

ЭНЕРГИЯ ИННОВАЦИЙ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ – 2021

**ОБУЧЕНИЕ СТУДЕНТОВ МАГИСТРАТУРЫ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»
МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОМУ ПРОГРАММИРОВАНИЮ**

И.С. Полющенко

к.т.н., инженер

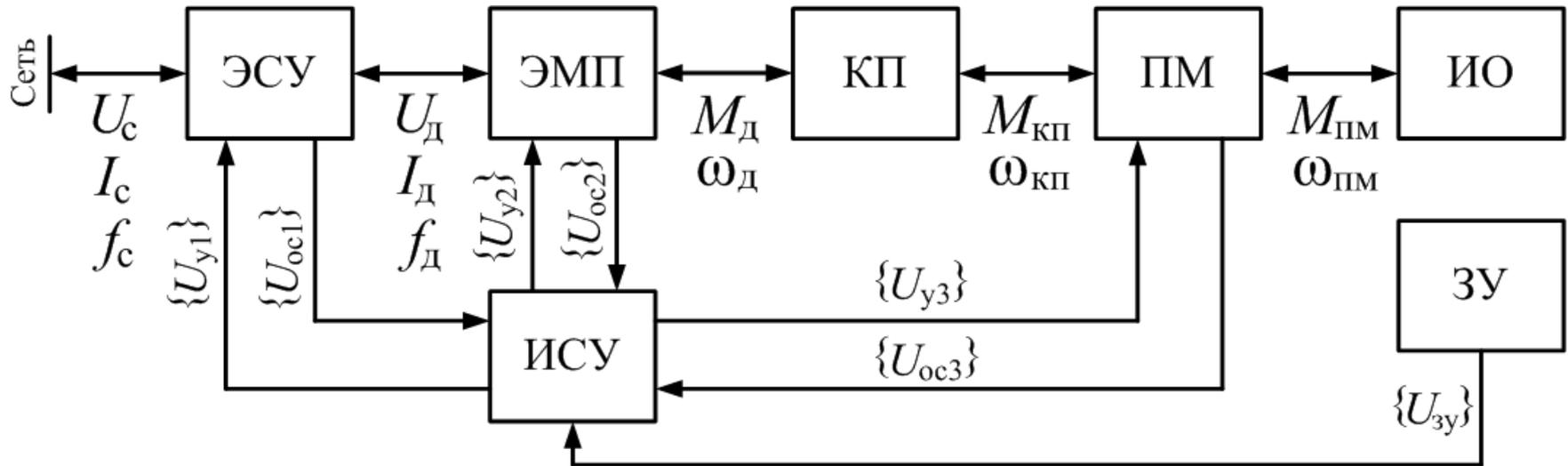
ООО НПО «Рубикон – Инновация» (г. Смоленск)

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Цели и задачи:

1. Дать оценку электроприводу как объекту микропроцессорного управления, указав на взаимосвязь и взаимозависимость физических и информационных процессов.
2. Оценить компетенции студента магистратуры с точки зрения разработки полноценного и полнофункционального программного обеспечения системы микропроцессорного управления электроприводом.
3. Продемонстрировать значение и роль средств модельно-ориентированного программирования как полноценного профессионального средства разработки и отладки программного обеспечения для специалиста в области электроприводов.
4. Способствовать расширению практики применения средств модельно-ориентированного программирования в прикладной предметной области с учётом их особенностей и ограничений.

ЭЛЕКТРОПРИВОД КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ



Электропривод (ЭП) – это сложная **электромеханическая система**, в которой осуществляется управляемое **обратимое** (с учётом КПД) **преобразование электрической и механической энергии**.

Элементы ЭП: **ЭМП** – электромеханический преобразователь (электрическая машина); **КП** – кинематическая передача; **ПМ** – промышленный механизм; **ИО** – исполнительный орган; **ЭСУ** – энергетическая часть системы управления; **ИСУ** – информационная часть системы управления; **ЗУ** – задающее устройство.

ЭЛЕКТРОПРИВОД КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Высокий уровень – Социум электропривода:

- обеспечение работы в технологической системе.
- пользовательский интерфейс.
- системы программного управления.

Средний уровень – Физиология электропривода:

- регулирование координат.
- формирование динамических процессов.
- обеспечение функционала управления.
- функционал взаимодействия с периферией.

Нижний уровень – Анатомия электропривода:

- формирование электромагнитных процессов, специфичных для электрического двигателя.
- управление силовым преобразователем.

Уровни управления электроприводом.

