

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ПРИМЕНЯЕМОГО В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ РАСКРЫТИЯ И СДЕРЖИВАНИЯ ШТАНГ КРУПНОГАБАРИТНЫХ АНТЕНН И СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

В статье рассматриваются особенности автоматизированной системы управления электродвигателя, применяемого в электромеханических устройствах раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн, предназначенных для работы в агрессивных условиях окружающей среды, в том числе в условиях вакуума. Применение электропривода в таких устройствах накладывает ряд ограничений на систему управления, конструкцию и принцип действия электропривода для обеспечения необходимой надежности и полноценного выполнения задачи устройством.

Ключевые слова: электродвигатель, автоматическая система управления, ограничение максимального момента, электромеханические устройства, резервирование.

Современный электропривод представляет собой сложное сочетание электродвигателя, силового преобразователя тока и системы управления, предназначенное для работы в разных условиях [1–2]. Одной из областей применений электропривода является использование в электромеханических устройствах раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей. Эти устройства могут раскрыть солнечную батарею или крупногабаритную антенну, стабилизируя скорость раскрытия и компенсируя влияния инерционных колебаний, работа в агрессивных условиях эксплуатации [3]. Известны устройства раскрытия с аналогичными функциями, основанные на электродвигателе коллекторного типа, в котором есть непосредственно трущиеся поверхности щеток и коллектора [4–9]. Электродвигатели такого типа имеют ограниченный ресурс, отсутствует возможность интеллектуального реагирования на изменение момента сопротивления и скорости вращения приводного вала механизма. Современные устройства раскрытия должны иметь двигатели бесколлекторного типа, обеспечивающие большой ресурс работы в агрессивных условиях окружающей среды, что позволит решать более сложные задачи [9–13]. Для достижения хороших габаритно-массовых показателей устройства, а также для минимизации затрат энергии при условии обеспечения заданных характеристик электропривод, применяемый в устройствах раскрытия, должен иметь автома-

тическую систему управления, стабилизирующую скорость вращения выходного вала и ограничивающую максимальный момент, развиваемый двигателем [14–15]. Кроме того, применение электропривода в устройствах раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей часто предполагает невозможность ремонта или замены привода, из чего вытекают повышенные требования к надёжности.

Таким образом, важными элементами автоматической системы управления электроприводом, применяемыми в электромеханических устройствах раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей, являются: регулятор скорости вращения выходного вала, система ограничения максимального момента, система мониторинга работоспособности, система переключения каналов управления с отключением неисправного канала от статора двигателя и другие системы, обеспечивающие стабильную работу устройства во всех условиях эксплуатации.

Рассмотрим подробнее основные особенности автоматизированной системы управления электропривода, разрабатываемого для применения в электромеханических устройствах раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей.

Электромеханические устройства раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей следует приводить в движе-

ние бесколлекторным электродвигателем, который позволяет обеспечить большее время работы в сравнении с двигателем коллекторного типа, которые, как правило, быстро выходят из строя. Двигатель бесколлекторного типа обеспечивает ресурс, ограниченный временем жизни применяемых в двигателе подшипников, что значительно больше, чем ресурс устройства в целом. Система управления бесколлекторным двигателем должна быть выполнена на платформе микроконтроллера, так как аналоговые системы управления сложны в разработке, имеют большую массу и меньшую надежность. Можно использовать микроконтроллер, содержащий встроенную флэш-память, а также для увеличения срока службы возможно применение микроконтроллера, оснащенного ПЗУ масочного типа, что обеспечит повышенные параметры стойкости в условиях агрессивной окружающей среды.

Для обеспечения минимальных затрат энергии в совокупности с обеспечением заданных параметров во всех режимах работы электропривод должен иметь автоматическую систему управления, поддерживающую заданную скорость и ограничивающую максимальный момент, развиваемый двигателем. Ограничение максимального развиваемого электродвигателем момента достигается программными методами посредством управления величиной силы тока в обмотках двигателя. Для поддержания максимально развиваемого момента в заданных пределах необходимо учитывать внешние факторы: температуру окружающей среды, напряжение питания, скорость вращения двигателя, направления прикладываемого момента. Если рассматривать моментную характеристику при постоянных значениях температуры окружающей среды и скважности импульсов управления двигателем, то зависимость развиваемого момента от напряжения питания привода будет выглядеть так, как показано на рис. 1. При условии постоянства напряжения питания и скважности импульсов управления двигателем зависимость момента от температуры будет выглядеть, как показано на рис. 2. При этом введение контура управления с обратной связью по току в обмотках двигателя не приводит к достаточному улучшению стабильности максимального развиваемого момента. Так как в автоматической системе управления, учитывающей влияние температуры окружающей среды и напряжения питания, обеспечивается стабильность максимального развиваемого момента в более узких пределах, то появляется возможность уменьшения запаса прочности в исполнительной конструкции, массы устройства, а также затрат на изготовление всего изделия в целом.

