СОВРЕМЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ СЕРВОПРИВОД МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В.Ф. Козаченко, Н.А. Обухов, А.А. Жарков, Д. Ткаченко, Д.Савкин
(г. Москва, ГОУВПО МЭИ(ТУ), каф. АЭП)

Аннотация. Рассматривается структура и функциональные возможности интеллектуальной системы управления 2-х и 3-х фазными шаговыми и вентильными двигателями на новейшей силовой и микропроцессорной элементной базе. Унифицированная система управления поддерживает разомкнутые и замкнутые структуры управления, формирование траектории движения с ограничением скорости и рывка, ввод и исполнение технологической программы пользователя.
Abstract. The aim of this article is to eliminate the structure and to make the functional overview of an intelligence motor control system, which operates one and two-phase step-motors, any AC and synchronous motors, using the up-to-date power and microprocessor elements. The unified motor control system guides open-loop systems as well as closed loop systems with several types of position sensors. It also can make the motion path with limiting speed and jerks, it also permits the input and implementation of user's engineering program.

1. Введение.

Ведущие мировые производители сервоприводов для шаговых и вентильных двигателей (Siemens, Mitsubishi, Hitachi, Omron, Anaheim Automation, MDrive, EvroDrive, AMD, Technosoft и т.д.) поставляют их в виде одно- и двух-координатных интеллектуальных модулей, называемых осями электропривода. Задача автоматизации объекта, например, сборочной линии, решается установкой нужного числа осей, объединенных стандартной промышленной шиной, - MODBUS, CANopen и др. Каждая ось имеет в своем составе микропроцессорный контроллер, обеспечивающий прямое цифровое управление силовой электроникой (инвертором), а также прямой интерфейс с датчиками обратной связи. Большинство вентильных двигателей, используемых в сервоприводах, комплектуется встроенными в двигатель датчиками положения (оптическими «квадратурными» или на элементах Холла). Поддерживается несколько структур управления, от простейшей разомкнутой с приемом команд в унитарном коде, - до замкнутой с векторным управлением скоростью и моментом. В последнем случае задание на перемещение отрабатывается с использованием встроенного в контроллер генератора траектории.

Блок управления снабжается некоторым количеством дополнительных дискретных входов/выходов для приема сигналов с датчиков конечного положения, технологических датчиков и управления вспомогательными устройствами. Предлагается также дополнительный сервис – возможность ввода в ОЗУ системы управления технологической программы на специализированном языке и ее отработки в автоматическом режиме. Обеспечиваются все условия для создания автономно работающих «островков автоматизации», например, узлов конвейерной или сборочной линии, где в полной мере реализуется концепция распределенного управления. При этом связи между отдельными узлами могут быть «слабыми», а в качестве системы верхнего уровня управления не требуется применение высокопроизводительного компьютера, работающего в реальном времени.

К сожалению, отечественная электротехническая промышленность не выпускает аналогичного комплектного оборудования. Большей частью производятся «голые» исполнительные двигатели и задача сопряжения с датчиками и разработки блока

управления ложится на конечного пользователя. Уже давно назрела задача создания отечественного интеллектуального сервопривода малой мощности с развитыми функциями управления и современными интерфейсами. Она особенно актуальна в рамках современной стратегии развития России, связанной с внедрением в производство передовых технологий, импортозамещением, энерго- и ресурсо-сбережением, развитием средств комплексной автоматизации производства.

В докладе описывается опыт разработки отечественного интеллектуального сервопривода малой мощности (до 0,5 кВт), не уступающего по своим функциональным возможностям западным разработкам.