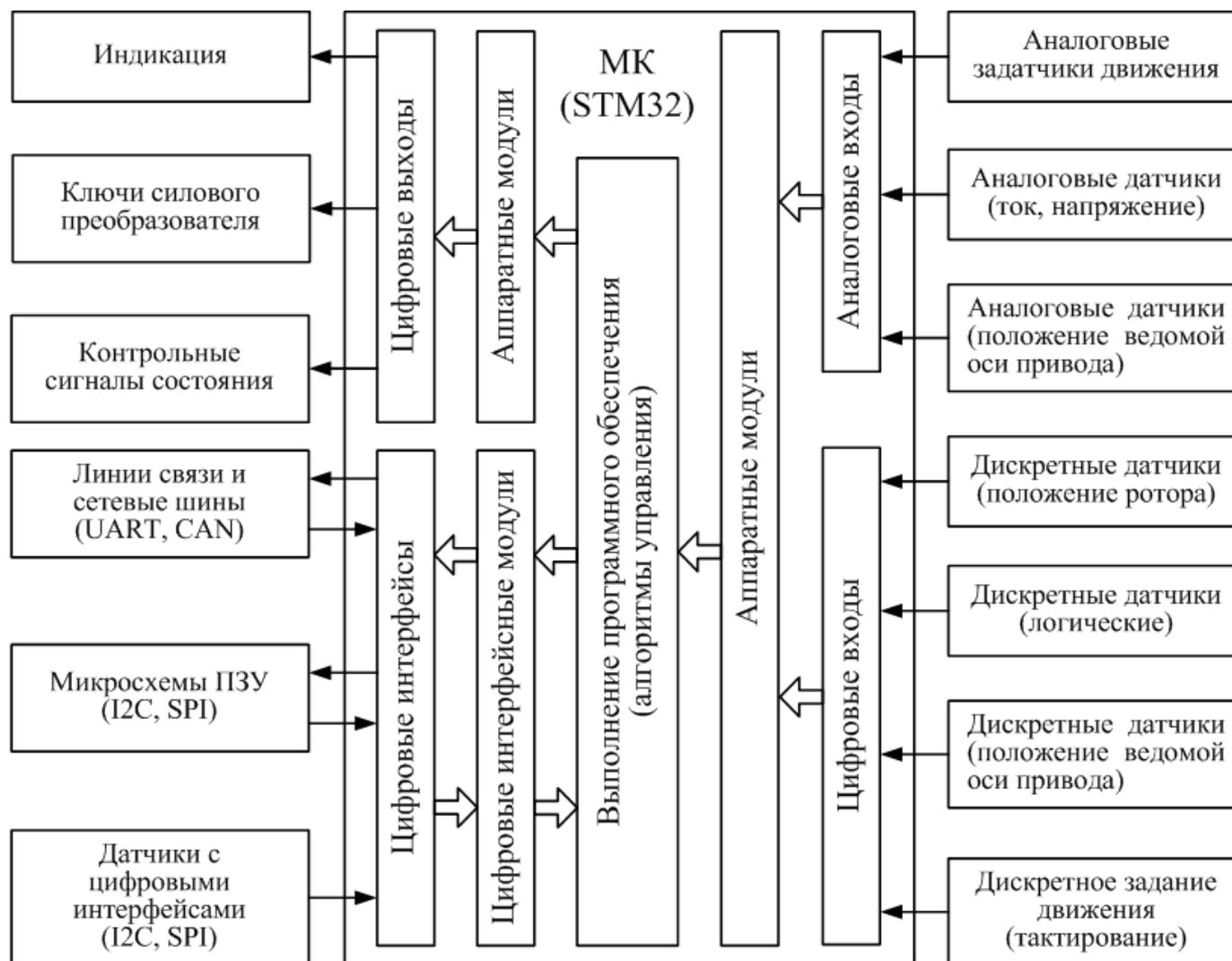
Вывод:

Требуется полноценная, целостная, поэтапная подготовка в процессе обучения в вузе.

Специфика ЭП:

1. Система реального времени.
2. Разнообразные физические процессы.
3. Плотная взаимосвязь различных предметных областей.
4. Взаимосвязь физических процессов и процессов управления.
5. Особый понятийный аппарат.
6. Особый математический аппарат.
7. Разнообразие технических средств.
8. Особая значимость для народного хозяйства.
9. Обновление и расширение теории и практики требует широкого кругозора.
10. Использование информационных технологий прикладного уровня.
11. Трудоёмкость разработки, внедрения и эксплуатации.

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ



Функциональная схема микропроцессорного управления ЭП.

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Специфика микропроцессорного управления ЭП:

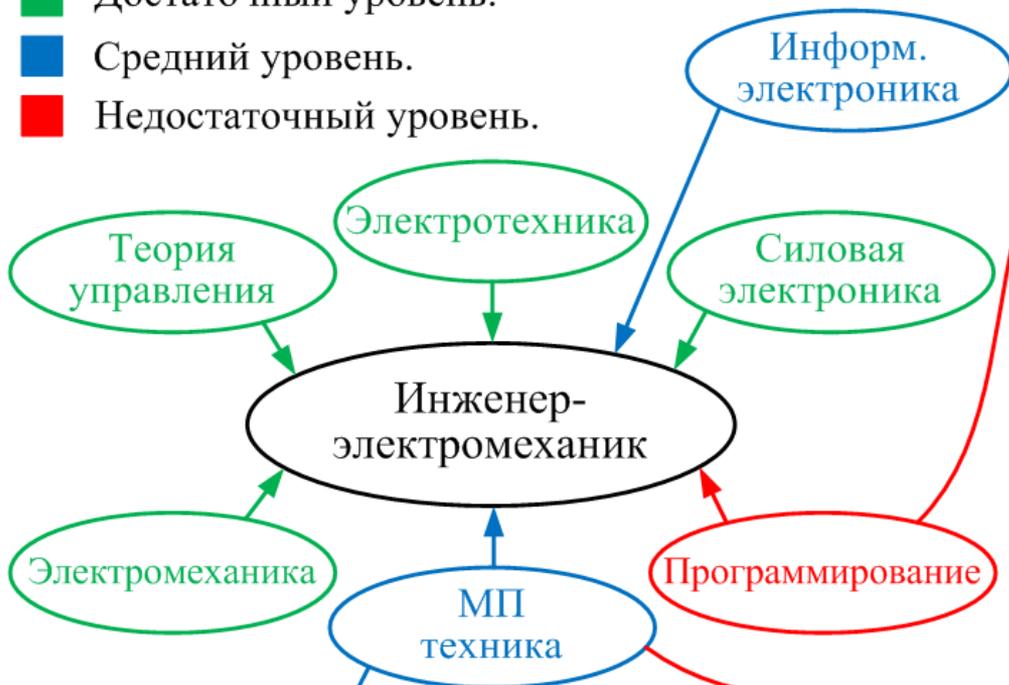
1. Система реального времени в зависимости от уровня управления.
2. Детальный учёт электрических, механических электромеханических и информационных процессов.
3. Формирование электромеханических процессов, процессов автоматического регулирования координат и процессов взаимодействия с управляющими и подчинёнными устройствами.
4. Управление объектом (электропривод) первично, но необходимо учитывать возможности и ограничения микропроцессорной техники и выразительность средств разработки и языков программирования.
3. Распределение вычислительных и аппаратных ресурсов между задачами управления с учётом их ограниченности для данной элементной базы.
4. Распределение приоритетов выполнения между задачами управления в зависимости от их значимости для процесса управления и наличия вычислительного ресурса микроконтроллера.

Вывод:

Требуется **полноценная подготовка** по разработке микропроцессорных систем управления **с учётом объекта управления для конкретной предметной области.**

КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА МАГИСТРАТУРЫ ЭиЭ

- Достаточный уровень.
- Средний уровень.
- Недостаточный уровень.



