

УДК 531.383-1:537.2

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫМ ИНДУКТОРНО-РЕАКТИВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Ю. А. Голландцев,

канд. техн. наук, доцент

ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор» (Санкт-Петербург)

Рассматриваются особенности построения и реализации аппаратной и программной части микропроцессорной системы управления вентильным индукторно-реактивным двигателем.

Hardware and software design and implementation for the microprocessor control system for a switched reluctance motors are considered.

Введение

Вентильный индукторно-реактивный двигатель (ВИРД), получивший в англоязычной технической литературе наименование Switched Reluctance Motor (SRM); привлекает внимание разработчиков систем автоматического управления простым конструктивным исполнением – прямые зубцы на статоре, безобмоточный зубчатый ротор, число зубцов которого не равно числу зубцов статора, катушечные обмотки, обеспечивающие высокую технологичность конструкции двигателя. Конкурентоспособность ВИРД достигается за счет выбора повышенных электромагнитных нагрузок. Индукция в зазоре может составлять величину около 2 Тл, плотность тока в обмотке статора в режиме пуска имеет значения 10–30 А/мм². Простые схемы вентильных коммутаторов, принципиально не имеющие режима короткого замыкания источника питания, обеспечивают формирование однополярных дискретных напряжений на обмотке статора. Микропроцессорное формирование токов в фазах, имеющих несинусоидальный характер, позволяет получить желаемые характеристики привода, построенного на основе ВИРД [1, 2, 3].

Структурная схема микропроцессорного управления электромеханической системой приведена на рис. 1. Основу системы составляет четырехфазный вентильный индукторно-реактивный двигатель. Вентильный коммутатор построен по схеме асимметричного моста. Управление транзисторами осуществляется с помощью драйверов HCPL – 316 фирмы «Agilent Technologies». В позиционной следящей системе используется два датчика угла. Основной датчик угла ВТ–5, работающий в режиме фазовращателя, измеряет угол при неограниченном повороте ротора с точностью на уровне угловой минуты. Дополнительный оптический датчик угла работает в ограниченном диапазоне измерения (около 5°), позволяя в порядке повысить точность измерения угла в позиционной следящей системе до нескольких секунд.

Для формирования динамических характеристик системы используются датчики тока, измеряющие

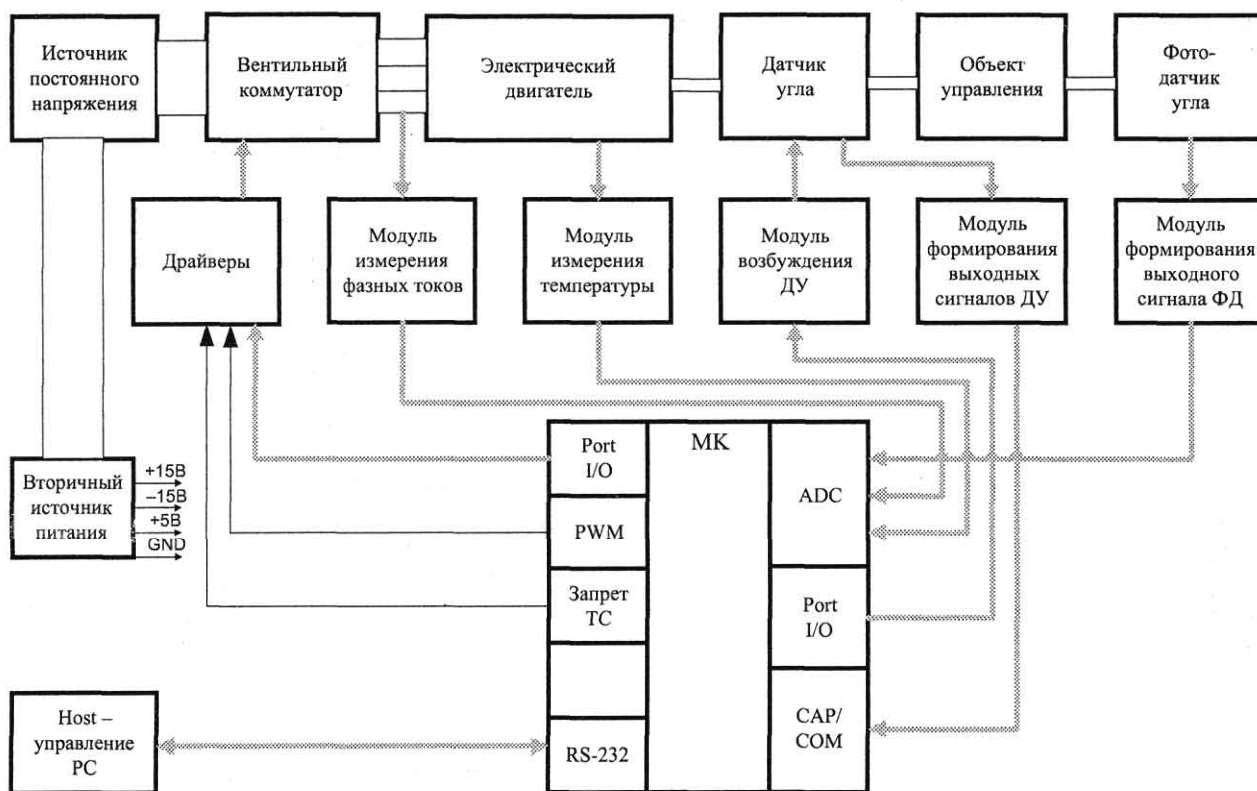
токи в фазах обмотки двигателя. Сумма токов, протекающих в фазах обмоток, является модулем тока статора. Контроль теплового состояния изоляции обмотки двигателя осуществляется датчиком AD22100 фирмы «Analog Devices».

