

## **СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ДВИГАТЕЛЯМИ**

Данная работа посвящена созданию экспериментального стенда для изучения структур алгоритмов и систем управления электрическими двигателями.

В настоящее время для управления электродвигателем переменного тока наиболее широкое распространение получили силовые преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока и трехфазным инвертором. В общем случае структурная схема управления электроприводом состоит из следующих блоков: выпрямитель, инвертор, микроконтроллер, пульт управления, датчики и источник вторичного питания.

Основными тенденциями развития автоматизированного электропривода на сегодняшний день является снижение доли систем приводов с двигателями постоянного тока и увеличение доли систем приводов с двигателями переменного тока, усложнение структур управления приводами, высокая точность регулирования, повышение КПД электропривода. При этом напрямую с повышением КПД и улучшением силовой преобразовательной техники за счет усовершенствования алгоритмов управления связана проблема эффективного энергопользования.

Таким образом, разрабатываемый стенд должен соответствовать современным тенденциям развития электропривода и алгоритмов управления. На рисунке 1 представлена структурная схема стенда. Основными функциональными модулями, влияющими на качество управления электродвигателем, являются силовая часть инвертора и микроконтроллер.

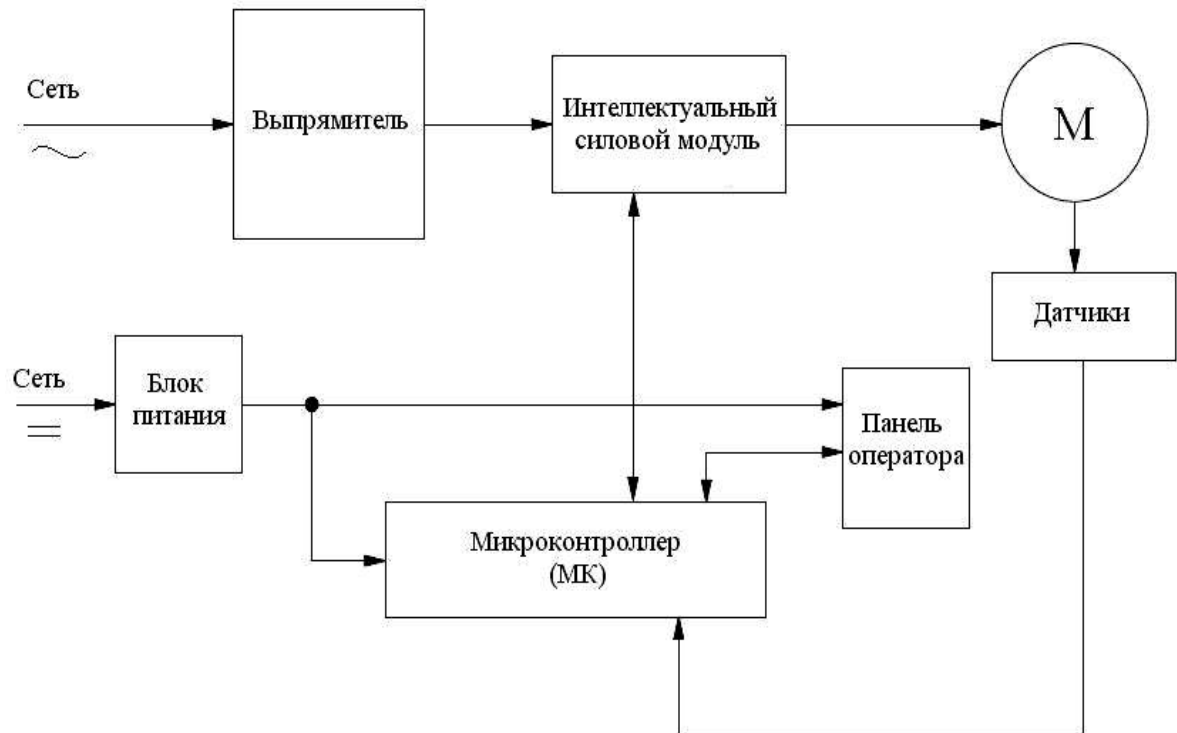


Рис. 1. Структурная схема стенда

Высокоточное регулирование скорости и улучшение показателей переходных процессов достигается при использовании векторных систем управления. Рассмотрим векторное управление электроприводом с асинхронным двигателем, для этого обратимся к математическому описанию асинхронного двигателя в пространственных векторах при ориентации оси вещественной вращающейся системы координат  $\alpha$ - $\beta$  по вектору  $\psi_2$  [3]:

$$i_{1\alpha} = \frac{1/R_1}{\sigma T_1 p} (U_{1\alpha} - R_1 i_{1\alpha} + \omega_{0\text{эл}} \sigma T_1 R_1 i_{1\beta} - k_2 p \psi_2);$$

$$i_{1\beta} = \frac{1/R_1}{\sigma T_1 p} (U_{1\beta} - R_1 i_{1\beta} + \omega_{0\text{эл}} \sigma T_1 R_1 i_{1\alpha} - k_2 \omega_{0\text{эл}} \psi_2);$$

$$\psi_2 = \frac{1}{T_2 p} (L_m i_{1\alpha} - \psi_2);$$

$$\omega_p = k_2 R_2 i_{1\beta} / \psi_2;$$

$$\omega_{0\text{эл}} = \omega_{p\Pi} + \omega_p;$$

$$M_{\text{д}} = \frac{3}{2} p_{\Pi} k_2 \psi_2 i_{1\beta};$$

$$p\omega = (M_d - M_c) / J,$$

где  $i_{1\alpha}$  и  $i_{1\beta}$  – составляющие тока статора;  $U_{1\alpha}$  и  $U_{1\beta}$  – составляющие напряжения статора;  $\sigma = 1 - L_m^2 / (L_1 L_2)$  – коэффициент рассеяния машины;  $k_2 = L_m / L_2$ ;  $T_1 = L_1 / R_1$ ;  $T_2 = L_2 / R_2$ ;  $\omega_p$  – частота роторной ЭДС;  $\omega_{0эл}$  – частота напряжения питания.