2. Применение интеллектуальных силовых модулей нового поколения и специализированных высокопроизводительных микроконтроллеров

Важнейшей тенденцией развития современной силовой электроники является создание унифицированных интеллектуальных модулей с интеграцией в одном устройстве силовых ключей, драйверов, схем защиты и средств сопряжения с управляющими микроконтроллерами. Ранее для напряжений питания до 60 В, характерных в шаговом и вентильном электроприводе малой мощности (до 300 Вт), ведущие фирмы пытались разместить на одном кристалле стандартную многофазную силовую часть (например, на базе реверсивных мостовых схем) и достаточно сложную часть системы управления, аппаратно реализующую такие функции, как регулирование тока (с несущей частотой от нескольких кГц и выше), распределение импульсов, микрошаговое управление и др. Сейчас подход существенно изменился – силовая часть делается унифицированной, интеллектуальной, программно конфигурируемой через развитый интерфейс со специализированными микроконтроллерами, имеющими встроенные функции прямого цифрового управления силовыми ключами в режиме ШИМ и прямого цифрового сопряжения с датчиками положения. Это позволяет, с одной стороны, - программно перенастроить силовую часть для работы с двигателями различных типов и фазности, а с другой – снять ограничения на структуру собственно системы управления и ее функциональные возможности. Появляется реальная возможность создания интеллектуального привода нового поколения, адаптируемого к типу двигателя и прикладной задаче пользователя.

В современных силовых модулях на базе MOSFET-транзисторов достигнуты рекордные частоты переключения, - сотни килогерц и малые сопротивления проводимости R_{DSon}, - менее 0.3 Ом. Лидирующие позиции на рынке маломощных интеллектуальных драйверов имеет фирма Texas Instruments, которая смогла в своих силовых микросхемах **DRV8402** понизить сопротивление проводимости силовых ключей до 0.08 Ом и поднять частоту переключения до 500 кГц. Эти показатели достигнуты при номинальном токе 5 А и пиковом - 12 А. В состав силового модуля входят 4 независимых полумоста, допускающих как независимую работу, так и работу в составе 2-х фазных или 3-х фазных мостов, что обеспечивает подключение практически любого двигателя, начиная от коллекторной машины постоянного тока до 2-х или 3-х фазных вентильных двигателей со встроенными датчиками положения. Поддерживается параллельная работа нескольких стоек инвертора для увеличения токовой нагрузки.

Наличие встроенных защит силовых ключей от короткого замыкания, максимального и сквозного тока, от снижения напряжения питания, двух-уровневой температурной защиты делает силовую часть привода полностью самозащищенной. Информация обо всех видах аварий в силовом блоке выдается по цифровому интерфейсу. Уникальная функция аппаратной компенсации «мертвого времени»

обеспечивает линейную передаточную характеристику инвертора во всем диапазоне изменения скважностей ШИМ-сигналов управления ключами.

Таким образом, новая силовая элементная база максимально адаптирована для прямого подключения к специализированным микроконтроллерам типа Motor Control, имеющим унифицированные многоканальные ШИМ-генераторы. Так как процессоры типа Motor Control имеют прямой цифровой интерфейс с большинством датчиков положения ротора двигателя («квадратурными» оптическими, на элементах Холла и т.д.), а также высокую производительность, то исключительно на программном уровне решаются и все остальные задачи сервопривода: векторное управление моментом и скоростью машины; планирование и воспроизведение траектории движения. Именно такой подход выбран авторами при создании отечественного интеллектуального сервопривода малой мощности.

3. Структура и функциональные возможности интеллектуального сервопривода

На рис. 1 представлена структура разработанного в МЭИ в содружестве с «НПО ПМ Развитие» (г. Железногорск) сервопривода для управления широким классом двигателей малой мощности: 2-х и 3-х фазными шаговыми магнитоэлекрическими, индукторными и реактивными двигателями; вентильными двигателями со встроенными датчиками положения ротора (на элементах Холла или с «квадратурными выходами»). Блок обеспечивает также управление обычными коллекторными машинами постоянного тока и специализированными 6-и фазными двигателями с расщепленными обмотками. Он уже используется при испытаниях широкой номенклатуры новых двигателей, разрабатываемых для отечественной космической промышленности.

Блок состоит из 3-х модулей: контроллера, силового модуля, модуля расширения. Модуль контроллера конструктивно объединен в одну «материнскую плату» с модулем вторичных источников питания. К материнской плате подключена через соответствующие разъемы плата силового модуля и плата расширения.

