

Проект рабочей программы дисциплины «Цифровая электроника» для подготовки бакалавров по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» по профилю «Электропривод и автоматика»

авторы: ст.преп. Прокшин Артем Николаевич

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова
(Ленина)

23 мая 2022 г.

Актуальность

- упрощение системы управления с использованием ковариантных (измеряемых) и контравариантных (неизмеряемых) координат;
- создание мобильных лабораторных стендов;
- использование российского программного обеспечения;
- использование российских микроконтроллеров в части задач

Компетенции

Компетенция **ОПК-2** Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач

Знать

- геометрические основы измерения трехфазного тока
-

среды разработки и моделирования встроенного программного обеспечения систем управления электродвигателями, технологическими комплексами

Уметь

-

применить среды разработки и моделирования MexBios Development Studio, SimInTech, Texas Instrument CCS, Motor Control Workbench, GCC toolchain для создания программы управления инвертором электрическими машинами

Владеть

-

настройкой взаимодействия сред разработки с микроконтроллером и конечным оборудованием, отладка, поиск и устранение неисправностей в программе

Используемые в обучении информационные и «сквозные» технологии, цифровые инструменты

- Современные проблемы инфраструктуры электродвижения “НП Совет рынка”, АО “АТС”, криптография ГОСТ, PKI, ocsp, проверка электронных подписей
- 11 тем связанных с изображающими векторами Современная геометрия, ковариантные и контравариантные координаты векторов, двойственные дуальные базисы, overleaf.com, geogebra.com, www.latex4technics.com, T-Flex.
- Преобразование базисов и координат из одной системы в другую Матричный анализ, reduce-algebra, maxima, overleaf.com, geogebra.com, www.latex4technics.com, T-Flex.
- Интегрированные системы программирования микроконтроллеров MexBIOS, среда НПФ Вектор, CodeComposerStudio, STM32CubeIDE, arm-none-eabi-* toolchain, st-link, DFU

Используемые в обучении информационные и «сквозные» технологии, цифровые инструменты

- Принципы работы одно- и трех-фазного мостового инвертора напряжения
Моделирование работы инвертора на сервисе кафедры РАПС, geda, ngspice, easyEDA, SimInTech
- Отладка программ и блоков в MexBIOS, SimInTech и в облачных сервисах песочница C, песочница C++, gcc, overleaf .com
- Отчеты оформляются исключительно по ЕСКД latex, overleaf .com
- Исходные коды блоков, шаблоны заданий и отчетов располагаются в системе контроля версий git с настроенной связью в overleaf и C-песочницами Git, github.com, песочница C, overleaf .com

Современные проблемы инфраструктуры электродвижения

- недостаточная мощность и кол-во зарядных станций (преобразователей электрической энергии) для электрических автомобилей, судов
- логистика и планирование заряда/разряда батарей автономного электрического транспорта
 - транспондеры, смартконтракты,
 - российская криптография, блок-чейн

Передача активной и реактивной мощности между электрической машиной и промышленной сетью

- изображающие векторы напряжения и тока
- реактивная мощность стекает с повышенного напряжения
- вектор напряжения передающей активную мощность электрической машины обгоняет вектор приемника
- вектор тока одинаков для обеих машин

Принципы работы однофазного мостового инвертора напряжения

- чисто активная нагрузка
- нагрузка или источник содержит индуктивность или дроссель
- работа обратного диода
- передаваемая мощность при медленно меняющемся токе и быстро меняющемся напряжении в зависимости от скважности

Принципы работы трехфазного мостового инвертора напряжения

- порядок переключения ключей
- график токов в фазах при активной нагрузке
- графики фазных и линейных напряжений
- изображающие вектора фазных и линейных напряжений и токов

Работа ключей при векторной широтно-импульсной модуляции в трехфазном мостовом инверторе напряжения

- таблица векторов состояний
- нулевой вектор состоит из 2-х состояний
- изображающий вектор как центр тяжести состояний взвешенных по времени нахождения в данном состоянии
- потенциалы фаз и нуля

Синусоидальная широтно-импульсная модуляция в однофазном или трехфазном мостовом инверторе напряжения

