

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

К.П.Акинин, канд.техн.наук,
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

В статье рассмотрены варианты построения электроприводов малой мощности на основе бесконтактных двигателей с постоянными магнитами. Представлены параметры бесконтактных двигателей. Описаны функциональные схемы электроприводов на основе бесконтактных двигателей с постоянными магнитами. Библ. 6, табл. 1, рис. 2.

Ключевые слова: электропривод, бесконтактный двигатель с постоянными магнитами.

Введение. Научно-технический прогресс стимулировал создание класса электромеханических устройств, неотъемлемой частью которых являются электроприводы (ЭП) малой мощности – до одного киловатта. Устройства рассматриваемого класса представлены приборами различного назначения: медицинским оборудованием, ручными электроинструментами, бортовыми механизмами транспортных средств.

Начальные этапы истории массового внедрения ЭП малой мощности были связаны с использованием коллекторных двигателей постоянного тока (КДПТ) [4]. Успехи развития электроники и появление высокоэнергетических и относительно доступных по стоимости постоянных магнитов в последние десятилетия определили условия для создания эффективных двигателей с бесконтактной конструкцией ротора [2,3,6]. Реализация управления бесконтактным двигателем с постоянными магнитами (ПМБД) посредством электронного коммутатора, построенного на базе транзисторного инвертора напряжения и малогабаритной системы управления, позволила получить систему ЭП, не уступающую по своим регулировочным и массогабаритным показателям системе на основе КДПТ, а по ряду параметров превосходящую последнюю. Отсутствие щеточно-коллекторного узла позволило: увеличить максимальную частоту вращения и ресурс работы двигателя, определяемые качеством подшипников; повысить технологичность и снизить трудоемкость изготовления двигателя; обеспечить взрывобезопасность и пониженный уровень шумов; понизить уровень электромагнитных и радиопомех; повысить тепловую нагрузку двигателя вследствие размещения его обмоток на статоре; обеспечить надежный запуск двигателя после длительного хранения, что позволяет избежать проведения периодических регламентных работ по его обслуживанию.

Перечисленные преимущества определили успех внедрения ЭП малой мощности на основе ПМБД в традиционных практических приложениях, а также возможности реализации новых систем, с недостижимыми ранее свойствами.

В данной статье рассматриваются варианты построения электроприводов малой мощности на основе бесконтактных двигателей с постоянными магнитами.

Основное изложение. Важной особенностью разработки и эксплуатации ЭП малой мощности для рассматриваемой области их использования является разнообразие практических приложений и условий функционирования ЭП, многовариантность технических решений и принципов их действия [2]. Это обстоятельство определило необходимость создания ряда специализированных ЭП на основе ПМБД в заданных габаритах, позволяющих обеспечить требуемые параметры и высокую надежность при минимальной стоимости.

Анализ условий функционирования исполнительных двигателей позволил сформировать ряд типовых технических решений структур ЭП на основе ПМБД, каждая из которых определяется некоторыми параметрами и особенностями функционирования. Наиболее важными параметрами и характеристиками, определяющими такие структуры, являются значения максимальной ω_{\max} и минимальной ω_{\min} частот вращения, а также требования к динамике отработки задания и характер динамики возмущений.

Величина ω_{\max} , ограничиваемая качеством подшипников и ростом потерь в железе, может достигать нескольких десятков тысяч оборотов в минуту.

Ключевым параметром является ω_{\min} , поскольку глубина регулирования частоты вращения зависит от качества сигналов частоты вращения и положения ротора, формируемых на основании первичных сигналов датчиков. Величина ω_{\min} для определенной структуры ЭП не может быть четко определена, поскольку зависит от характера динамики работы двигателя. В бездатчиковых системах величина $\omega_{\min 1}$ в зависимости от характера динамики может варьироваться в пределах от нескольких сотен до тысячи оборотов в минуту. В системах ЭП с датчиками механических координат – частоты вращения и положения ротора – величина $\omega_{\min 2}$ может составлять единицы или десятки оборотов в минуту, что удовлетворяет требованиям известных практических приложений.

Таким образом, структура ЭП определяется прежде всего используемой системой датчиков. На рис. 1 и 2 приведены функциональные схемы двух основных типов ЭП, где ИП – источник питания; ИН – инвертор напряжения; ИД – исполнительный двигатель; ИМ – исполнительный механизм; БЗ – блок задания; Р – регулятор; СО – система обработки сигналов; СД – система датчиков. Функциональные узлы – Р и СО, а также БЗ (если сигнал задания формируются автономно) – реализуются на базе микроконтроллера.