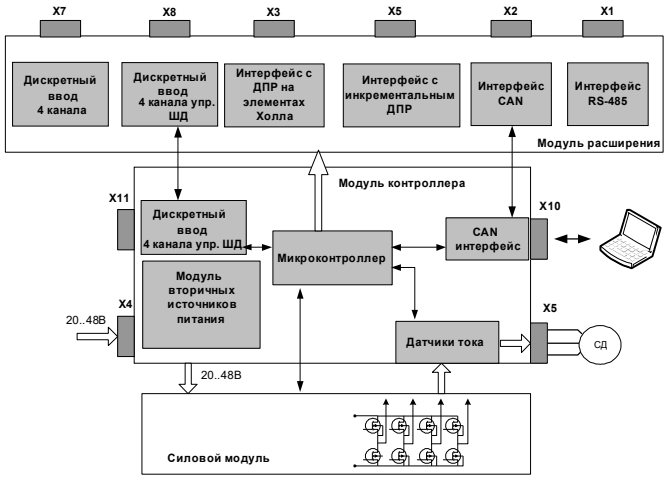


Рис. 1. Функциональная схема интеллектуального сервопривода

Модуль контроллера имеет вычислительное ядро с производительностью – до 150 млн. операций в секунду при работе в режиме с фиксированной точкой и до 300 млн. оп. сек. при параллельной работе модулей с фиксированной и плавающей точкой, что достигается применением в качестве центрального процессора мощного специализированного сигнального микроконтроллера типа Motor Control

TMS320F28335 фирмы TI с уникальным набором встроенных периферийных устройств. Микроконтроллер обеспечивает оптимальный интерфейс с силовыми ключами, поддерживая режимы синусоидальной векторной широтно-импульсной модуляции для мостовых инверторов, а также прямой цифровой интерфейс с датчиками положения, - импульсными и датчиками на элементах Холла. Высокая производительность процессора позволила реализовать полноценные системы векторного управления двигателями нескольких типов, а также генераторы траектории движения. Алгоритмическое и программное обеспечение блока содержит широкий набор функций управления разомкнутыми шаговыми электроприводами: многорежимные распределители импульсов с поддержкой одиночной, парной и несимметричной коммутации; модули микрошагового управления с возможностью дробления шага с коэффициентом дробления от 1 до 128.

Для связи с персональным компьютером могут использоваться 2 промышленных гальванически развязанных интерфейса связи: CAN-интерфейс с протоколом обмена верхнего уровня CANopen и RS-485 с протоколом обмена верхнего уровня MODBUS RTU. Поддерживается также интерфейс с датчиками положения ротора двигателя и дискретными входами/выходами, предназначенными для управления вспомогательной автоматикой. Имеется дополнительный стандартный канал управления шаговыми приводами от систем ЧПУ унитарным кодом.

Силовой модуль реализован на базе силовой микросхемы DRV8402 и содержит дополнительные схемы питания драйверов ключей инвертора.

Для создания качественных контуров тока в режимах прямого управления моментом вентильных двигателей и обеспечения высокого коэффициента дробления шага для шаговых двигателей использованы высокоточные бесконтактные датчики тока (точность 0.5 %) с максимальной частотой входного сигнала до 150 кГц.

Внешний вид блока управления серводвигателями со съемным защитным кожухом представлен на рис. 2.