- наличие реального или «виртуального» нулевого провода
- отличие активной мощности при синусоидальной и векторной широтно-импульсной модуляциях

Используемые в обучении информационные и «сквозные» технологии, цифровые инструменты

Системы координат. Преобразование базисов и координат из одной системы в другую

- разложение вектора по координатным осям по правилу параллелограмма
- матрица преобразования

Системы координат в современной геометрии, косоугольная система координат, ковариантные и контравариантные координаты в косоугольной системе координат

- формула длины вектора в косоугольной системе координат
$$|\vec{x}| = \sqrt{x_1 x^1 + x_2 x^2}$$
- скалярное произведение двух векторов $\vec{x} \cdot \vec{y} = x_i y^i = x^i y_i$
- правило Эйнштейна
- сравнение с прямоугольной декартовой системой координат

Используемые в обучении информационные и «сквозные» технологии, цифровые инструменты

Измеряемые мгновенные значения токов и напряжений и их связь с ковариантными координатами

- преобразование Блонделя

$$\vec{i} = \frac{2}{3} (i_a \vec{e}_a + i_b \vec{e}_b + i_c \vec{e}_c)$$

формула для \vec{i} в симметричной системе координат, полусумма контравариантных координат равна контравариантной координате

- вариантовой координате

$$i_a = \frac{1}{2} (i_{\text{в осях AB}}^a + i_{\text{в осях AC}}^a)$$

управление ШИМ через центр тяжести весов векторов состояния инвертора и связь с контравариантными координатами

- правило рычага Архимеда для определения цента тяжести весов векторов состояния инвертора

- матрица преобразования ковариантных (измеренных) координат к контравариантным (координатам управления) изображающего вектора напряжения

Используемые в обучении информационные и «сквозные» технологии, цифровые инструменты

Активная мощность, скалярное произведение в косоугольной системе координат

- физическая величина есть сумма произведений ковариантной и контравариантной координат $i_k \cdot u^k$
- поднимание и опускание индексов $i_k \cdot u^k = i^k \cdot u_k$
- линейное напряжение как контравариантная координата в осях фазного тока
- формула мощности в трехфазной сети через ковариантные и контравариантные координаты

Реактивная мощность в координатах косоугольной системы

- связь реактивной мощности с векторным произведением

Напряжение индукции в координатах косоугольной системы

- при неизменном амплитудном значении тока напряжение индукции перпендикулярно вектору тока
- перпендикуляр к вектору через двойственные координаты $(I_A, I_B) \cdot (-I^B, I^A)$, где I^i в двойственном базисе

Генерация широтно-импульсной модуляции с помощью таймера, варианты пилообразных сигналов, определение скважностей T_A, T_B, T_C

- принцип работы таймера, период, время срабатывания таймера
- виды пилы таймеров
- запись и извлечение уставок таймера в теневой (shadow) регистра
- формула перевода весов состояний в уставки таймеров T_A, T_B, T_C

Использование неопределенности скважностей T_A , T_B , T_C для уменьшения нагрева силовых ключей

- мощность потерь силовых ключей
- спектральный состав

Аналогово-цифровое преобразование

- принцип работы АЦП
- зависимость точности АЦП от времени оцифровки
- запуск АЦП от прерывания ШИМ

Интегрированные системы программирования микроконтроллеров

- российские системы MexBIOS, VectorIDE, SimInTech
- зарубежные системы фирм Texas Instrument, STM, Infineon

Построение систем управления в MexBIOS

- распределение памяти в микроконтроллере
- драйверы GPIO
- драйверы АЦП
- драйверы ШИМ
- драйверы SPI
- осциллограф
- блоки управления

Написание пользовательских блоков в системе MexBIOS

- переменные портов ввода-вывода
- внутренние переменные
- компиляция блоков, библиотек, ядра системы

Отладка программ и блоков в MexBIOS

- отладка алгоритмов в облачных песочницах
- отладка вызова прерываний и вызовов блоков в MexBIOS
 - отладка алгоритмов вне среды MexBIOS с помощью программ C/C++
 - отладка программ с помощью осциллографа