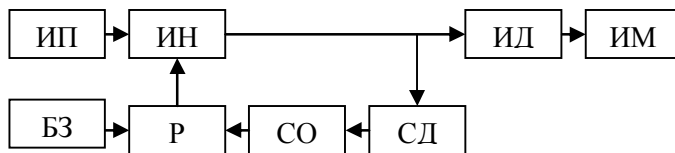


Рис. 1

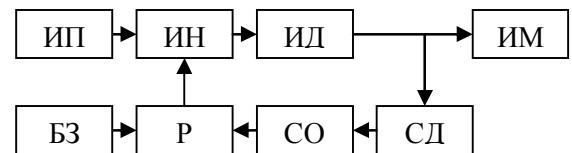


Рис. 2

Для практической реализации ЭП малой мощности на основе ПМБД были использованы устройства, которые позволили реализовать максимально простые схмотехнические решения при достижении минимальных стоимости и габаритных размеров. При этом реализовывались принципы минимизации аппаратных средств и реализации алгоритмов обработки сигналов и формирования управляющих воздействий на основе микроконтроллера. Упрощение схемы осуществлялось за счет отказа от датчиков токов статора и построения датчика механических координат на основе измерителей магнитного поля [1].

ЭП малой мощности являются, как правило, низковольтными устройствами с величиной напряжения источника питания постоянного тока от 5 до 50 вольт. На базе повышающего преобразователя напряжения была реализована система ЭП с минимальным уровнем постоянного напряжения питания от 2 В. Разработаны также системы ЭП с уровнем постоянного напряжения питания 300 вольт. Величина напряжения питания определяет структуру источника питания, инвертора напряжения и схемы драйверов для управления затворами транзисторов инвертора напряжения.

На схеме рис. 1 представлена бездатчиковая система ЭП, в которой сигналы, соответствующие частоте вращения и положению ротора, определяются на основании измерения только электрических переменных в цепи статора двигателя [2]. Достоинство бездатчиковой системы – возможность управления трехфазным двигателем по трем проводникам и упрощение конструкции двигателя из-за отказа от датчиков механических координат. Использование бездатчиковой системы позволяет обеспечить регулирование и (или) стабилизацию частоты вращения в указанном выше диапазоне от $\omega_{\min 1}$ до ω_{\max} при нагрузке на валу двигателя не менее номинальной, но относительно мягких требованиях к динамике пуска двигателя. В зависимости от требований к режиму работы исполнительного механизма бездатчиковая система ЭП может обеспечить пуск двигателя как на холостом ходу, так и под нагрузкой при величине момента сопротивления до 2–3 единиц от номинального значения.

На схеме рис. 2 представлена система ЭП с датчиками механических координат. Известно, что датчики механических координат могут реализовываться на различных физических принципах: электромеханическом, фотоэлектрическом, магнитном. Не самыми точными, однако, наиболее простыми, дешевыми и надежными при практической реализации и эксплуатации являются системы дат-

чиков магнитного поля, на выходе которых формируются сигналы в виде периодических функций угла поворота ротора. Для трехфазных ПМБД можно определить несколько вариантов исполнения системы датчиков магнитного поля, например:

1. На выходе датчиков формируются три меандра, сдвинутых один относительно другого на 120 электрических градусов. При этом достигается регулирование и стабилизация частоты вращения в известном диапазоне от $\omega_{\min 1}$ до ω_{\max} . В отличие от бездатчиковой системы в этом случае реализуется более быстрая динамика пуска и работы двигателя.

2. На выходе системы датчиков формируются три меандра, сдвинутых один относительно другого на 120 электрических градусов, для определения положения ротора и два меандра со сдвигом 90 электрических градусов с частотой, на порядок и более превышающей частоту первой гармоники, для формирования сигнала обратной связи по частоте вращения. При этом регулирование и стабилизация частоты вращения возможна в диапазоне от $\omega_{\min 2}$ до ω_{\max} . Другие варианты формирования периодических функций угла поворота ротора описаны в [1].

В таблице приведены технические характеристики используемых в рассматриваемых ЭП некоторых ПМБД, разработанных и изготовленных в Открытом акционерном обществе «Научно-исследовательский институт электромеханических приборов» (ОАО «НИИ ЭМП») [5] при непосредственном участии заместителя директора по научной работе – начальника отделения, главного конструктора направления «Системы управляемого электропривода» Баранникова А.В. Здесь ТХ – технические характеристики; P_N – номинальная мощность двигателя; ω_N – номинальная частота вращения; U_N – номинальная величина напряжения питания схемы ЭП; T_M – электромеханическая постоянная времени; L – длина корпуса двигателя без вылета вала, в скобках указана длина двигателя со встроенным блоком управления; D – диаметр корпуса; А – аналоги КДПТ по установочным размерам; ФО – фланцевое исполнение аналога КДПТ отсутствует.

ТХ	Условное обозначение				
	БДПТ-14	БДПТ-12	БДПТ-13	БДПТ-19	МБУПС-Х
P_N , Вт	18,0	18,0	60,0	18,0	50,0
ω_N , об/мин	9000	4500	6000	450	200
U_N , В	27,0	27,0	27,0	40,0	24,0
T_M , с	0,004	0,006	0,006	0,006	0,006
L , мм	50 (75)	80 (100)	80 (100)	80 (110)	140 (170)
D , мм	25	40	50	90	140
А	ДРП42-Ф1	ДРП72-Н1	ФО	ФО	ДРВ475.03.00

Конструктивно рассматриваемые ПМБД выполнены с беспазовым статором и цилиндрическим ротором с неявнополюсным постоянным магнитом из высокоэнергетического материала. Такая конструкция наиболее целесообразна при выпуске малых партий, так как при этом не требуются значительные затраты при технологической подготовке производства, и пригодна для двигателей с частотами вращения от 5000 до 40000 оборотов в минуту. Кроме того, в отличие от зубцовых конструкций двигателей, в этом случае обеспечивается более плавный ход при малых значениях частоты вращения и отсутствует тормозной реактивный момент.