Микропроцессорная система управления ВИРД реализована на микроконтроллере фирмы «SIEMENS» SABC-167, имеющем в своем составе достаточный набор программируемых периферийных модулей, а также средства программирования и отладки.

Программное обеспечение микропроцессорной системы управления ВИРД строится по модульному принципу [4]. За каждым модулем закреплено выполнение определенных управляющих или вычислительных функций. В состав программного обеспечения входят программный пакет Keil C-167, программа LabVIEW, объектная программа работы МПСУ ВИРД.

Программный пакет Keil C-167 содержит компилятор языка «С» для микроконтроллера C-167, текстовый редактор, отладчик, загрузчик. Для настройки и контроля режимов работы микропроцессорной системы управления ВИРД в режиме реального времени используется аппаратно-программный комплекс виртуальных приборов и инструментов LabVIEW фирмы «National Instruments». Программный продукт LabVIEW как средство прикладного программирования по своей логической структуре близок к конструкции языка «С». Однако для создания программ приема, обработки и представления данных используется графическое программирование в виде блок-схем, что соответствует объектно-ориентированному языку программирования.

Укрупненная структурная схема алгоритма работы МПСУ макета ВИРД приведена на рис. 2. Программа работы МПСУ макета ВИРД занимает в памяти 12 кбайт. Для программирования доступно 32 кбайт, при снятии ограничений на тип адресации – 65 кбайт. Частота синхронизации работы МПСУ макета ВИРД выбрана 2,44 кГц, период синхронизации – 0,41 мс. Время выполнения одного прохода по базовой части программы составляет 0,15 мс без учета затрат на



■ Рис. 1. Структурная схема системы управления ВИРД

выполнение позиционного регулятора, с учетом последнего – 0,32 мс.

После включения питания РС (ЭВМ) и МПСУ предоставляется возможность для составления объектной программы работы МПСУ ВИРД на языке высокого уровня «С». В рабочем режиме выбирается один из возможных режимов работы МПСУ ВИРД: непосредственное вращение ротора в заданном направлении, гармоническое колебание, позиционирование в фиксированном угловом положении. Позиционирование в точке возможно при использовании либо грубого датчика (ВТ-5), либо точного оптического датчика. Требуемые значения параметров формируются в блоке имитатора сигналов.