Практические занятия

Получение зависимости T_A, T_B, T_C в трехфазной симметричной системе через измеренные значения фазных токов/линейных напряжений

- вывод и проверка зависимости с помощью reduce-algebra, latex overleaf.com
- вывод и проверка сложения $L \frac{d\vec{i}}{dt}$ и вектора напряжения \vec{u}

Основы работы с MexBIOS, загрузка программы в микроконтроллер через st-link, usb, jtag, x100/x200

- произвести загрузку программы на микроконтроллер используя интерфейс указанный в варианте
- контроль – микроконтроллер производит выдачу светового сигнала в соответствии с вариантом

Информационный обмен с микроконтроллером с использованием MexBIOS, связь через com-port, usb, ethernet

- произвести загрузку управляющей программы на микроконтроллер
- произвести осциллографирование нажатия кнопки используя интерфейс указанный в варианте

Кейсы

Создание программы для управления асинхронным двигателем

- Моделирование системы управления инвертором в средах ngspice, MexBIOS или SimInTech
- Загрузка программы в микроконтроллер и управление асинхронным двигателем

Создание программы для управления инвертором, сопряженным с трехфазной сетью

- Моделирование системы управления инвертором в средах ngspice, MexBIOS или SimInTech
- Загрузка программы в микроконтроллер и управление зарядом, разрядом батареи, подключенной с помощью инвертора к трехфазной сети

Кейсы

Создание программы для управления синхронным двигателем

- Моделирование системы управления инвертором в средах ngspice, MexBIOS или SimInTech
- Загрузка программы в микроконтроллер и управление синхронным двигателем

Создание программы для управления СТАТКОМом

- Моделирование системы управления СТАТКОМом в средах ngspice, MexBIOS или SimInTech
- Загрузка программы в микроконтроллер и управление перетоками реактивной мощности с помощью СТАТКОМ

Самостоятельная работа студентов

Отчетность по стандарту ЕСКД и обмен кодом и шаблонами в группах

- Оформлить отчеты по ЕСКД в latex overleaf.com
- обмен кодами и шаблонами в группах вести используя систему контроля версий Git github.com, gitlab.com или bitbucket.org с интеграцией с overleaf.com

Работа со справочными системами

- ознакомиться со справочными системами компилятора
- ознакомиться со справочниками блоков MexBIOS
- ознакомиться со справочниками блоков SimInTech

Фонд оценочных средств

- Если уменьшить количество переменных то программа может быть написана более эффективно?
- Трехфазная система токов и/или напряжений является декартовой системой?
- Измеряемые мгновенные значения тока/напряжения являются перпендикулярными проекциями на оси фаз.
- Перпендикулярные проекции на оси фаз А,В являются координатами разложения вектора тока/напряжения по правилу параллелограмма?
- Что называется координатами вектора: перпендикулярные проекции или координатами разложения вектора по правилу параллелограмма?
- Переход из косоугольной системы координат в декартову систему координат уменьшает количество координат?
- Изобразить ковариантные(перпендикулярные проекции на оси фаз) к контравариантные(координаты разложения вектора по правилу параллелограмма) координаты.

Фонд оценочных средств

- Длина вектора в косоугольной системе координат.
- Скалярное произведение двух векторов в косоугольной системе координат.
- Провести разложение вектора пользуясь только перпендикулярными проекциями вектора на оси фаз.
- Двойственный базис, разложение вектора по двойственному базису
- Линейное напряжение и фазный ток это проекции на двойственные оси
- Производная по координате направлена по двойственному базису и перпендикулярна оси данной координаты
- Производная по времени от вектора с постоянной длиной перпендикулярна самому вектору

Фонд оценочных средств

- Первая производная в точке касания окружности с центром в точке из которой проведен перпендикуляр к оси совпадает с этой осью, а вторая производная в точке касания совпадает с перпендикуляром к этой оси.
- Входные координаты преобразования Кларка являются ковариантными координатами (перпендикулярными проекциями вектора тока на оси фаз)
- Входные координаты обратного преобразования Кларка являются контравариантными координатами (координатами разложения вектора по правилу параллелограмма).
- Преобразование ковариантных координат в контравариантные и обратно.
- Состояния ключей трехфазного инвертора и потенциал в каждой из фаз.
- Векторная диаграмма тока и напряжений трехфазных двух электрических машин, соединенных дросселем.
- Активная мощность и её связь со скалярным произведением тока и напряжения
- Мощность трехфазной электрической машины и связь мощности со скалярным произведением двойственных координат тока и напряжения.