На основе описанных ПМБД были разработаны несколько вариантов структур ЭП малой мощности, каждая из которых определяется диапазоном изменения частоты вращения и характером динамики отработки задания и возмущений. Данные ЭП малой мощности функционируют в общем диапазоне основных параметров: частота вращения от единиц до десятков тысяч оборотов в минуту; напряжение питания постоянного тока от 2 до 300 В. Осуществление принципов минимизации аппаратных средств ЭП и реализации алгоритмов обработки сигналов и управления на основе микроконтроллера позволило разработать структуры ЭП, рациональные с позиций минимального набора схемотехнических средств и эффективные в плане формирования токов статора и управления движением механизма для известных практических приложений.

Выводы. Разработанные ЭП малой мощности удовлетворяют требованиям потребителей общетехнических и специальных приложений и могут быть использованы как в новых разработках, так и в традиционных, в частности, вместо ЭП на основе двигателей серии ДПР.

1. Акинин К.П. Ограничения вектора измеряемых координат в электромеханических системах на основе бесконтактных двигателей с постоянными магнитами // Техн. электродинамика. – 2011. – №4. – С. 38–45.
2. Акинин К.П. Особенности и принципы построения электроприводов на базе бесконтактных магнито-электрических двигателей // Техн. электродинамика. – 2009. – №2. – С. 47–52.
3. Бут Д.А., Алиевский Б.Л., Старовойтова Н.П. Кафедра «Электроэнергетические и электромеханические системы» Московского авиационного института // Электричество. – 2002. – №5. – С. 2–10.
4. Лазарев Г.В., Лановой Г.В., Санченко А.В., Клименко В.Н., Реуцкий Н.А., Федосеева В.Ф., Чиженко П.В., Цыганова Т.П., Мошин Н.В. Электрические машины постоянного тока для электропривода специального назначения // Электротехника і Електромеханіка. – 2002. – №1. – С. 40–42.
5. Провозин А. НИИ электромеханических приборов – 50 лет // Радио хобби. – 2009. – №5. – С. 2–5.
6. J.F.Gieras, I.A.Gieras. Electric motors and drive – perspectives. – 4nd international conference on Unconventional Electromechanical and Electrotechnical Systems. – June 15–17, 1999, St. Petersburg, Russia. – Vol.1. – P. 47–58.

УДК 621.313.17

Электроприводы малой мощности на основе бесконтактных двигателей с постоянными магнитами

К.П.Акинин, канд.техн.наук
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна.

У статті розглянуто варіанти побудови електроприводів малої потужності на основі безконтактних двигунів з постійними магнітами. Представлено параметри безконтактних двигунів. Описано функціональні схеми електроприводів на основі безконтактних двигунів з постійними магнітами. Бібл. 6, табл. 1, рис. 2.

Ключові слова: електропривод, безконтактний двигун з постійними магнітами.

Low power electric drives on the basis of permanent magnet brushless motors

K.P.Akinin
Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

The paper is concerned with the developments of low power electric drives on the basis of permanent magnet brushless motors. Parameters of brushless motors are given. Functional schemes of the electric drives on the basis of permanent magnet brushless motors are described. References 6, table 1, figures 2.

Key words: electric drive, permanent magnet brushless motor.

1. Akinin K.P. Limitations of vector of measured coordinates in the electromechanical systems on the basis of permanent magnet brushless motors // Tekhnichna elektrodynamika. – 2011. – №4. – P. 38–45. (Rus)
2. Akinin K.P. Features and principles of designing of electric drives on the basis of permanent magnet brushless motors // Tekhnichna elektrodynamika. – 2009. – №2. – P. 47–52. (Rus)
3. But D.A., Alievskii B.L., Starovoitova N.P. Department «Electric power and electromechanical systems» of Moscow aircraft institute // Elektrichestvo. – 2002. – №5. – P. 2–10. (Rus)
4. Lazarev G.V., Lanovoi G.V., Sanchenko A.V., Klimenko V.N., Reutskii N.A., Fedoseeva V.F., Chizhenko P.V., Tsyganova T.P., Moshnin N.V. Direct current electric motors for electric drive of special purpose // Elektrotekhnik i Elektromekhanika. – 2002. – №1. – P. 40–42. (Rus)
5. Provozin A. SRI of electromechanical devices is 50 years // Radio khobbi. – 2009. – №5. – P. 2–5. (Rus)
6. J.F.Gieras, I.A.Gieras. Electric motors and drive – perspectives. – 4nd international conference on Unconventional Electromechanical and Electrotechnical Systems. – June 15–17, 1999, St. Petersburg, Russia. – Vol.1. – P. 47–58.

Надійшла 28.04.2011
Received 28.04.2011