Вал электропривода в устройствах раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей подвергается воздействию как положительного, так и отрицательного момента. При воздействии момента, направленного в сторону вращения вала, возникает скачок момента сопротивления привода. Это вызвано тем, что для изменения знака момента, развиваемого двигателем, меняется алгоритм включения обмоток двигателя. Для обеспечения линейной характеристики управления во время изменения знака развиваемого момента применяется так называемый алгоритм сглаживания. Суть этого алгоритма в том, что вместо изменения полярности подачи напряжения на обмотки двигателя они замыкаются между собой через плавное уменьшающееся сопротивление. Это

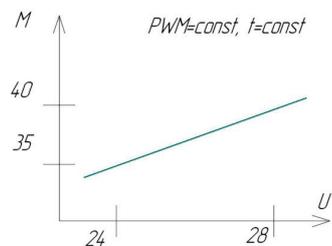


Рис. 1. Зависимость момента от напряжения питания при условии постоянства температуры окружающей среды и скважности импульсов управления двигателем

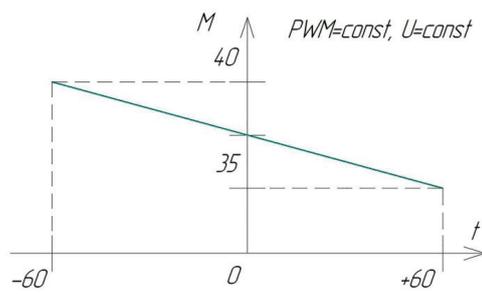


Рис. 2. Зависимость момента от температуры при условии постоянства напряжения питания и скважности заполнения импульсов управления двигателем

обеспечивает работу привода в режиме пассивного демпфирования. После полного замыкания обмоток для дальнейшего увеличения момента сопротивление включает реверсивный алгоритм включения обмоток двигателя.

Так как устройства раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей могут применяться в условиях агрессивной окружающей среды, в том числе в таких условиях, где нет возможности пребывания человека, требуется повышенная надежность устройств. С этой целью блок электроники должен иметь два канала управления двигателем. В соответствии с идеологией устройства, в котором применяется электропривод, он должен иметь автоматическую систему резервирования, независимую от потребителя. Система управления основного канала должна анализировать работоспособность аппаратной части и при выявлении неисправности передать управление резервному каналу. Для выявления неисправности привода контролируется работоспособность датчиков положения ротора и силовых транзисторов. Проверяются значения тока в цепи транзисторов на соответствие заданному режиму работы устройства и последовательность срабатывания датчиков положения ротора. Алгоритм переключения между каналами построен таким образом, что при выходе из строя предохранителя или возникновении неисправности вторичного источника питания, то есть когда обесточенный контроллер основного канала не способен себя диагностировать, резервный канал автоматически переключает работу на себя.

В качестве второй ступени резервирования системы управления можно использовать генераторный режим работы двигателя. Такой режим применяется для обеспечения сдерживания скорости вращения выходного вала в обесточенном режиме

и основан на принципе регенерирования энергии вращения привода в тепловую. В случае отказа обоих каналов управления или неисправности цепи питания привода при вращении выходного вала в обмотках генерируется энергия, которая рассеивается на резисторе, обеспечивая сдерживание скорости вращения выходного вала. Для обеспечения стабильности работы устройства при подаче напряжения питания, недостаточного для нормального функционирования привода, применяется схема отключения питания. При этом сохраняются характеристики привода, соответствующие работе в обеспеченном режиме.