Фонд оценочных средств

- Компилятор toolchain.
- Организация памяти микроконтроллера.
- Реализация ШИМ средствами таймера.
- Принцип работы аналого-цифрового преобразователя и его настройка.
- GPIO и его настройка.
- Передача входных параметров в блоке MexBIOS
- Выходные параметры в блоке MexBIOS
- Квант времени в блоке MexBIOS
- Цифровой фильтр для выделения частоты

Для кейса должен быть достигнут результат управления с помощью инвертора электрической машиной:

- Асинхронный, синхронный двигатель должны вращаться в указанном направлении и выдавать указанную мощность
- Активная мощность для заряда или разряда батареи должна течь в указанном направлении и выдавать указанную мощность
- Реактивная мощность в СТАТКОМ должна течь в указанном направлении и выдавать указанную реактивную мощность

Фонд оценочных средств

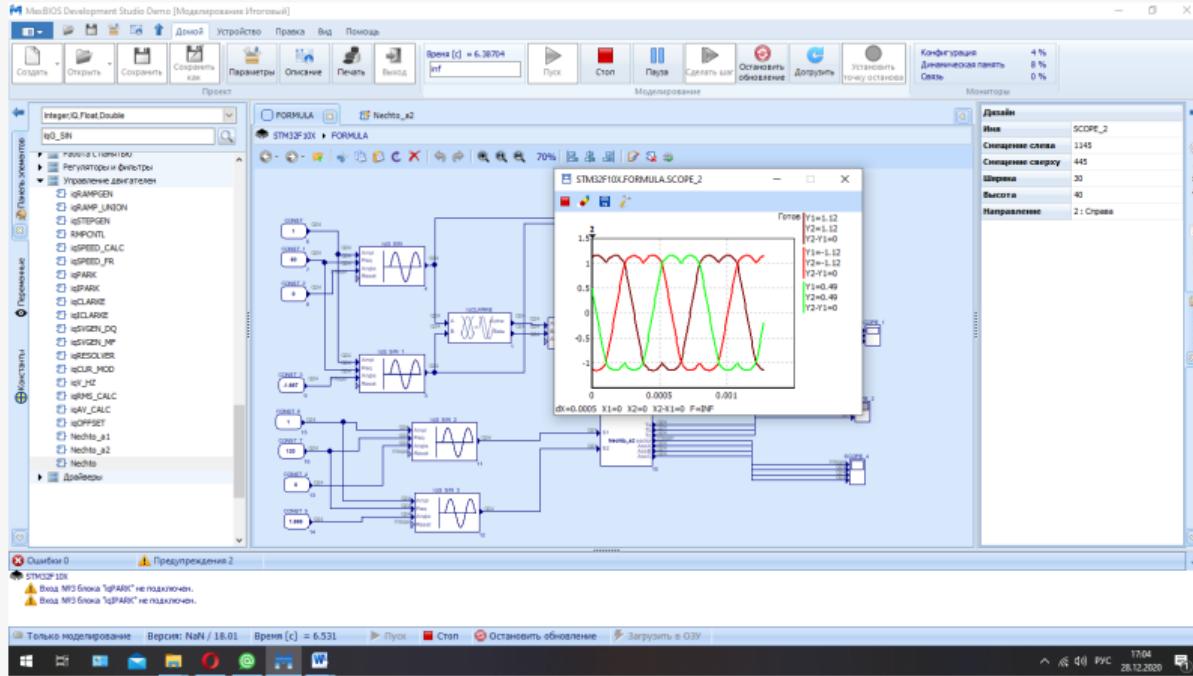


Рис.: проверка алгоритма с использованием ковариантных и контравариантных координат для управления двигателем в среде MexBIOS