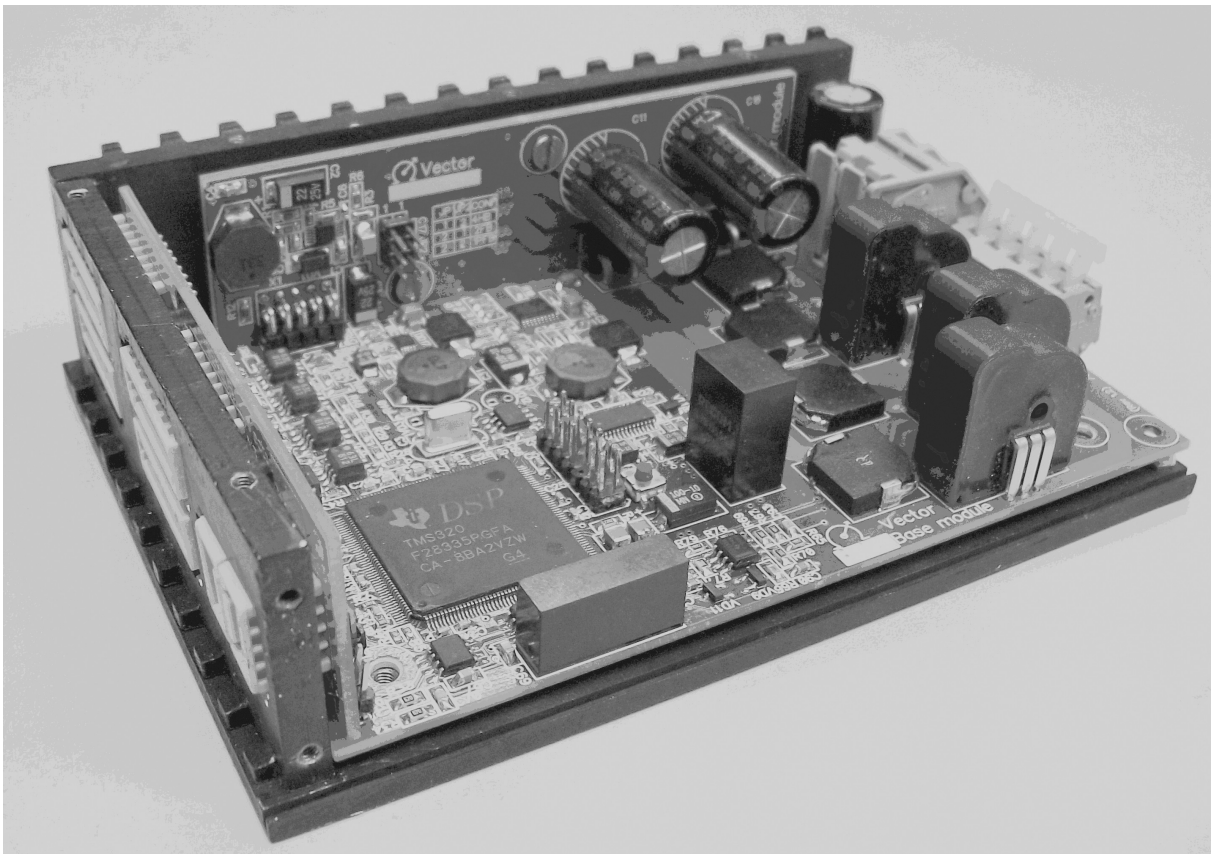


Рис. 2. Интеллектуальный модуль управления серводвигателями

Программное обеспечение блока управления имеет два уровня: нижний, уровень центрального процессора сервопривода и верхний, - уровень персонального компьютера, обеспечивающий параметрирование блока, управление в реальном времени и мониторинг динамических процессов в реальном времени.

На нижем уровне выполняется выбор типа исполнительного двигателя и одной из структур управления, реализуются алгоритмы векторного управления и формирования траектории позиционирования. Поддерживается автоматическое определение параметров машины для автонастройки контуров тока.

Верхний уровень реализован в виде программы «UniCON». Связь с компьютером возможна по 2-м каналам CAN или RS-495. Программа выполняет несколько функций: является визуальной оболочкой для удобной работы с блоком управления, содержит в себе функции создания технологических программ планировки перемещений и управления сопутствующей дискретной автоматикой. Взаимодействие компьютера и блока управления производится в реальном времени, что позволяет оперативно просматривать и модифицировать любой параметр/уставку системы управления, а также осциллографировать наблюдаемые переменные. Для удобства пользователя имеются функции посылки команд оперативного управления двигателем: запуск в выбранном режиме работы; остановка; смена режима работы «на лету» без предварительного переконфигурирования системы управления и др.

Функция подготовки технологических программ интегрирована в «UniCON». После написания программы она компилируется в виде исполнительного кода, загружается в ОЗУ контроллера, где и выполняется.

4. Пример использования

Разработанные сервопривода применены для создания автоматизированного тестового оборудования аттестации шаговых двигателей специального назначения.

Благодаря уникальному по своим характеристикам инвертору обеспечены диапазон регулирования момента не менее 100:1, точность поддержания задания скорости не хуже 0,0001%, диапазон регулирования величины шага 128:1. На осциллограмме рис. 3, полученной в среде «UniCON», показан опыт по определению статической ошибки воспроизведения заданного положения на нескольких полюсных делениях машины в режиме глубокого дробления шага (при частотно-токовом управлении).

