

ставлении полной схемы замещения ТАДМР, а также в математических моделях инерционных накопителей энергии.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Дмитриев В. Н., Лебедев В.В. Оптимизация электромеханического инерционного накопителя энергии. Научно-производственный журнал «Научно-технический калейдоскоп», Серия «Электро и теплоэнергетика».- Ульяновск, 2002, с.36 - 40.
2. Соколов Н.И., Киркин Б.И. Определение частотных характеристик синхронных машин. // Электричество, 1962, № 1, с. 29-35.
3. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408 с.

Научный руководитель; В.Н. Дмитриев, д-р техн. наук, профессор Ульяновского государственного технического университета.

ЗАПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДПУ-87, ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Н.В. Гусев, А.В. Киселев
Томский политехнический университет

Среди проблем, которые возникают перед пользователем среды разработки встроенных систем управления, одной из самых распространенных является осуществление регулируемого пуска двигателя средствами MexBIOS Development Studio. Подробно рассмотрим поэтапный процесс пуска коллекторного двигателя постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов ДПУ-87 с учебно-отладочным комплектом МСВ-04 «Тип К» производства НПФ «Mechatronica-PRO», двигателем ДПУ-87 [4], цифровым инкрементальным энкодером, мультиметром и программным обеспечением [1,2].

Формализованная постановка задачи. Необходимо произвести запуск двигателя имеющимися программно-аппаратными средствами с применением двухконтурной системы регулирования по току и скорости». Для упрощения решения данной задачи и ознакомления пользователя с процессом пуска целесообразно разбить решение на несколько базовых этапов.

Подключение двигателя и нерегулируемый пуск

Перед подключением двигателя к МСВ-04 необходимо тщательно ознакомиться с документацией, входящий в состав комплекта,

и сопоставить эту информацию с номинальными параметрами подключаемого двигателя в целях соотнесения возможности его подключения без разработки дополнительных драйверов и/или замены имеющегося преобразователя.

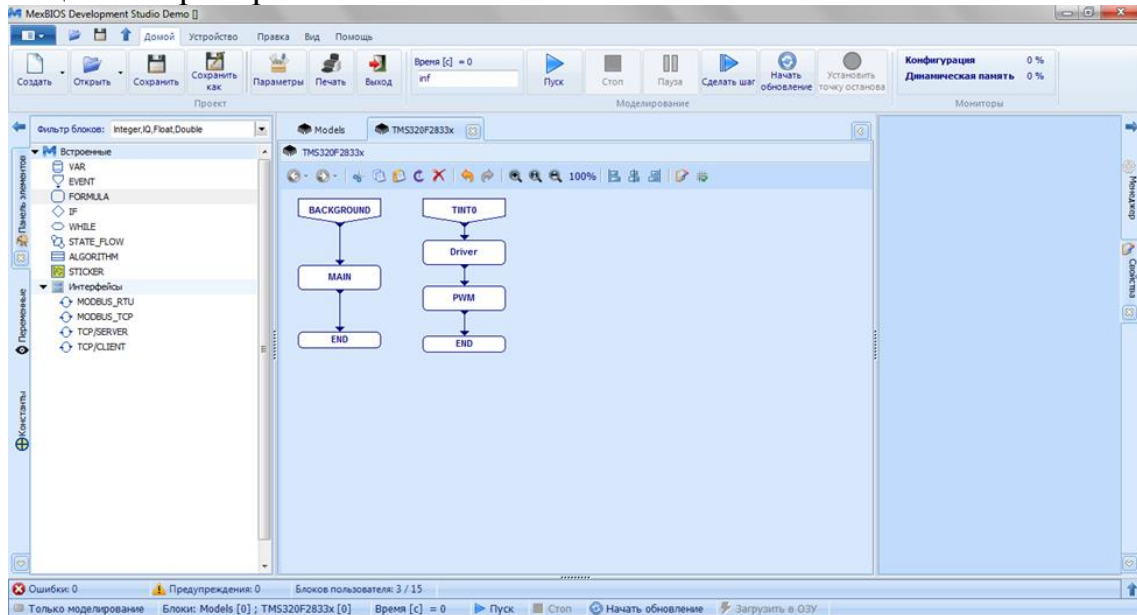


Рис. 1. Основное окно программы

Преобразователь, входящий в состав МСВ-04, обеспечивает напряжение питания 24В при максимально-допустимом токе 3А. Подключение двигателя постоянного тока осуществляется между клеммами «U» «V» на силовой плате преобразователя соединительными проводами.