Архаичные языки и средства разработки:
- Машинные коды.
- Ассемблеры (RISC).
- Отладчики в DOS.
- Решение простых задач.

Устаревшая МП техника:
- КР580.
- Intel8051.
- Intel8086.
- PIC16 (RISC).

Поверхностные знания и отсутствие практики применения цифровых интерфейсов и линий связи UART, CAN, I2C, SPI и технических средств передачи информации в целом.

При разработке ЭП
дополнительно
необходим
программист.

Алгоритмизация управления:
- Взаимосвязь архитектуры МК и задач управления.
- Распределение программных и аппаратных средств.

Важно отличать
основы от
примитива.

КООПЕРАЦИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МПСУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА



ВИДЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ПРОГРАММИСТОВ

Профессиональные программисты

Математики-программисты.

Плюсы:

- + Знание численных методов математики и языков программирования.
- + Наличие критического мышления.

Минусы:

- Предельно абстрактный объект анализа, но не управления.
- Незнание микропроцессорной техники и средств программирования.
- Владение лишь «абстрактной» математикой.
- Незнание реальных свойств физических сигналов и объектов.
- Незнание Теории автоматического управления.
- За цифрами не видят физику объекта управления.

Электронщики-программисты.

Плюсы:

- + Знание микропроцессорной техники и языков программирования.
- + Знание реальных свойств физических сигналов.
- + Наличие критического мышления.

Минусы:

- Микроконтроллер сам по себе является объектом управления и самоцелью во «встроенных системах».
- Микроконтроллер первичен, а физический объект и процесс управления им – вторичны.
- Знание Теории автоматического управления лишь для «встроенных систем».
- Они на виду и на слуху.

IT-шники.

Плюсы:

- + Знают синтаксис и технологии написания программ.

Минусы:

- Вера в исключительность и нет критического мышления.
- Непонимание/отрицание связи физических процессов, математического аппарата и программного обеспечения.
- Часто профессиональное выгорание.
- Программное обеспечение (циклы, ветвления, функции, синтаксис языка) первично, а физический объект и процесс управления – вторичны.
- Незнание совсем Теории автоматического управления.
- Они на виду и на слуху.

Итог (одни минусы):

- Требуется постоянный контроль за разработкой (ничего доверить нельзя).
- Разработка по принципу «как я это понимаю», а не «как надо сделать».
- Непонимание смысла цифр, графиков, переходных процессов.
- Непонимание взаимосвязи характеристик электроприводов и технических решений.
- Многократное переделывание работы, большой объём балластной работы.

КООПЕРАЦИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МПСУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

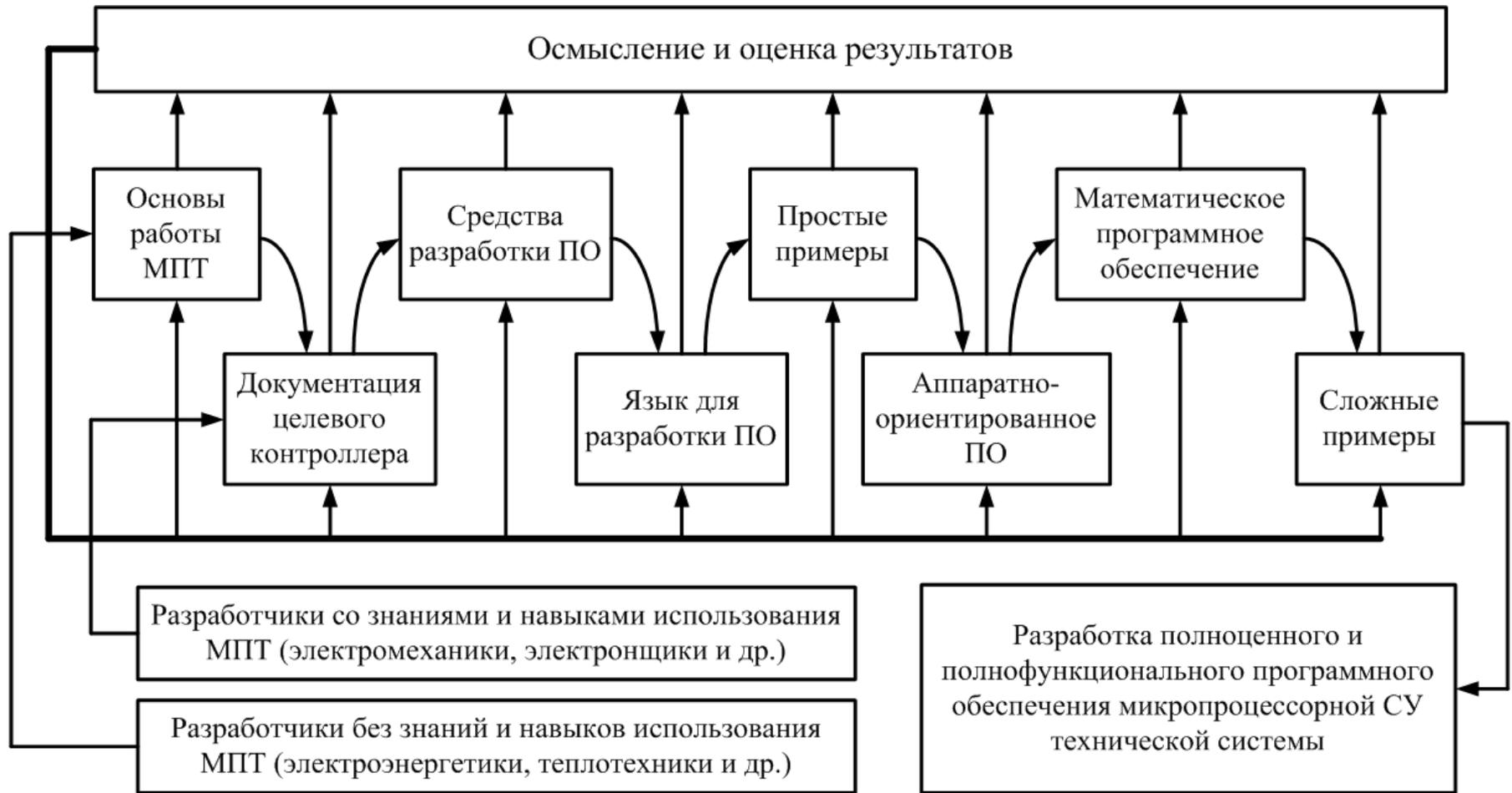
Процесс разработки МПСУ электропривода:

1. Разработка МПСУ электропривода – это сложный проект, требующий согласованной работы различных специалистов.
2. Задачи разработчиков в процессе осуществления проекта пересекаются и требуют согласованного выполнения.
3. Лишь один разработчик – программист – не имеет отдельной части в проекте.
4. Программист является лишь исполнителем замысла электромеханика.
5. Профессиональные программисты в силу специфики своих компетенций, опыта работы и образа мышления не могут в полной мере справиться с указанной задачей.
6. Эти тезисы могут быть распространены на разработку электронных, электротехнических, энергетических, механических, теплотехнических и других технических систем с микропроцессорным управлением.

Выводы:

1. Инженер-электромеханик (и не только он) сам **должен быть программистом**, способным разработать программное обеспечение микропроцессорной системы управления электропривода с учётом имеющейся у него суммы знаний.
2. Микропроцессорная техника и технологии программирования из **сугубо профессиональной** стали **общетехническим** знанием и практикой применения.

ПРОЦЕСС ИЗУЧЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ



Процесс приобретения знаний и навыков использования микропроцессорной техники конкретной элементной базы и средств разработки программного обеспечения.

ПРОЦЕСС ИЗУЧЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

Процесс разработки МПСУ электропривода:

1. Процесс освоения новой элементной базы микропроцессорной техники и средств разработки программного обеспечения непростой, многоэтапный и итерационный.
2. Каждый новый этап освоения техники и технологий требует переосмысления уже имеющихся знаний и навыков и, возможно, возвратов на предыдущие этапы.
3. Базой являются основы микропроцессорной техники, которая приобретена в процессе обучения в вузе или нет в зависимости от профиля/специальности.
4. Электромеханики (приводчики) в отличии от многих других имеют такую базу, хотя и неактуальную.
5. Программное обеспечение можно разделить на аппаратно-ориентированное, в котором учитывается специфика целевой элементной базы, и математическое, связанное со спецификой объекта управления для конкретной предметной области.
6. Аппаратно-ориентированное ПО вызывает сложности и многих итераций при изучении, в то время как математическое ПО алгоритмически понятно.
7. Средства разработки ПО в виде структурированного текста без большой практики применения не очень удобны и наглядны.

Выводы: Требуются некие «удобные» средства разработки, которые позволяют упростить применение аппаратно-ориентированного ПО.

ИЗУЧЕНИЕМИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

Пожелания к содержанию дисциплины:

- Минимизировать время изучения при обеспечении содержательности.
- Не начинать повторное изучение с самых основ, а опираться на уже изученные основы.
- Изучить современную элементную базу и актуальные средства разработки.
- Изучить не микроконтроллер и программирование сами по себе, а их применение в системах управления.
- Демонстрировать взаимосвязь ресурсов микроконтроллера и характеристик системы управления.

Решение – применение средств модельно-ориентированного программирования и автоматического генерирования программного обеспечения (библиотеки Waijung Blockset и Embedded Coder из состава системы компьютерной математики Matlab).

МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Характеристика средств модельно-ориентированного программирования:

- + Входят в состав системы компьютерной математики Matlab.
- + Ориентация на современные высокопроизводительные микроконтроллеры.
- + Представление аппаратно-ориентированного ПО в виде стандартных модельных блоков, конфигурируемых с помощью меню, снабжённых справочной информацией и аналогичных меню блоков Matlab/Simulink.
- + Разработка программного обеспечения в виде графической исполняемой модели, в которой микропроцессорная реализация учтена путём применения модельных обработчиков встроенных модулей микроконтроллера.
- + Использование модельных блоков аппаратно-ориентированного ПО способствует преодолению незнания, накоплению знаний и опыта, а также позитивным эмоциям.
- Ограниченная практика применения в сложных технических системах и ограниченная номенклатура микропроцессорной техники.
- Полезная информация ограничена (профессиональные секреты, коммерческая тайна), много информации из источников с сомнительной компетентностью.
- Отладка ПО возможна только на физическом устройстве. Анализ результатов в результате проведения экспериментов с элементами «профессионального чутья».
- Непрозрачность генерируемого ПО, но возможен анализ сгенерированного текста.
- Ограниченная выразительность стандартных модельных блоков.

МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

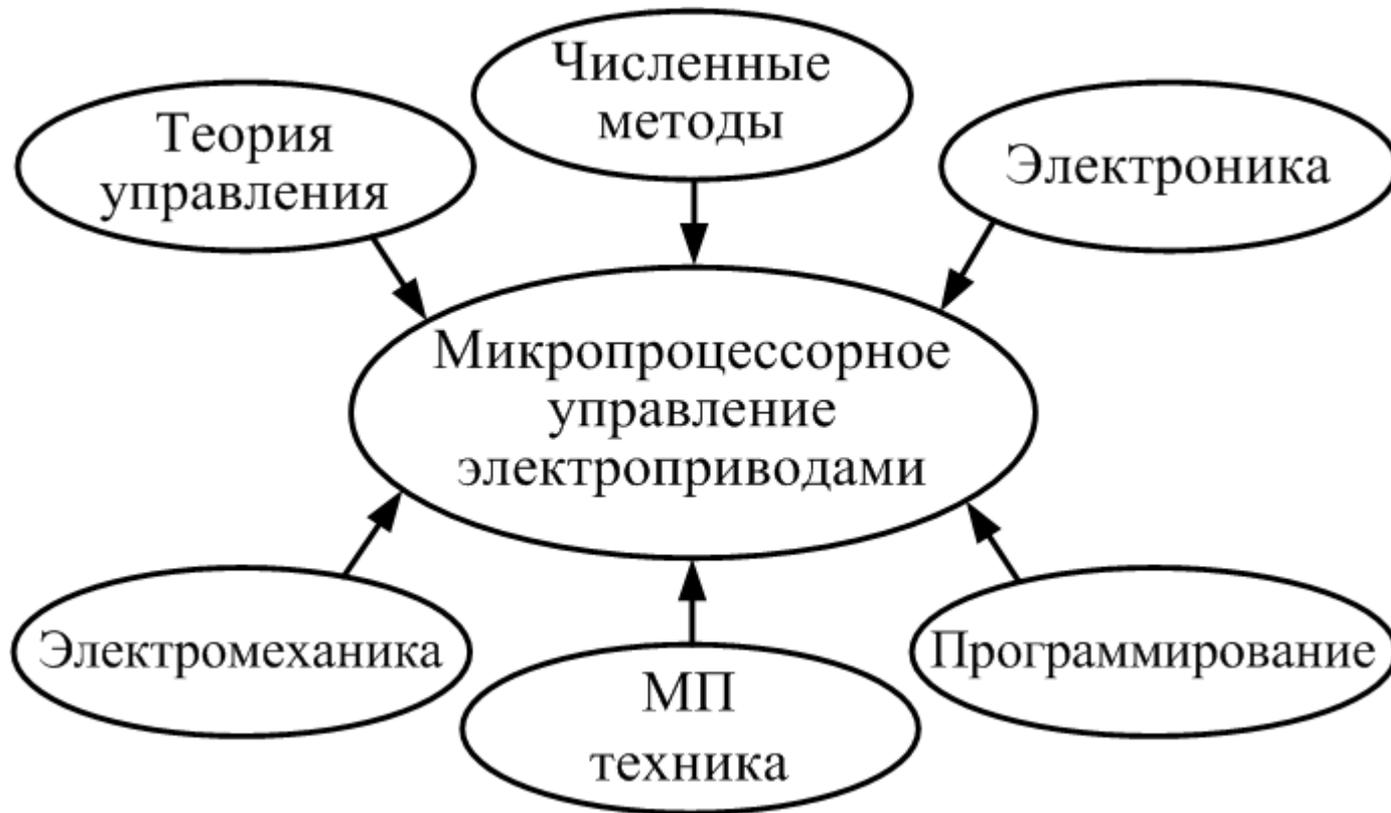


МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Авторское наполнение учебной дисциплины:

- Способы компоновки программного обеспечения.
- Распределение вычислительных ресурсов микроконтроллера и его аппаратных модулей.
- Синтаксис модельных схем.
- Достижение баланса при распределении вычислительных ресурсов между задачами управления.
- Предел выразительности стандартных модельных блоков.
- Разработка математического программного обеспечения и синтаксис языка С и его интеграция в исполняемую модель.
- Различные особенности и ограничения стандартных модельных блоков и схем из них, а также методы их учёта и преодоления.
- Различные полезные технологии использования модельно-ориентированного программирования.

СИНТЕТИЧЕСКАЯ ДИСЦИПЛИНА



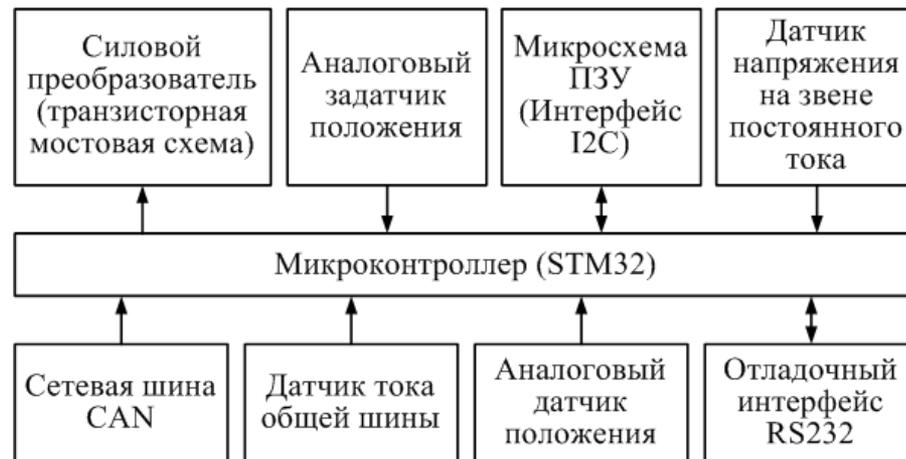
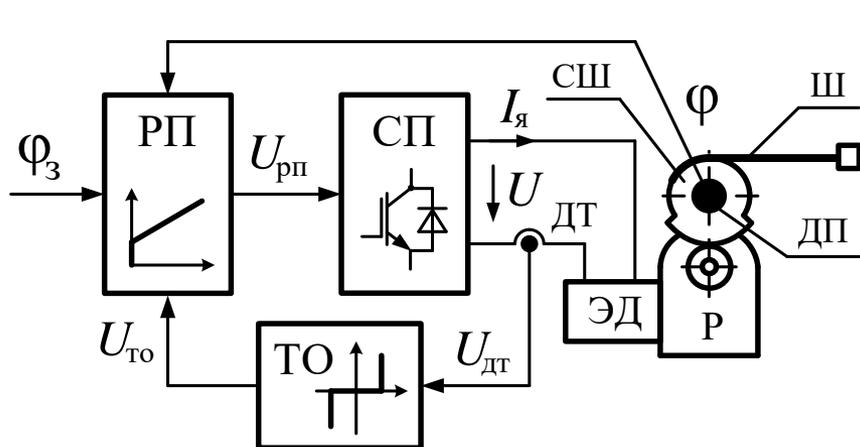
II или III семестр магистратуры как завершающая дисциплина цикла, связанного с микропроцессорной техникой (с учётом обучения в бакалавриате).

ИЗУЧЕНИЕМИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

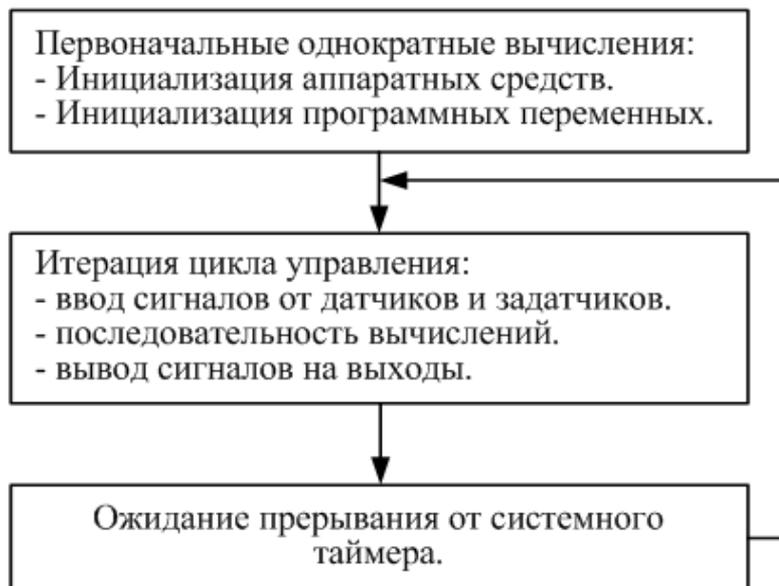
Подготовленный таким образом выпускник магистратуры по направлению «Электроэнергетика и электротехника» как инженер-электромеханик может обладать следующими конкурентными преимуществами:

- Гораздо быстрее и качественнее справится с возложенной на него работой по проектированию электроприводов с микропроцессорным управлением и никакие дополнительные программисты ему не нужны.
- Не ограничиваясь электроприводами, сможет проектировать электромеханическое, электротехническое и электроэнергетическое оборудование с микропроцессорным управлением, самостоятельно приобретая необходимую для этого сумму знаний по мере необходимости.
- Большая универсальность при разработке технических систем.

СТРУКТУРА ИСПОЛНЯЕМОЙ МОДЕЛИ



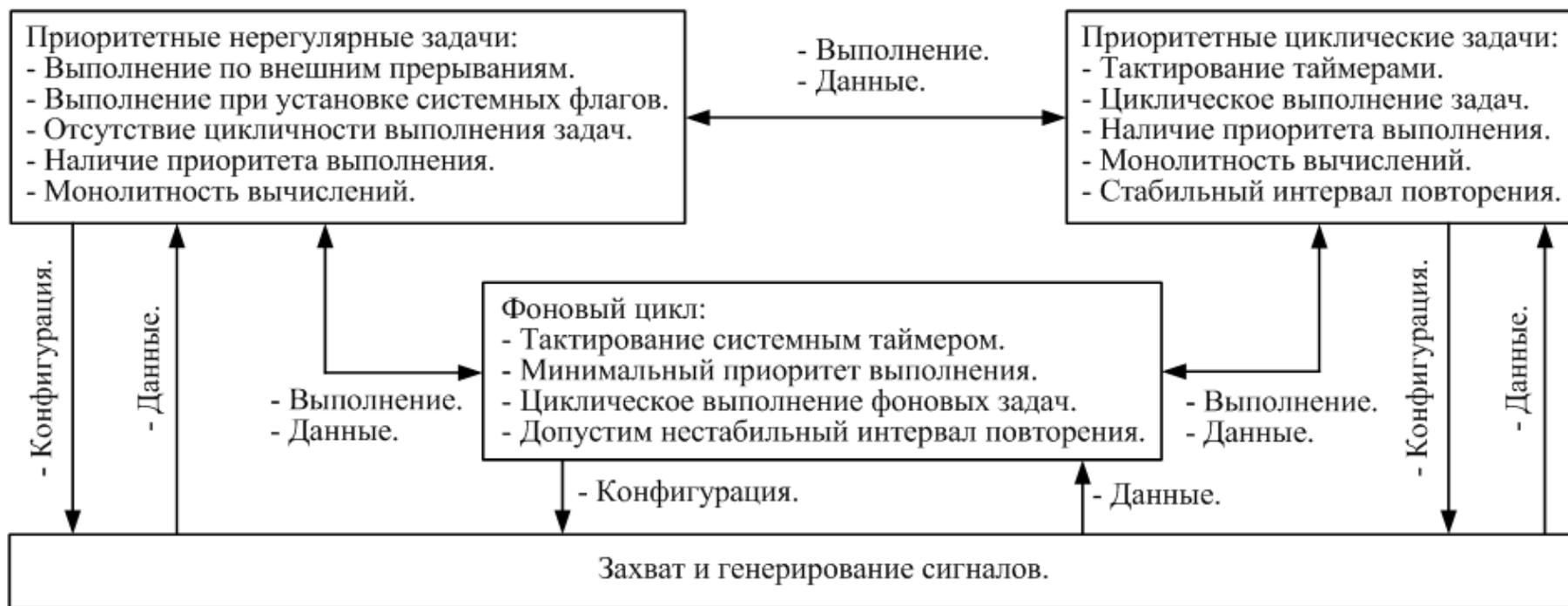
Следящий электропривод с микропроцессорным управлением.



«Плохая» структура ПО – суперцикл:

- Обычно получается при использовании МОП, если не принять меры.
- Для ПЛК и верхнего уровня управления.
- Нерационально распределены ресурсы МК.
- Все задачи управления с единым приоритетом и единым интервалом повторения.
- Большая частота повторения суперцикла для своевременного детектирования, захвата, обработки и генерирования сигналов.