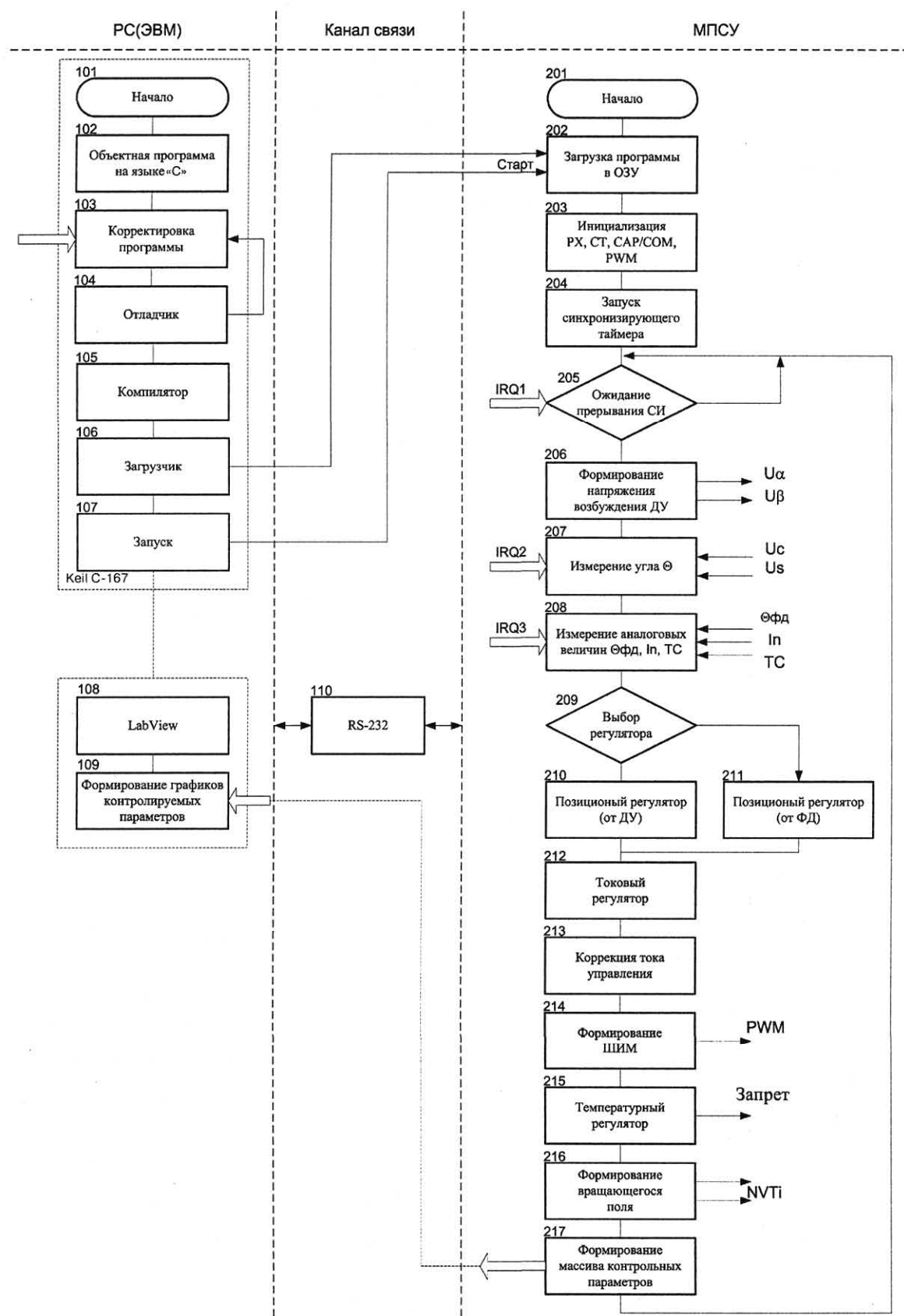
Далее последовательно выполняется корректировка, отладка и компиляция программы в машинные коды микроконтроллера С-167. С помощью подпрограммы «ЗАГРУЗЧИК» происходит запись скомпилированной объектной программы в ОЗУ микроконтроллера. Одновременно можно настроить работу программы LabVIEW, сформировать панель представления результатов, определить вид и масштабы контролируемых данных. Последовательность описанных действий выполняется в блоках 101–110, 201, 202 алгоритма работы МПСУ ВИРД.

После выдачи команды «ЗАПУСК» микропроцессорная программа переходит в исходный адрес программы, по которому начинается инициализация режимов работы программируемых периферийных модулей микроконтроллера. К последним относятся: интерфейс RS-232, CAP/COM (модуль захвата/сравнения) синхронизирующего таймера T0, CAP/COM таймера T1, Fast PWM (быстрый ШИМ), АЦП, настрой-

ка линий ввода/вывода на требуемый режим работы, описание переменных и присвоение им начальных значений (блок 203).

В блоке 204 осуществляется запуск синхронизирующего таймера T0, выставляются разрешения на все прерывания системы. Прерывание IRQ1 от T0 имеет самый высокий приоритет. Далее система переходит в режим ожидания. Ожидание прерывания синхронизирующего таймера реализовано с помощью бесконечного цикла, в теле цикла осуществляется только одна операция: выдача текущих значений по протоколу RS-232. С поступлением импульса синхронизирующего таймера начинает выполняться основной модуль программы, при этом выставляется запрет на прерывание от синхронизирующего таймера, чтобы не допустить преждевременного завершения основного тела программы.

Датчик угла ВТ-5 используется в режиме фазовращателя (резольвера), для реализации которого формируется двухфазное напряжение возбуждения частотой, равной $f_{дв} = f_s / 4$. Измерение текущего угла поворота ротора осуществляется в модуле CAP/COM. При поступлении на линию порта P2.14 переднего фронта сигнала с синусной обмотки ДУ блоком CAP/COM вырабатывается событие-прерывание CC14IE. Обработка косинусного сигнала ДУ происходит аналогичным образом. По прерыванию CC14IE запускается обработчик прерывания, в котором происходит определение фазового сдвига синусной и косинусной обмоток ДУ. Далее формируется текущий угол и вычисляется обратная разность по углу. Описанные действия выполняются в блоках 206 и 207.