После физического подключения двигателя к преобразователю можно приступать к настройке программной части, реализующей нерегулируемый пуск. Для этого создается базовый проект в среде проектирования MexBIOS Development Studio. Блоки, представленные в основном окне программы, формируют основную структуру программы и содержат в себе необходимые функции [1, 3].

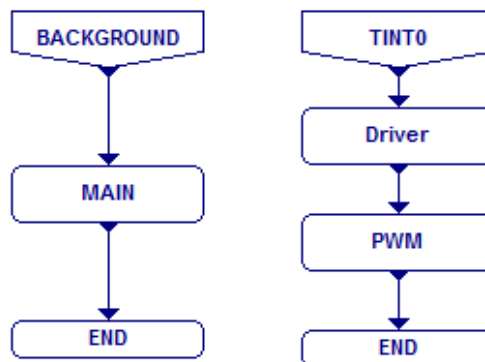


Рис. 1. Основные блоки программы

Параметры блоков программы соответствуют следующим значениям:

EVENT – *Источник*: 2: Аппаратное; *Вектор*: 26: TINT0; *Период*: 0.0002; *Режим моделирования*: 2: Непрерывное.

FORMULA – *Имя*: Driver

FORMULA – *Имя*: PWM

Для реализации нерегулируемого пуска блок Driver остается без наполнения, так как на данном этапе отсутствует необходимость в обратных связях, а значит и в обработке показаний датчиков. Основная работа на данном этапе лежит в блоке PWM.

Внутренняя структура на данном этапе имеет следующий вид [1, 3]:

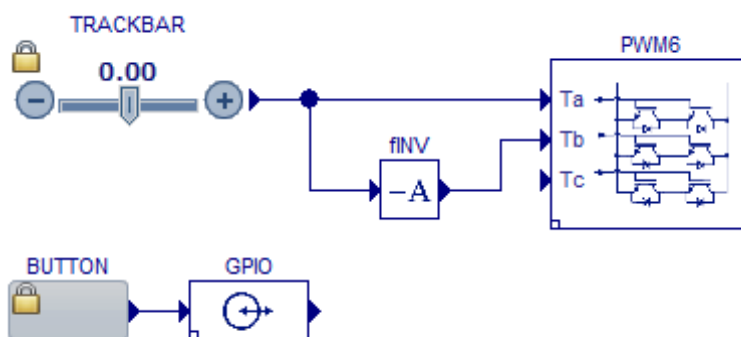


Рис. 2. Содержание блока PWM

Параметры блоков соответствуют следующим значениям:

- **TRACKBAR** – *Минимум*: -0,95; *Максимум*: 0,95; *Шаг*: 0.05; *Формат*: 31: Float; *Value*: 0.2.

Данные параметры обеспечивают возможность безопасно задавать скорость в двух направлениях, регулируя скважность ШИМ. Начальное значение Value (равное 0,2) позволит запустить двигатель на минимальной скорости.

- **PWM6** – *SysClk*: 150; *Id*: 0: EPWM1-3/GPIO0-5; *Frequency*: 5000; *DeadTime*: 3; *Polarity*: 0; *SocPulse*: 0: Нет.

Настройка блока ШИМ позволит управлять ключами, соединенными с выводами GPIO 0-5 с частотой, равной частоте аппаратного прерывания (период блока Event $1/0,0002 = 5000$ Гц).