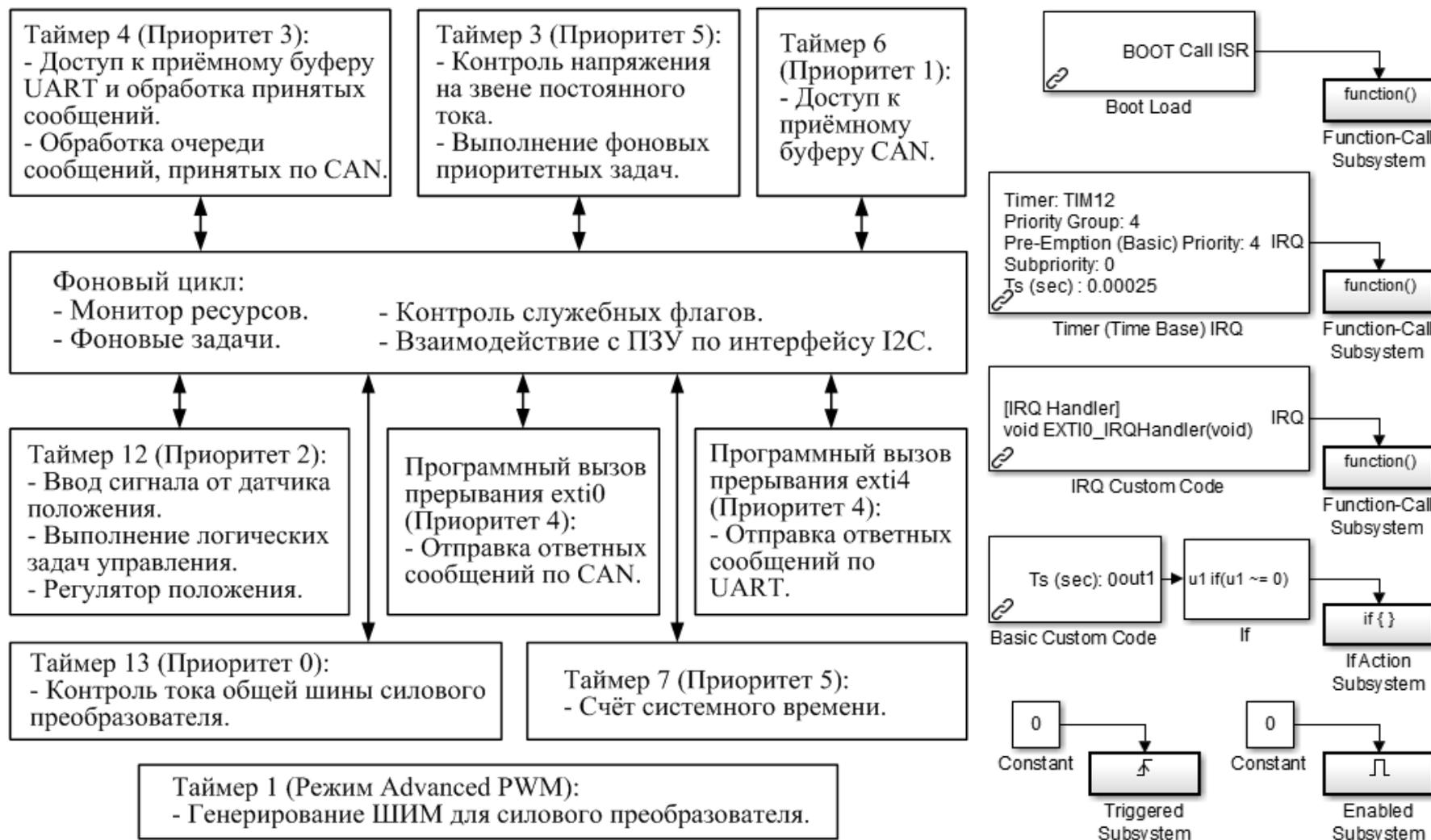
СТРУКТУРА ИСПОЛНЯЕМОЙ МОДЕЛИ



«Хорошая» структура ПО – принцип операционной системы и диспетчера задач:

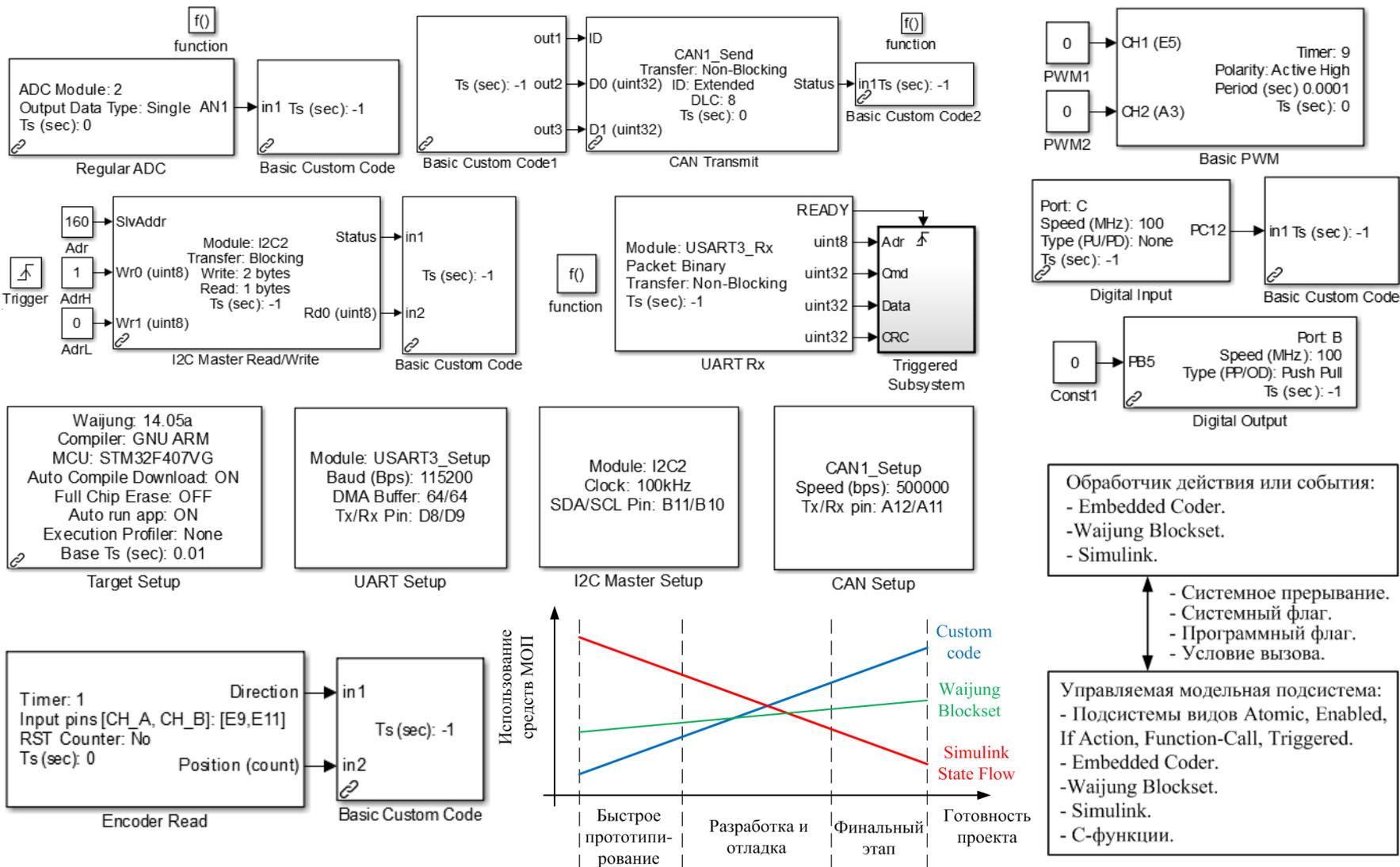
- + Рациональное распределение вычислительных ресурсов микроконтроллера для ЭП.
- + Приоритетность выполнения задач и стабильность интервалов повторения.
- + Наглядность достижения баланса при распределении вычислительных ресурсов.
- + Универсальность применения в управлении различными техническими системами.
- + Наглядность декомпозиции на отдельные задачи, выполняемые модельными схемами.
- + Наглядность совмещения модельных блоков и авторского специального ПО.