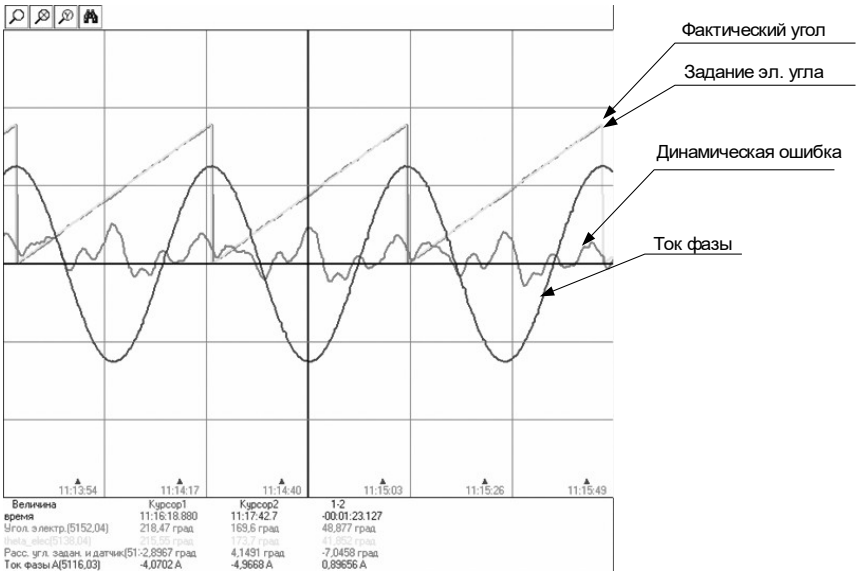


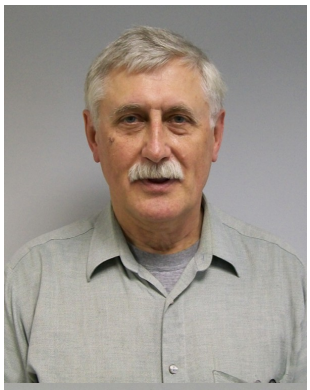
Рис. 3. Осциллограмма отработки приводом программно-заданного положения на сверх-низкой скорости для получения графика статической ошибки на полюсном делении машины (Масштаб переменных: программно заданный электрический угол и фактический угол: 200 эл.град./Кл, рассогласование (динамическая ошибка): 10 эл. град./Кл; фазный ток 4 А/Кл; ось времени: 23 с/Кл.)

4. Список литературы

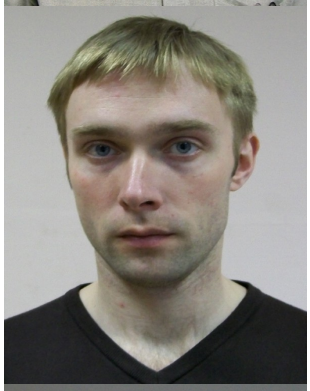
1. Новые возможности семейства специализированных микроконтроллеров TMS320F2833x. В. Козаченко. Новости Электроники 14, 2008
2. Texas Instruments. DRV8402 Dual Full Bridge PWM Motor Driver. SLES222–DECEMBER 2008.

Козаченко В.Ф., проф. каф. АЭП МЭИ, д.т.н., Генеральный директор «Научно-производственной фирмы ВЕКТОР». Область научных интересов – цифровые системы управления электроприводами, в том числе нетрадиционной конструкции.
KozachenkoVF@mpei.ru

Обухов Н.А., с.н.с. каф. АЭП МЭИ, к.т.н., Зам. ген. директора «Научно-производственной фирмы ВЕКТОР». Область научных интересов – дискретный электропривод.
n290746@hotbox.ru



Жарков А.А., ассистент каф. АЭП МЭИ, к.т.н., конструктор «Научно-производственной фирмы ВЕКТОР». Научные интересы – цифровые системы управления электроприводами.
zarckov@mail.ru



Ткаченко Д.В., студент каф. АЭП МЭИ
demozg@mail.ru

Савкин Д.И., аспирант каф. АЭП МЭИ
savkindmi@mpei.ru