

измерений является векторный рефлектометр, который содержит измерительные входы и выходы высокой частоты, а также цифровые входы и выходы, управление которыми производится командами от внешних устройств по интерфейсу Ethernet.

К векторному рефлектометру через Ethernet-разъем подключается Ethernet-коммутатор, используемый для объединения линий от Ethernet-разъема микрокомпьютера и адаптера Ethernet-PCie. Данный компонент модуля дает возможность одновременно подключать к модулю два внешних управляющих устройства - в случае устройства контроля к модулю могут быть подключены входящий в состав устройства микрокомпьютер и внешняя ПЭВМ.

Ethernet-коммутатор соединяется с PCie-разъемом посредством микросхемы адаптера, позволяющей осуществлять соответствующее преобразование сигналов. Через разъем PCie модуль может подключаться к внешним ПЭВМ и использоваться в качестве платы расширения, предоставляющей доступ к измерительным функциям векторного рефлектометра. Коммутатор, подключаемый к высокочастотным разъемам векторного рефлектометра, осуществляет переключения, необходимые для проведения калибровки и измерений. Управление коммутатором производится с помощью сигналов, получаемых от цифровых выходов векторного рефлектометра.

В составе устройства контроля к модулю измерения подключается управляющий микрокомпьютер, позволяющий управлять процессом измерения и выводить полученную информацию на сенсорный экран. Также к микрокомпьютеру могут быть опционально подключены прочие устройства ввода и вывода (монитор, клавиатура и мышь).

Список использованных источников

1. Методика № ТЕ/0405-163173180/2020. Методика монтажа электронных маркеров на трассах кабельных линий связи - М., 2020. 15с.
2. American public works association (APWA) - Uniform Color Code for marking underground utilities [Электронный ресурс]. URL: https://www.apwa.org/wp-content/uploads/APWA-Guide_UniformTempMarkingsNEW-V1-02-25-22.pdf. (дата обращения: 25.10.2025)

Жукова Юлия Сергеевна, студ. гр. 3231-110403D, инж. ООО «КВАДРО КОД», yulia@4code.ru

УДК 621.313.13

РАЗРАБОТКА КОНТРОЛЛЕРА СЕРВОПРИВОДА НА БАЗЕ БЕСЩЕТОЧНОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.А. Габбасова, Д.А. Шестаков

«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королева», г. Самара

Ключевые слова: бесщеточный двигатель, сервопривод, контроллер

сервопривода, векторное управление, FOC, PID-регулирование.

Современные автоматизированные системы предъявляют повышенные требования к точности, быстродействию и энергоэффективности электроприводов. В этих условиях бесщеточные двигатели находят все более широкое применение благодаря высокому ресурсу, хорошим массогабаритным показателям и отсутствию щеточно-коллекторного узла, однако реализация их преимуществ требует специализированного контроллера с развитой аппаратной и алгоритмической частью.

Целью работы является разработка контроллера сервопривода на базе бесщеточного двигателя, обеспечивающего управление моментом, скоростью и положением ротора в замкнутом контуре. Для достижения поставленной цели решаются задачи выбора структуры силовой части, измерительной подсистемы, средств обратной связи и цифровых алгоритмов управления, пригодных для реализации на микроконтроллерной платформе.

В качестве объекта управления рассматривается трехфазный бесщеточный двигатель, подключенный к трехфазному инвертору напряжения, выполненному на MOSFET-транзисторах. Силовая часть контроллера включает мостовую схему из трех полумостов, драйвер силовых ключей, цепи питания, датчики тока и напряжения, а также защитные узлы, предотвращающие повреждение при перегрузках, коротком замыкании и недопустимом снижении напряжения питания. Такая структура обеспечивает формирование фазных напряжений методом широтно-импульсной модуляции и пригодна для сервоприводных применений.

Ключевым элементом разработки является применение алгоритма векторного управления FOC. В отличие от упрощенной трапецеидальной коммутации, данный метод основан на преобразовании измеренных фазных токов в ортогональную систему координат, связанную с положением ротора, что позволяет независимо регулировать составляющие тока, отвечающие за поток и момент. Использование FOC обеспечивает более плавное вращение, снижение пульсаций электромагнитного момента, повышение точности управления и улучшение качества переходных процессов, что особенно важно для сервоприводов.

Для определения углового положения ротора в системе применяется инкрементальный энкодер. Наличие энкодерной обратной связи позволяет с высокой точностью вычислять электрический угол, необходимый для преобразования Парка, а также формировать сигналы положения и скорости для внешних контуров регулирования. По сравнению с системами, использующими только датчики Холла, энкодер обеспечивает более высокое разрешение и лучшую работу в режиме малых скоростей и точного позиционирования.