- **GPIO** – *Type*: 1: Output; *Pin*: 31: GPIO31; *Value*: 0.

Блок GPIO с указанными выше настройками позволяет управлять включением и отключением ШИМ (Разрешение ШИМ). Следует отметить, что данный блок работает на обратной логике, т.е. 1 на входе соответствует состоянию Выкл., а 0 – Вкл.

- **Button** – Группа: 1; Значение «Отпущено»: 1; Значение «Нажато»: 0; Формат: 0: Integer; Value: 1.

Кнопки группы 1 работают аналогично кнопкам с фиксацией или самошунтированием, формат данных на выходе должен строго соответствовать формату данных на входе подключенного блока, иначе возникнет конфликт данных, и блоки будут некорректно работать. Начальное значение 1 соответствует отпущенному состоянию и говорит о том, что ШИМ в данный момент запрещена.

Загрузив в ОЗУ данный проект и начав обновление, пользователь может, используя имеющиеся органы управления, вручную управлять скоростью и направлением вращения двигателя. Для этого необходимо однократно нажать на кнопку (на плате должен зажечься зеленый светодиодный индикатор разрешения ШИМ), а затем, используя Trackbar установить желаемую

Подключение и настройка обратных связей

Для того чтобы обеспечить работу регуляторов необходимо настроить работу обратных связей под которыми понимаются показания датчика скорости, выполненного в виде цифрового энкодера, прикрепленного к валу двигателя, и показания датчика тока с одного из каналов АЦП.

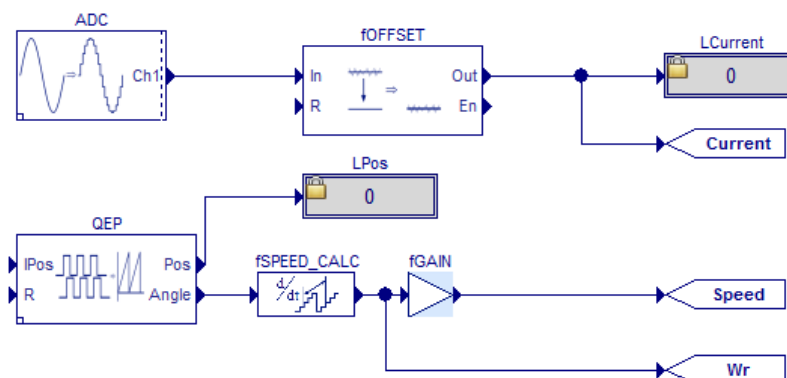


Рис. 3. Внутренняя структура блока Driver

- **ADC** – ChanCount: 1; Frequency: 7: 10714; Trigger: Continious; Chan1: 8: ADCINB0.

Подключаем один канал АЦП для измерения тока якоря двигателя, проводя измерения в фазе «V», которая подключена к каналу ADCINB0.

- **fOffset** – StartOffset: 0; TimeOfsCalc: 500; GainA: 1.

Данный блок автоматически, за указанное время, установит необходимое смещение АЦП. На данном этапе настройки обратной связи по току следует обратить внимание на то, что неизвестен

коэффициент масштабирования, который можно определить по следующей методике:

- Подключить в цепь якоря мультиметр для измерения тока якоря
- Запустить двигатель и в установившемся режиме зафиксировать некое среднее значение тока
- Используя показания метки LCurrent (Блок Label) определить масштабирующий коэффициент, разделив реальный ток на показания модуля АЦП и занеся полученное значение в качестве параметра GainA блока fOffset.

Для передачи информации о токе в другие узлы схемы устанавливаются соответствующие переходные метки TP_OUT, указав в поле *Тег* «уникальное имя» сигнала. Для удобства пользователя имена тегов можно продублировать в раздел *Имя* блока переходной метки.

- **QEP** – *Id*: 0; EQEP1/GPIO20-21; *PosMax*: 10000.

