

## Разработка системы управления электропривода по методу модельно-ориентированного проектирования

### Задача

Разработка микропроцессорной системы управления электропривода, которая по функциональности и характеристикам **соответствует мировым аналогам**

### Решение

Использование MATLAB и его расширений для решения всех задач этапа, на котором возникает **архитектура программного обеспечения - алгоритмизация процесса управления** с учетом возможностей элементной базы

### Результат

**Автоматическое генерирование кода на основе моделей MATLAB** позволило разработать программное обеспечение микропроцессорной системы управления с минимальным использованием традиционных средств разработки программного кода. **Инструменты MATLAB** помогли **грамотно решить имевшиеся задачи управления**

*Научно-производственная организация «Рубикон-Инновация» специализируется на разработке и изготовлении электронной техники. На предприятии накоплен значительный опыт работ по бортовой специальной вычислительной технике для авиационного и космического применения. Продукцией предприятия являются специализированные управляющие вычислительные комплексы для космических аппаратов, спутников связи, для авионики и систем управления производственным оборудованием*

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ:

Simulink • Stateflow • Embedded Coder

## ЗАДАЧА

### Разработка микропроцессорной системы управления электропривода, которая по функциональности и характеристикам соответствует мировым аналогам

Разработанная микропроцессорная система управления электропривода в зависимости от конфигурации может работать с электрическими двигателями разных типов – бесколлекторным двигателем постоянного тока, коллекторным двигателем постоянного тока, бесколлекторным двигателем переменного тока. Замкнутая система регулирования позволяет электроприводу работать в режиме стабилизации скорости и в режиме слежения.

Также предусмотрено ограничение тока при работе на упор и в динамических процессах. Осуществляется формирование переходных процессов при отработке задающих воздействий. Кроме того, предусмотрены различные вспомогательные функции системы управления, которые позволяют использовать её в технологических системах и расширяют функциональные возможности.

В задачи при разработке программного обеспечения СУ входило распределение программных и аппаратных средств, выбор приоритетов выполнения задач, интервалов повторения подпрограмм и функций, способов тактирования, выбор последовательности выполнения задач.

При работе над проектом использовались различные расширения MATLAB, которые позволили разработать программное обеспечение и сгенерировать код на основе математических и имитационных моделей. По словам разработчика, использование продуктов MathWorks обеспечило высокую эффективность процесса разработки.

## РЕШЕНИЕ

Разработчики «Рубикон-Инновации» применяют MATLAB для составления математических и имитационных моделей электромеханических и электротехнических систем при их проектировании, а также для генерации кода при разработке микропроцессорных систем управления.

Во время работы над проектом системы управления электропривода были задействованы четыре разработчика – инженер-электромеханик (разработка и отладка алгоритмов управления, разработка и отладка программного обеспечения), инженер-электронщик (разработка аппаратной части системы управления), инженер-программист (разработчик приложения для терминального управления для персонального компьютера) и инженер-конструктор.

Благодаря использованию средств модельно-ориентированного проектирования программа на языке C была автоматически сгенерирована на основе результатов работы инженера-электромеханика, поэтому работа программиста для составления программного обеспечения не потребовалась.

Первым этапом стал анализ технического задания, выявление ограничивающих факторов, формулирование дополнительных требований. Далее следовала разработка алгоритма функционирования технической системы и алгоритма автоматического управления ей, предполагающая учет происходящих в ней физических процессов.



«Следующий этап, на котором возникает архитектура программного обеспечения, – алгоритмизация процесса управления с учётом возможностей элементной базы, например, производительности микроконтроллера, – отмечает команда проекта. – Все задачи данного этапа могут быть успешно решены при использовании MATLAB и его расширений»

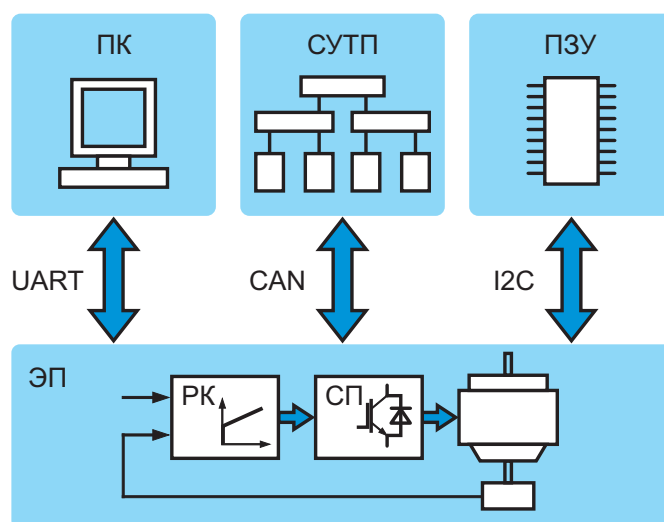


Рис.1 Функциональная схема электропривода: ЭП – электропривод; СП – силовой преобразователь; РК – регулятор координат; ПК – персональный компьютер; СУТП – система управления технологическим процессом; ПЗУ – постоянное запоминающее устройство

### При работе над проектом для алгоритмизации процесса управления и генерации кода использовались пакеты расширения MATLAB – Simulink и Stateflow

Данные средства разработки первоначально были применены для составления математической модели, воспроизводящей работу системы управления электропривода. Эта модель была использована как основа для генерации кода и стандартные блоки Simulink были напрямую использованы в проекте. Также применялись S-функции на языке программирования MATLAB и функции на языке C.