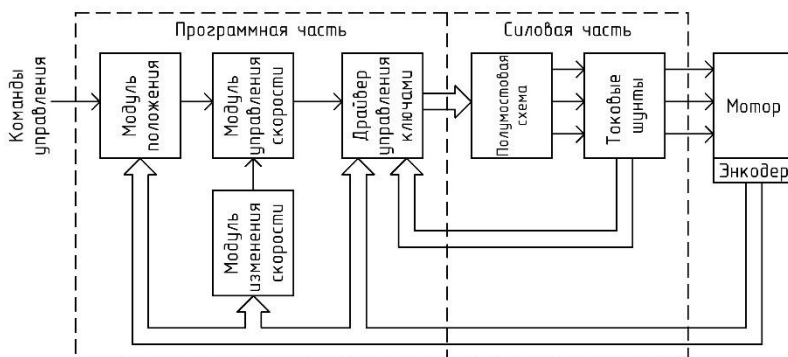


Рисунок 1 – Структурная схема

Программная структура контроллера строится по каскадному принципу. Внутренний контур тока реализует регулирование составляющих i_d и i_q , средний контур скорости формирует задание по моменту, а внешний контур положения обеспечивает обработку требуемого угла поворота. В каждом из контуров используются PID-регуляторы, поскольку такой подход позволяет обеспечить требуемую точность, приемлемую динамику и устойчивость системы при изменении нагрузки. Дополнительно программное обеспечение включает процедуры пуска, торможения, ограничения тока, контроля ошибок энкодера и тепловой защиты силовых компонентов.

Схемотехническая реализация измерительной подсистемы оказывает существенное влияние на качество управления. Для корректной работы FOC требуется точное измерение токов фаз, которое может выполняться с помощью шунтов в силовой цепи и последующей обработки сигналов аналого-цифровыми преобразователями. При проектировании печатной платы необходимо учитывать влияние коммутационных помех, отдельную организацию силовой и сигнальной земли, минимизацию паразитных индуктивностей и синхронизацию измерений с циклами ШИМ. Это позволяет повысить достоверность измерений и устойчивость замкнутой системы управления.

Практическая значимость работы состоит в создании универсального контроллера, который может использоваться в приводах координатных осей, робототехнических узлах и учебно-исследовательских стендах. За счет сочетания FOC, энкодерной обратной связи, каскадных PID-регуляторов и корректно спроектированной силовой электроники обеспечиваются высокая плавность хода, точность позиционирования и стабильная работа в широком диапазоне скоростей.

Список использованных источников

1. Bist V. Field oriented control (foc) made easy for brushless dc (blcdc) motors using ti smart gate drivers //Application Brief. – 2021.
2. Woodbury J. R. The design of brushless dc motor systems //IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation. – 2007. – №. 2. – С. 52-60.
3. Ржепко В. В., Бояринов Е., Чуба А. Ю. Сервоприводы. Основные виды, устройство и их назначение //Инновационные технологии в лесохозяйственной, деревообрабатывающей промышленности и прикладной механике. – 2022. – С. 117-121.

Габбасова Айгуль Амировна, студ. гр. 6111-110501D, Gabbasovaajgul968@gmail.com.
Шестаков Дмитрий Александрович, аспирант, гр. А4_01.03.02, shestakov.da@ssau.ru.

УДК 621.3.084; 621.3.014.4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ФАЗЫ ПИТАНИЯ ЕДИНИЧНОГО ЭЛЕМЕНТА АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ НА ДИАГРАММУ НАПРАВЛЕННОСТИ

П.А. Козлов

«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, правая круговая поляризация, СВЧ-моделирование, диаграмма направленности.

Современные системы связи требуют высокого усиления, электронного сканирования и различных типов поляризации. Фазированные антенные решетки (ФАР) на микрополосковых излучателях востребованы благодаря малой массе, размерам и возможности включения активных составляющих. Особый интерес представляют решетки с круговой поляризацией, обеспечивающие устойчивость связи при взаимной ориентации передающей и приемной антенн, а также снижающие влияние многолучевого замирания [1].

Целью работы стало исследование влияния фазового распределения в ФАР с излучателями правой круговой поляризации, состоящей из 16 элементов, 4x4. Излучатели были разделены на 4 группы с одинаковым углом поворота вокруг оси Z. Распределение по группам: группа 1 (элементы 1-4): 0°; группа 2 (элементы 5-8): 90°; группа 3 (элементы 9-12): 180°; группа 4 (элементы 13-16): 270°. Основными показателями являлись коэффициент усиления, диаграмма направленности и уровень кросс-поляризации. Структура исследуемой ФАР приведена на рисунке 1.

Исследования проводились при помощи программы СВЧ-моделирования для частоты 5800 МГц. Исследуемые фазовые распределения: 0° для всех элементов; 0° для первой группы, 90° для