В зависимости от типа энкодера и места его подключения данные параметры могут изменяться. Данная настройка соответствует энкодеру, подключенному к разъемам XT6, XT7 со значением 10000 импульсов на 1 оборот. Определить данное значение можно загрузив проект в ОЗУ и, не запуская двигатель, вручную совершить 1 оборот энкодера, наблюдая за состоянием метки LPos (необходимо помнить о совпадении форматов).

- **fSpeed_Calc** – *SampleTime*: 0.0002; *BaseSpeed*: 650; *Period*: 10.

Блок расчета скорости на основании угла поворота ротора требователен к показаниям номинальной скорости, которая записывается в параметр *BaseSpeed*. Определить реальное значение скорости можно исходя из экспериментальных и номинальных данных двигателя. Для этого необходимо во время пробного пуска двигателя замерить напряжение, подаваемое на обмотку якоря, мультиметром. Определив ЭДС можно по известным параметрам двигателя определить его номинальную скорость. Если значения неизвестны, то данное значение подбирается экспериментально.

Блок **fGain**, установленный после блока расчета скорости, содержит масштабирующий коэффициент, равный номинальной скорости, определенной в предыдущем пункте и позволяет отображать скорость в об/мин.

Регулируемый пуск двигателя

Наибольшее распространение для решения такой задачи получила система управления электропривода, выполненная по принципу подчиненного регулирования координат.

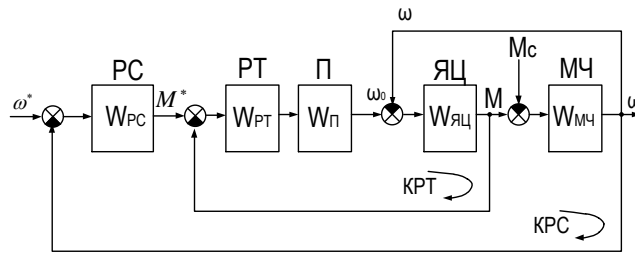


Рис. 4. Структурная схема системы управления электропривода

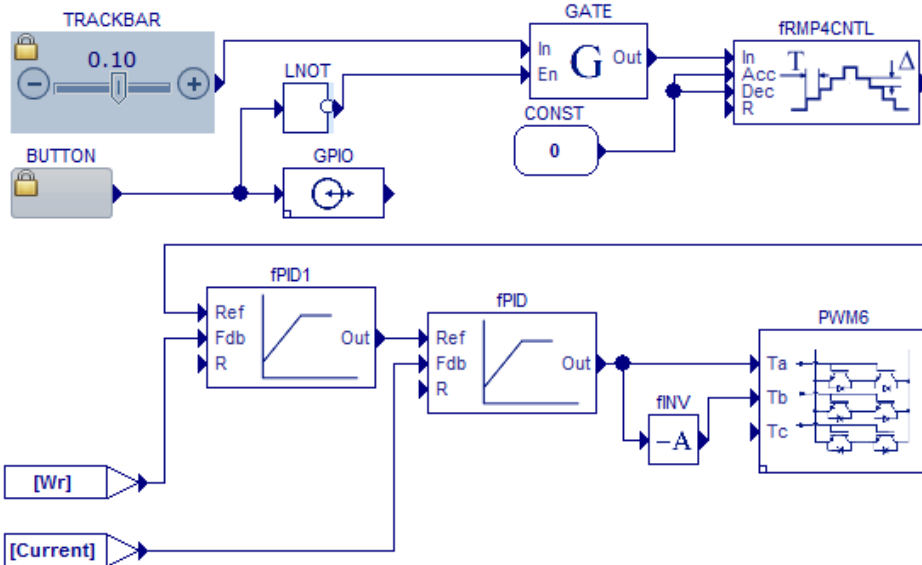


Рис. 5. Система управления в блоке PWM

Для реализации двухконтурной системы подчиненного регулирования модифицируем структуру блока PWM, добавив в нее задатчик интенсивности (блок **fRMP4CNTL** с параметрами *DelayMax* 90 при **CONST** = 0.1) ПИД регуляторы **fPID1** (контур скорости) и **fPID** (контур тока).