СТРУКТУРА ИСПОЛНЯЕМОЙ МОДЕЛИ



Структура ПО МПСУ электропривода и модельные схемы для её составления.

СТРУКТУРА ИСПОЛНЯЕМОЙ МОДЕЛИ



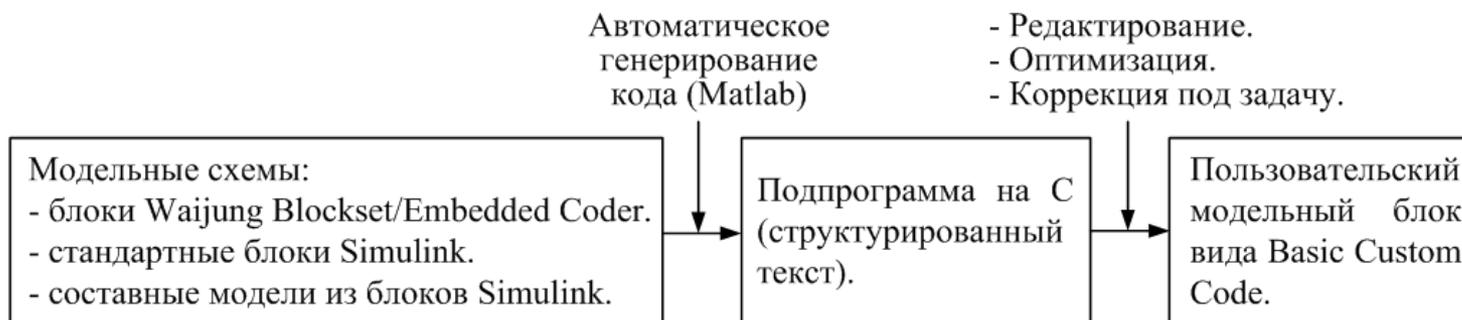
Разные модельные блоки и схемы из них.

МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Особенности средств МОП и автоматически сгенерированного ПО:

- Отсутствие в меню модельных блоков доступа к некоторым параметрам конфигурации встроенных модулей МК.
- Отличие величин шага интегрирования и шага дифференцирования модельных блоков Simulink от интервала повторения при выполнении сгенерированных из них подпрограмм при любом способе тактирования.
- Громоздкость модельных схем и несогласованность выполнения подпрограмм, сгенерированных из нескольких модельных схем, в составе единого ПО при различных интервалах их повторения.
- Отсутствие доступа к параметрам конфигурации встроенных модулей МК в процессе выполнения программного обеспечения.

Решение: Использование модельных блоков как обработчиков модулей МК, а зависимое от объекта управления математическое ПО разработать на С.



ЛИТЕРАТУРА

1. Waijung Blockset [Электронный ресурс]. <http://waijung.aimagin.com>.
2. Model-Based Design [Электронный ресурс]. www.mathworks.com.
3. Exponenta [Электронный ресурс]. <http://www.exponenta.ru>.
4. Борисевич А.В., Омельченко Н.В. Реализация векторного управления асинхронным электродвигателем на микроконтроллере STM32F4 // Современные научные исследования и инновации. 2014. №4. Ч.1 [Электрон. ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/04/33144>
5. J. Krizan, L. Ertl, M. Bradac, M. Jasansky, A. Andreev, “Automatic code generation from Matlab/Simulink for critical applications”, Electrical and Computer Engineering (CCECE), 2014 IEEE 27th Canadian Conference on, pp. 1–6, May 2014.
6. K. Horvath, M. Kuslits, “Model-Based development of induction motor control algorithms with modular architecture”, 2016 IEEE International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), pp. 133–138, 25–28 Sept. 2016.
7. Полющенко И.С. Разработка системы управления электропривода на основе метода модельно-ориентированного программирования // Вестник МЭИ. 2016. № 6. С. 87 – 94.

ЛИТЕРАТУРА

8. Полющенко И.С. Разработка программного обеспечения для управления электроприводом в технологической системе с применением метода модельно-ориентированного программирования // Вестник МЭИ. 2017. № 4. С. 83 – 91. DOI: 10.24160/1993-6982-2017-4-83-91.
9. Полющенко И.С. Система управления взаимосвязанными электроприводами с электромеханическим распором и распределением нагрузки // Вестник МЭИ. 2019. № 3. С. 70 – 79. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-3-70-79.
10. Полющенко И.С. Модельно-ориентированная разработка системы управления электропривода и её исследование // Вестник МЭИ. 2020. № 3. С. 65 – 74. DOI: 10.24160/1993-6982-2020-3-65-74.
11. STM32 Arm Cortex Microcontrollers [Электронный ресурс]. www.st.com.
12. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Полющенко Игорь Сергеевич
polyushenkov.igor@yandex.ru