Таким образом, разработка электропривода для устройств раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей на платформе микроконтроллера с учетом рассмотренных в статье особенностей автоматизированной системы управления обеспечивает заданные характеристики устройства и высокую надёжность во всём диапазоне рабочих температур и напряжения питания. Также автоматизированная система управления на основе микроконтроллера имеет возможность реализации ряда особенностей, таких как гибкость настройки; быстродействие; отсутствие тепловых отклонений; облегчённая электрическая схема; точность поддержания характеристик, достигаемая алгоритмами управления; наличие системы ограничения максимального момента; наличие системы диагностики неисправностей и переключения каналов управления.

Совокупность всех рассмотренных элементов автоматической системы управления даёт возможность получить экономичный, высокотехнологичный и соответствующий поставленной задаче электропривод, имеющий достаточный ресурс, надёжность и способный работать в сложных условиях эксплуатации. Привод может быть реализован для задач, требующих как поддержания скорости вращения выходного вала, так и ограничения максимального развиваемого момента во всех условиях эксплуатации.

Библиографический список

1. Поляков В. Н. Состояние теории и практики оптимального управления стационарными режимами электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями // Тр. III Междунар. (XIV Всерос.) науч.-техн. конф. по автоматизированному электроприводу, Нижний Новгород, 12–14 сентября 2001 г. Н. Новгород: Вектор-ТиС, 2001. С. 68–69.
2. Boldea I. Electric Generators and Motors: an overview // CES Transactions on Electrical Machines and Systems. 2017. Vol. 1 (1). P. 3–14. DOI: 10.23919/TEMS.2017.7911104.
3. Мачулин П. С. Электромеханические устройства раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей // Молодой ученый. 2017. № 1. С. 63–64.

4. Рентюк В. Управление двигателем постоянного тока // Компоненты и технологии. 2014. № 10. С. 110–114.
5. Сулейманов Р. Я., Пуговкин Е. В. Динамика управления тяговым приводом постоянного тока с электронно-импульсным регулированием в режиме стабилизации скорости // Вестник УрГУПС. 2010. № 1. С. 40–48.
6. Сулейманов Р. Я., Дурандин М. Г., Гимаев С. Р. Повышение коммутационной устойчивости тяговых электродвигателей постоянного тока // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2012. № 4 (16). С. 39–45.
7. Кузьмина Т. О., Сигарёв В. Л. Система управления двигателем постоянного тока // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах. 2015. № 1. С. 328–332.
8. Коротков В. М. Исследование трения, изнашивания и электропроводности в электрическом скользящем контакте коллекторно-щеточного узла // Трение и смазка машин и механизмов. 2008. № 11. С. 33–35.
9. Алексеев К. Б., Палагута К. А. Микроконтроллерное управление электроприводом. М.: МГИУ, 2008. 302 с.
10. Цаценкин В. К. Безредукторный автоматизированный электропривод с вентильными двигателями. М.: Изд-во МЭИ, 1991. 240 с. ISBN 5-7046-0022-0.
11. Соловьев В. А. Вентильный электродвигатель с обратной связью по токам фазных обмоток // Электричество. 1995. № 1. С. 56–61.
12. Kun X., Lu J., Bi C. [et al.]. Dynamic commutation torque-ripple reduction for brushless DC motor based on quasi-Z-source net // IET Electric Power Applications. 2016. Vol. 10 (9). P. 819–826. DOI: 10.1049/iet-epa.2016.0219.
13. Овчинников И. Е. Вентильные электрические двигатели и привод на их основе (малая и средняя мощность). СПб.: КОРОНА-Век, 2007. 336 с. ISBN 5-7931-0344-9.
14. Гостев В. И. Системы управления с цифровыми регуляторами: справ. Киев: Тэхника, 1990. 280 с.
15. Москаленко В. В. Современные системы автоматизированного электропривода. М.: Высшая школа, 2010. 208 с.

МАЧУЛИН Павел Сергеевич, аспирант кафедры «Автоматизация и робототехника».

ПОПОВ Павел Владимирович, магистр по направлению «Конструирование и технология электронных средств».

Адрес для переписки: vvpavlin@mail.ru

Для цитирования

Мачулин П. С., Попов П. В. Особенности системы управления электропривода, применяемого в электромеханических устройствах раскрытия и сдерживания штанг крупногабаритных антенн и солнечных батарей // Омский научный вестник. 2018. № 6 (162). С. 253–255. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-162-253-255.

Статья поступила в редакцию 01.11.2018 г.

© П. С. Мачулин, П. В. Попов