Фонд оценочных средств

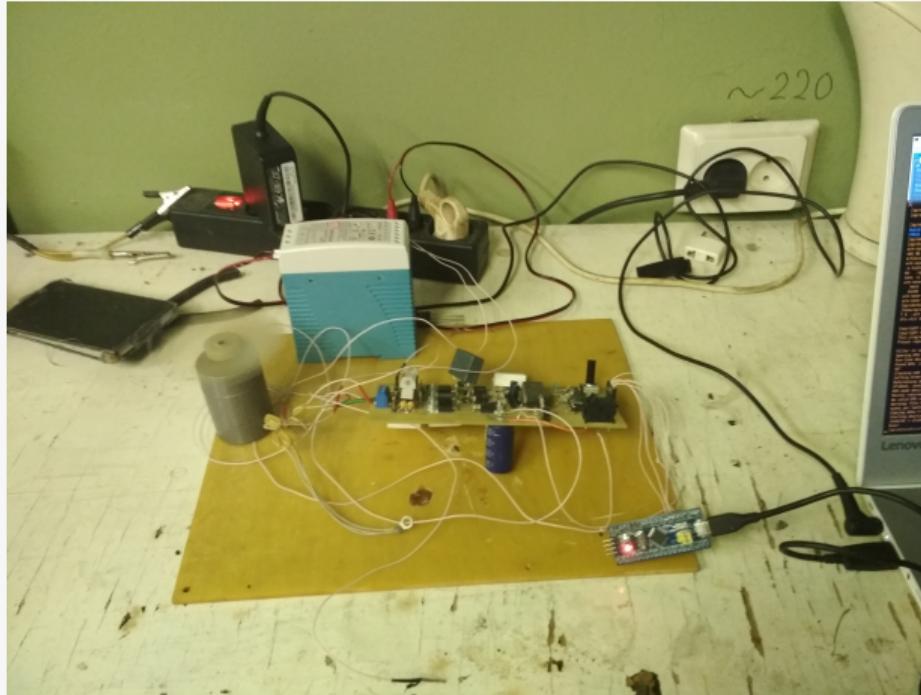


Рис.: результат работы программы на stm32f103c8t6 для кейса №1

Фонд оценочных средств



Рис.: фазный ток и линейное напряжение на выходе инвертора

Перечень основной учебной литературы

- Прокшин А.Н. и др. Измерение тока и напряжения в косоугольных координатах в трехфазной обобщенной электрической машине XXIV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2021)
- Прокшин А.Н. и др. Создание и апробирование лабораторных работ по дисциплинам «микроконтроллеры» и «цифровая и микропроцессорная техника в управлении» Сборник докладов 72 научно-технической конференции ППС, 2019г, с. 134-138
- Прокшин А.Н. и др. Создание лабораторных работ по дисциплине «Цифровая и микропроцессорная техника в управлении» с использованием российского программного обеспечения «MexBIOS Development Studio 6.21»
- Прокшин А.Н. и др. О системах координат для математического описания систем управления электропривода Сборник докладов 71-й научно-технической конференции ППС, СПб, 2018, с.172-175

Перечень основной учебной литературы

- Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: Учебник для студ. высш.учеб.заведений. – М. «Академия», 2007 - 272 с.
- Ю.Н. Калачев SimInTech: моделирование в электроприводе – М.изд. ДМК, 2019 – 95 с.
- С.Г.Герман-Галкин и др. Модельное проектирование электромеханических мехатронных модулей движения в среде SimInTech – М.изд. ДМК, 2020 – 494 с.

Перечень дополнительной литературы

- А.А.Горев Переходные процессы синхронной машины – М.,Л., Гос. энергетическое изд., 1950. – 551 с.
- Программа для векторной широтно-импульсной модуляции для системы управления трехфазной электрической машиной с использованием ковариантных и контравариантных координат изображающего вектора . Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ
- Программа для системы управления трехфазной электрической машиной с векторной широтно-импульсной модуляцией. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020662398 от 13 октября 2020
- Веб интерфейс к ngspice (NG-Spice web interface). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

Перечень интернет-ресурсов, необходимых для освоения дисциплины

- overleaf или sharelatex
- github, gitlab, bitbucket
- MexBIOS
- SimInTech
- песочница C
- easyEDA