Настройка контуров тока и скорости производится методом последовательной коррекции. В общем случае методика настройки контуров подразумевает расчетную и практическую части. Расчетная часть выполняется по известным методикам. Практическая часть нужна для коррекции полученных расчетных значений, но если параметры двигателя неопределенны или их определение затруднено, то в некоторых случаях можно определить коэффициенты регуляторов эмпирическими методами оптимальной настройки ПИД-регуляторов, либо полностью экспериментальным методом согласно приведенному ниже алгоритму и правилам ручной настройки ПИД-регуляторов [5]:

Ручная настройка ПИД-регулятора:

- увеличение пропорционального коэффициента увеличивает быстродействие и снижает запас устойчивости;

- с уменьшением интегральной составляющей ошибка регулирования с течением времени уменьшается быстрее;
- уменьшение постоянной интегрирования уменьшает запас устойчивости;
- увеличение дифференциальной составляющей увеличивает запас устойчивости и быстродействие.

Алгоритм ручной настройки:

1. Первичная настройка производится для первого контура системы управления, для этого необходимо отключить контур скорости и подавать задание напрямую на регулятор тока.
2. Подключив к контуру тока, в качестве основного сигнала задания на вход *Ref*, блок IN добавим его в наблюдаемые переменные для задания тока якоря электродвигателя.
3. Для оперативной настройки рекомендуется добавить блок ПИД-регулятора в раздел наблюдаемых переменных и производить подбор параметров на ходу, для обеспечения безопасной настройки следует установить предельное значение на выходе регулятора в пределах $\pm 20 \dots 50\%$ от номинальной величины, такая настройка позволит избежать опасных эффектов возникающих при неверной настройке регуляторов.
4. Загрузив данный проект в ОЗУ, и начав обновление, подбираем такой пропорциональный коэффициент ПИД-регулятора, чтобы обеспечивалось достаточное быстродействие системы (для этого необходимо, чтобы реверс скорости двигателя происходил мгновенно) с сохранением устойчивости.
5. После настройки П-составляющей регулятора, необходимо настроить И-составляющую регулятора, подбирая ее таким образом, чтобы достичь оптимальной точности достижения задания.
6. После настройки И-составляющей ПИД-регулятора, настраивается его Д-составляющая, путем увеличения ее до достижения оптимальной длительности переходного процесса.
7. После настройки контура тока, необходимо заново собрать исходную схему системы и повторить данный алгоритм для настройки контура скорости.

Табл. 1. Коэффициенты ПИД-регулятора после настройки (двигатель ДПУ-87)

	K_p	K_i	K_c	k_d	min	max
Контур тока	0.32	0.0009	0.001	0	-1	1
Контур скорости	8	0.0003	0.0002	0,001	-0,95	0,95

Графики работы двигателя на стенде представлены на рисунках 7 и 8.