В качестве средства модельно-ориентированного программирования использовался Embedded Coder. Его модельные блоки были применены в качестве программных обработчиков периферии, которые обеспечивают взаимодействие «математического» уровня программного обеспечения (Simulink, Stateflow, пользовательские S-функции и C-функции) с внешними устройствами системы управления. Таким образом, в модели была учтена аппаратная реализация.



*«Главный технический вызов при реализации данного проекта связан с преодолением той инертности, которая касается применения новых средств разработки вместо старых и уже привычных средств. Важным было убедительно доказать, что проект, реализованный с использованием средств **модельно-ориентированного программирования** для генерирования кода, является полноценным. Удивительно, но даже в 2018 году часто приходилось доказывать обоснованность и саму возможность автоматической генерации кода», – замечает команда проекта.*



Рис.2 Внешний вид системы управления электропривода

## РЕЗУЛЬТАТ

- ✓ Все задачи работы над проектом были выполнены. Помимо разработки программного обеспечения, спроектирована и изготовлена аппаратная часть системы управления, которая состоит из платы управления и платы силового преобразователя. Также разработано приложение для терминального управления электроприводом.
- ✓ На данном этапе система управления электропривода имеет необходимую функциональность и характеристики. Она готова к проведению различных испытаний для оценки соответствия требованиям оборудования и систем, в которых планируется её использование, а также для выявления предельных характеристик. Это относится как к конструктивным требованиям, которые не связаны с разработкой программного обеспечения (диапазон рабочих температур, надёжность, прочность, защищённость от воздействия различных внешних факторов), так и к требованиям по качеству регулирования координат (точность, диапазон регулирования, быстродействие) и в целом по функциональности, которые обеспечиваются, в том числе, программным обеспечением системы управления.
- ✓ **Как отмечает разработчик, проект может считаться перспективным и имеет высокую степень готовности.** Данный электропривод может быть использован в различных системах управления движением – антенных установках, промышленных роботах, системах наведения, станочном оборудовании и в других промышленных механизмах.

В «Рубикон-Инновации» модельно-ориентированное проектирование используется на стадии эскизного проектирования при отладке алгоритмов управления и при оценке работоспособности проектируемых устройств или систем.

**Описанный подход к использованию средств модельно-ориентированного проектирования для генерирования кода в компании применялся впервые.**



«Данная система управления позволила бы заменить аналогичные электроприводы иностранного производства, – подчеркивают участники проекта. – Важно отметить, что применение MATLAB для генерирования кода делает доступным разработку программного обеспечения людям, которые не имеют опыта программирования, и вместе с тем являются специалистами по теме проекта».

**Инструменты MATLAB помогли грамотно решить имевшиеся задачи управления.** Это относится к корректному и рациональному составлению архитектуры программного обеспечения (распределению программных и аппаратных ресурсов микроконтроллера, назначению приоритетов выполнения подпрограмм, выбору интервалов повторения и прочему), к основным задачам непосредственно управления электроприводом (ограничение координат, стабилизация и слежение) и к вспомогательным задачам управления.

**Наибольший положительный результат от внедрения МОП был получен благодаря автоматической генерации кода на основе моделей в графической форме.** По словам разработчика, под генерацией кода не следует понимать только лишь перевод схемы из блоков Simulink в программу на С – куда более важным для генерирования кода является использование средств МОП для составления архитектуры программного обеспечения в графической форме моделей. Достигается это тем, что MATLAB позволяет работать с аппаратными модулями микроконтроллера – таймерами, обработчиками прерываний, цифровыми интерфейсами.

**Освоение технологии МОП повысило продуктивность работы над следующим проектом – при разработке системы управления взаимосвязанными электроприводами.**

В этом проекте осуществляется согласованная работа двух электрических двигателей, приводящих в движение общий механизм. В зависимости от режима работы и величины механической нагрузки средствами управления достигнуто автоматическое закрытие люфта путём формирования электромеханического распора и автоматическое распределение нагрузки между двумя электрическими двигателями.

Цель такого технического решения – повышение точности слежения на участках траектории движения, сложных с точки зрения обеспечения точности обычными методами.

В этом проекте использованы элементы уже разработанной системы управления, которые являются типовыми для электроприводов – регуляторы, задатчики движения, обработчики периферии, системы команд и параметров.



«На основе полученного нами опыта к преимуществам использования методик следует отнести упрощение процесса разработки и отладки, сокращение сроков разработки, возможность выявления различных неполадок и особенностей, требующих учёта, уже на этапе эскизного проектирования и, главное – **это повышение осмысленности проектирования в целом.** **Автоматическое генерирование кода на основе моделей MATLAB** позволило быстро разработать программное обеспечение микропроцессорной системы управления с минимальным использованием традиционных средств разработки», – отметил **Игорь Полущенко, инженер-электромеханик НПО «Рубикон-Инновация».**



Рис.3 Блок-схема программного обеспечения