УДК 621.3+62-5+004.413.2

П53

И.С. Полющенков

(г. Смоленск, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

*Аннотация. Приведены результаты разработки программного обеспечения для микропроцессорной системы управления электропривода с использованием метода модельно-ориентированного программирования.*

*Annotation. The results of the development of microprocessor software for the electric drive control system using model-oriented programming technique are presented.*

*Ключевые слова: электрический привод, модельно-ориентированное программирование, микропроцессорное управление, регулирование координат, компьютерное моделирование.*

*Keywords: electric drive, model-oriented programming technique, microprocessor control, control of coordinates, computer simulation.*

Средства компьютерного моделирования давно нашли применение при проектировании различных технических систем, в том числе, и систем управления электроприводов. Это в первую очередь относится к системе компьютерной математики *Matlab*. Его расширение *Simulink* позволяет составлять математические модели, которые эквивалентны структурным схемам технических систем, основанным на системах дифференциальных уравнений. Для составления более детальных имитационных моделей в *Matlab* имеются библиотеки с виртуальными элементами – моделями различных технических устройств. Одной из таких библиотек, используемых при моделировании электроприводов, является библиотека виртуальных электронных, электротехнических и электромеханических элементов *SimPowerSystems*. Для моделирования систем логического и ситуационного управления в *Matlab* имеется библиотека *State Flow*.

При разработке же программного обеспечения микропроцессорных систем управления обычно используются средства программирования на основе структурированного текста (*IAR*, *Keil*, *Code Composer Studio*). При их использовании фактически требуется заново воспроизвести алгоритмы управления, которые были составлены и отлажены на этапе моделирования, применив при их осуществлении аппаратные средства микроконтроллера.

В последнее время появились средства разработки программного обеспечения, которые позволяют автоматически генерировать программный код на языке *C* из компьютерной модели *Matlab* или подсистем этой модели, учитывая в ней микропроцессорную реализацию.

В докладе рассмотрена разработка микропроцессорной системы управления электропривода, при которой использованы средства модельно-ориентированного программирования. Целью этой разработки является проектирование сервопривода на базе электрических двигателей разных типов, который по характеристикам и функционалу управления соответствует современным аналогам.

При разработке сервопривода использован микроконтроллер *STM*32, а при разработке программного обеспечения для его микропроцессорного управления использован *Matlab* и библиотека его расширения для модельно-ориентированного программирования *Waijung Blockset*.

При проектировании сервопривода были решены следующие задачи управления:

1. Формирование электромагнитного момента и управление силовым преобразователем в зависимости от типа электрического двигателя. Предусмотрена работа сервопривода с бесколлекторным электрическим двигателем постоянного тока, с коллекторным электрическим двигателем или с бесколлекторным электрическим двигателем переменного тока. Все перечисленные типы электрических двигателей должны иметь независимое возбуждение от постоянных магнитов. При использовании бесколлекторного двигателя постоянного тока переключение его фаз осуществляется в зависимости от углового положения его ротора по сигналам от датчиков Холла. Для использования бесколлекторного двигателя переменного тока использовано векторное управление.

2. Автоматическое регулирование координат – электромагнитного момента, скорости вращения и угла поворота. Для этого использована система регулирования с подчинённым регулированием, в которой контур регулирования электромагнитного момента охватывается либо контуром регулирования скорости вращения, либо контуром регулирования положения в зависимости от выбранной конфигурации.

3. Формирование переходных процессов при отработке заданных движений. Для этого предусмотрено формирование *S*-образной траектории движения с заданным ускорением и ограничением скорости движения.

4. Обеспечение связи сервопривода с системой управления верхнего уровня технологического процесса (СУТП) и персональным компьютером (ПК) по цифровым интерфейсам. Для этого в сервоприводе имеется информационная подсистема, с помощью которой осуществляется обмен сообщениями с ПК по интерфейсу асинхронного последовательного приёмопередатчика *UART* (*Universal Asynchronous Receive-Transmitter*) и с СУТП по сетевой шине *CAN* (*Controller Area Network*). Также информационная подсистема осуществляет связь с микросхемой постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) по интерфейсу *I*2*C* (*Inter-Integrated Circuit*) для сохранения и восстановления настроечных параметров электропривода. Для управления сервоприводом от ПК разработано специальное терминальное приложение.

На рис.1 показана функциональная схема системы управления электропривода в конфигурации с бесколлекторным электрическим двигателем постоянного тока. Эта схема также иллюстрирует использование средств модельно-ориентированного программирования.



*Рис.1. Функциональная схема системы управления электропривода*

В этой схеме электрический двигатель ЭД питается от трёхфазного силового преобразователя СП. В фазы двигателя включены датчики тока ДТ*A*, ДТ*B* и ДТ*C*, на его валу установлен датчик положения ДП1, а через редуктор РД на валу механизма установлен датчик положения ДП2. Для управления ЭД использованы датчики Холла *H\_A*, *H\_B* и *H\_C*. Программное обеспечение реализовано с использованием различных блоков и элементов *Matlab* и пользовательских функций на языке *C*. Чтобы задать последовательности, условия и приоритеты выполнения подпрограмм, использованы подсистемы *Simulink* различных видов – *Function-Call*, *Triggered*, *Enabled*, *Atomic* и другие. Для работы с периферией микроконтроллера использованы блоки *Waijung Blockset* – программные обработчики аналоговых и цифровых входов и выходов, цифровых интерфейсов и датчиков, генераторы сигналов с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и другие.

В таблице 1 приведены ориентировочные характеристики разработанной системы управления электропривода.

*Таблица 1*

*Характеристики системы управления электропривода*

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Мощность, Вт | 200 |
| Напряжение, В | 20 – 50 |
| Частота выборки токов/скорости/положения, кГц | 40/10/10 |
| Частота дискретизации регуляторов тока/скорости/положения, кГц | 10/3.0/3.0 |
| Скорость обмена по *CAN*, Мбит/с | 1.0 |
| Скорость обмена по *RS*232, бит/с | 115200 |
| Интенсивность обмена по *CAN* и *RS*232, сообщений в секунду | 150 |
| Максимальная скорость бесколлекторного двигателя постоянного тока (для двухполюсного двигателя), об/мин  | 60000 |
| Максимальная скорость бесколлекторного двигателя переменного тока (для двухполюсного двигателя), об/мин | 15000 |
| Диапазон регулирования скорости | 1:8000 |

Опытный образец сервопривода изготовлен на ООО НПО «Рубикон – Инновация» (г. Смоленск), где планируется его применение в антенной установке и других системах управления движением.

В качестве выводов можно отметить, что в результате работы над сервоприводом решены задачи управления, что позволит использовать его для привода различных механизмов с перспективой замены иностранных аналогов. Исследование сервопривода и его характеристики позволяют сделать вывод о полноценности программного обеспечения, разработанного с использованием средств модельно-ориентированного программирования. Кроме этого метод и средства модельно-ориентированного программирования позволяют осуществлять разработку программного обеспечения специалистом профильной квалификации по теме проекта (в данном случае электропривода, электромеханики и теории управления), который не имеет опыта работы или квалификации программиста.