсаций момента. При неточности установки в 10 угловых градусов и более пульсации момента при применении в качестве ДПР аналоговых и цифровых ДХ становятся соизмеримым.

Заключение

Для уменьшения массогабаритных параметров привода в качестве ДПР для управления вентильными двигателями применяются ДХ. В реальных условиях ориентация чувствительного элемента ДХ проводится с определённой погрешностью. В связи с этим в данной статье был проведен анализ влияния угла установки аналоговых и цифровых ДХ на пульсации электромагнитного момента ЭД.

Список литературы

- [1]. Степанов А.В., Масленников С.И. Анализ пульсаций электромагнитного момента при проектировании бесконтактного двигателя постоянного тока дискового типа // Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015. №10. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/820340.html> (дата обращения 01.02.2017).
- [2]. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. СПб.: КОРОНА-Век. 2008. 368 с.
- [3]. Овчинников И.Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность). СПб.: КОРОНА-Век. 2007. 336 с.
- [4]. Микеров А.Г. Электромеханические датчики и электронные компоненты управляемых вентильных двигателей. СПб.: СПБГЭТУ (ЛЭТИ). 1999. 60 с.
- [5]. Сурминский А.С. Обзор методов обработки синусно-косинусного вращающегося трансформатора // Молодежный научно-технический вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. №3. Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/837545.html> (дата обращения 15.02.2017).
- [6]. Соловьев В.А. Дифференцирующие трансформаторы в тахометрических устройствах вентильных электроприводов // Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. №9. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/617210.html> (дата обращения 02.03.2017).
- [7]. Чавычалов М.В. Комплексный алгоритм бездатчикового управления вентильно-индукторным двигателем // Наука и образование МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. №12. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/496400.html> (дата обращения 07.03.2017).
- [8]. Jezny J., Curilla M. Position Measurement with Hall Effect Sensors // American Journal of Mechanical Engineering, 2013.
- [9]. Homburg D., Reiff E.C. Bursteonlose Gleistromtachos sind auf dem Vormarsch // Electrotechnik (Shweiz). 1988. No. 9. P. 22-23.

- [10]. Блейз Е.С., Бродовский Б.К., Введенский В.А., Домрачев В.М., Зимин А.В., Иванов Е.С., Казмиренко В.Ф., Мерзляков Ю.В., Петров Ю.А., Петухов В.П., Семенов Ю.Н., Сигачев И.П., Сеницын А.П., Соколов Л.М., Тарасов Г.П., Чемоданов Б.К. Следящие приводы. В 3-х т. Т. 2. Электрические следящие приводы. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. Б.К. Чемоданова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. 880 с.