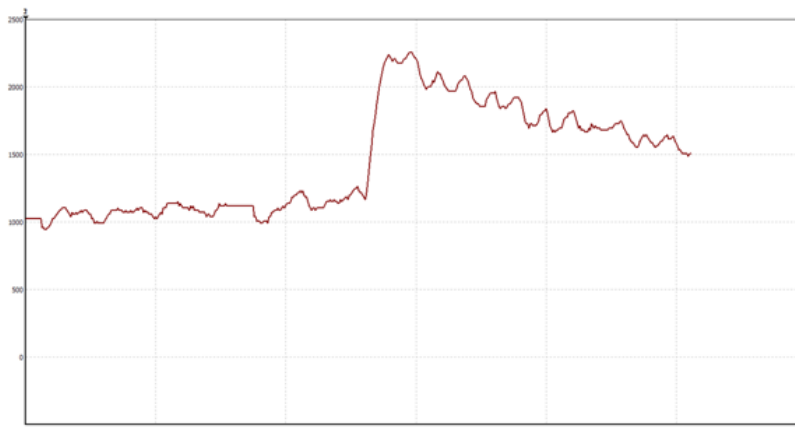


Рис. 6. Ток фазы «V», мА

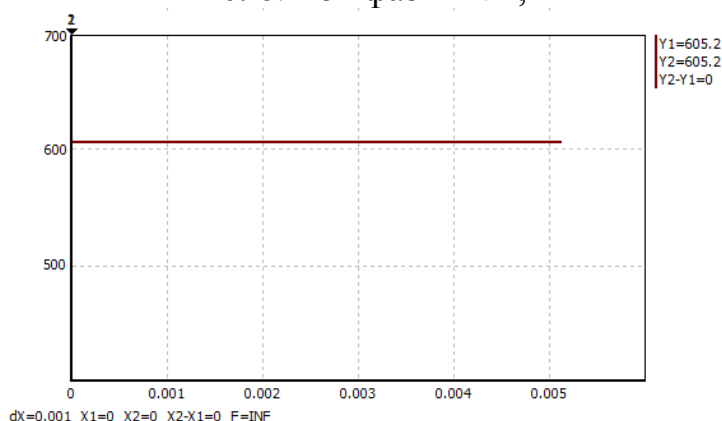


Рис. 7. Частота вращения вала двигателя, об/мин

В результате проведенных экспериментов двигатель показал свою работоспособность в среде MexBIOS DS. Алгоритмы настройки, приведенные в данной статье, показали свою пригодность для настройки экспериментальных приводов. При этом, проведя анализ сделанных операций в процессе настройки, представляется возможным реализация автоматического подбора коэффициентов, руководствуясь теми же правилами что и в ручном режиме.

ЛИТЕРАТУРА:

1. MexBIOS Development Studio [Электронный ресурс] // URL: <http://mechatronica-pro.com/ru/catalog/software/mexbiosdevelopmentstudio/35>.
2. Учебно-отладочный комплект МСВ-04 «Тип К» [Электронный ресурс] // URL: <http://mechatronica-pro.com/ru/catalog/education-equipment/49>

3. Mechatronica-Pro [Электронный ресурс] // URL: <http://mechatronica-pro.com/ru>
4. АО "Томский электротехнический завод" [Электронный ресурс] // URL: <http://tetz.ru/>
5. ПИД-регуляторы, ручная настройка [Электронный ресурс] // URL: http://www.bookasutp.ru/Chapter5_5.aspx

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ FEMM ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАМАГНИЧИВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВЕНТИЛЬНОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Р.И. Прошутинский

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Одним из важнейших этапов проектирования электромеханических преобразователей (ЭМП) вентильных тяговых двигателей (ВТД) является расчет магнитной цепи с построением характеристики намагничивания. В настоящее время имеется возможность применять на этом этапе программы моделирования магнитных полей.

Свободно распространяемая программа FEMM версии 4.2 [1] позволяет решать двумерные задачи магнитного поля постоянных и переменных токов, электростатические и тепловые задачи методом конечных элементов. В программу встроен скриптовый язык Lua 4.0, дающий возможность автоматизировать процесс построения геометрии модели, проведения расчета или серии расчетов. Кроме того, имеется возможность обеспечить взаимодействие с другим ПО через интерфейс ActiveX, а для совместной работы с программами MATLAB, Octave, Scilab, Mathematica существуют специальные пакеты связи (OctaveFEMM, SciFEMM, MathFEMM). Основы работы в программе изложены в [2], а примеры ее применения для расчета электрических машин – в [3],[4].

Программа имеет два режима работы – препроцессор и постпроцессор. В первом режиме задаются геометрия модели и исходные данные для решения задачи, во втором – отображаются результаты расчета. Геометрия модели может быть построена непосредственно в программе (вручную, посредством скрипт-файла на языке Lua либо с помощью связанных с FEMM сторонних программ) или импортирована из файла .dxf.