■ Рис. 2. Алгоритм работы МПСУ ВИРД

В блоке 208 производится последовательное сканирование трех входов мультиплексора внутреннего АЦП, на которые подаются аналоговые сигналы: оптического датчика угла, датчика потребляемого тока и датчика температуры. Цифровые коды измеренных величин используются в соответствующих регуляторах.

В МПСУ ВИРД предусмотрено два режима позиционирования в зависимости от выбранного датчика обратной связи: грубого канала неограниченного угла поворота – от ВТ-5 и точного канала ограниченного углового поворота – от оптического датчика. Структура позиционных регуляторов реализована в виде цифрового рекурсивного фильтра. Регуляторы различаются между собой численными значениями коэффициентов и параметрами ограничений на изменение вычисленных управляющих значений. Модуль управляющего сигнала используется как уставка в токовом регуляторе. Признак знака управляющего сигнала поступает в блок формирования вращающегося поля двигателя и определяет порядок переключения транзисторов вентильного коммутатора. Структура и коэффициенты позиционного регулятора выбираются при начальном запуске программы. Указанные процедуры реализуются в блоках 209, 210 и 211.

В блоке 212 вычисляется управляющее воздействие токового регулятора, выполненного по структуре ПИ-регулятора. Коррекция вычисленного управляющего воздействия осуществляется в соответствии с предварительно подобранным аппроксимирующим выражением в блоке 213. Скорректированное значение записывается в счетчик модуля ШИМ, который работает в режиме перезапуска. Сформированный импульс регулируемой длительности поступает на вход разрешения вентильного коммутатора.

Температурный релейный регулятор вырабатывает сигнал запрета, который поступает на вход разрешения вентильного коммутатора.

В блоке 216 осуществляется формирование вращающегося поля. Вычисленные сигналы на открытие транзисторов, объединенные по «И» с сигналами PWM и ЗАПРЕТ, поступают на вход драйверов управления транзисторами вентильного коммутатора.

Формирование массива контролируемых параметров осуществляется в блоке 217. Считывание и передача текущих значений сформированных параметров происходит по последовательному интерфейсу RS-232 с частотой, определяемой РС.

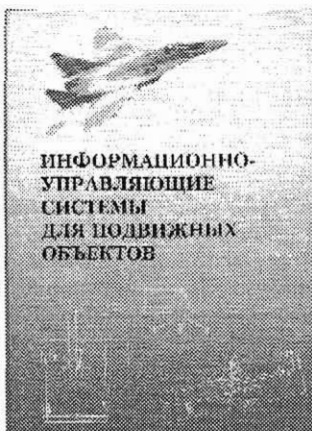
После выполнения основного модуля программы выдается разрешение на прерывание синхронизирующего таймера, и программа переходит в режим ожидания следующего синхроимпульса.

Работоспособность микропроцессорной системы управления и эффективность предложенных вычислительных алгоритмов подтверждают экспериментальные графики работы системы в режимах позиционирования и гармонических колебаний.

Литература

1. Miller J. E. Switched reluctance motors and their control. – Oxford: Magna physics publishing and Clarendon press, 1993. – 205 с.
2. Голландцев Ю. А., Гутнер И. Е. Вентильный индукторно-реактивный двигатель // Изв. вузов. Приборостроение. – 2002. – Т. 45. – № 8. – с. 12–18
3. Дискретный электропривод с шаговыми двигателями / Под общ. ред. М. Г. Чиликина. – М.: Энергия, 1971. – 428 с.
4. Козаченко В. Ф. Микроконтроллеры: Руководство по применению 16-разрядных микроконтроллеров INTEL MCS – 196/206 во встроенных системах управления. – М.: Изд. Эком, 1997. – 350 с.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ПОЛИТЕХНИКА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ



Информационно-управляющие системы для подвижных объектов. Семинары ASK Lab 2001 / Под общ. ред. М. Б. Сергеева. — СПб.: Политехника, 2002. — 234 с.: ил.

В книге представлены статьи, посвященные актуальным проблемам в области разработки информационно-управляющих систем для подвижных объектов, вопросам их надежности, алгоритмического и аппаратного обеспечения, защиты информационных каналов.

Книга ориентирована на научных и инженерно-технических работников, специалистов в области встраиваемых систем управления не только авиационных комплексов, но и наземных подвижных дистанционно управляемых объектов различного назначения.