Остальные обозначения являются общепринятыми.

На основе этих формул построена структурная схема асинхронного двигателя (рис. 2), в которой все переменные представлены сигналами постоянного тока.

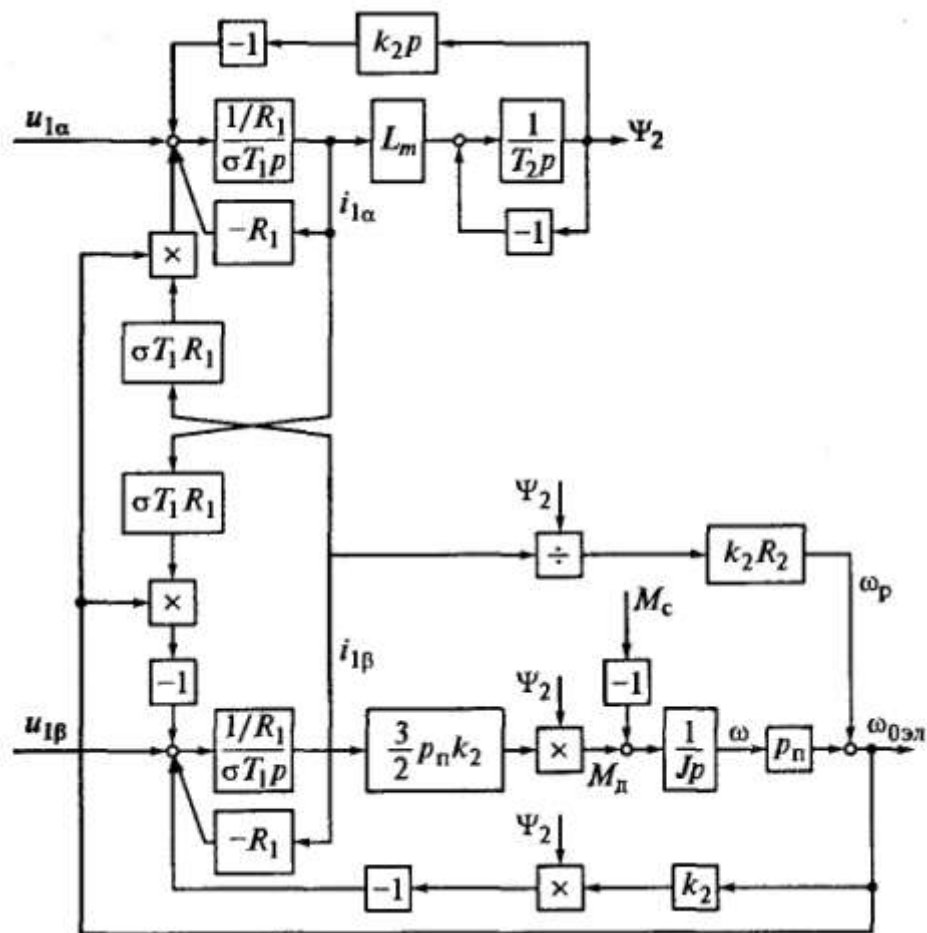


Рис.2 Структурная схема асинхронного электродвигателя при ориентации вращающейся системы координат по вектору потокосцепления ротора

Задающими сигналами являются проекции вектора статорного напряжения  $U_{1\alpha}$  и  $U_{1\beta}$ , а выходными величинами – потокосцепление ротора  $\psi_2$  и электромагнитный момент  $M_d$ . Частота роторной ЭДС  $\omega_r$  рассчитывается через проекцию на ось  $\beta$  тока статора и потокосцепление ротора. Через скорость двигателя  $\omega$  и роторную частоту  $\omega_r$  рассчитывается частота напряжения питания  $\omega_{0эл}$ . Скомпенсированные перекрестные связи между каналами формирования потокосцепления ротора и электромагнитного момента в структуре двигателя, позволяют независимо задать потокосцепление ротора сигналом по оси  $\alpha$  и электромагнитный момент сигналом по оси  $\beta$  (при данном значении потокосцепления ротора). Такая структура асинхронного двигателя, полученная на основе рассмотрения пространственных векторов, является практически такой же, как структура двигателя постоянного тока независимого возбуждения.

Динамические свойства электропривода с асинхронным двигателем при векторном регулировании улучшаются за счет того, что в переходных процессах имеется возможность поддерживать постоянство потокосцепления ротора. При этом стоит отметить, что электромагнитный момент изменяется также быстро, как и составляющая тока статора  $i_{1\beta}$ .

Рассмотренная структурная схема используется при построении алгоритмов управления.

В настоящее время в качестве силовой части инвертора широко применяются так называемые интеллектуальные силовые модули (*IPM*) на основе биполярных транзисторов с изолированным затвором (*IGBT*). Лидерами мирового рынка в сфере силовой электроники являются такие фирмы, как *International Rectifier*, *Semikron*, *Mitsubishi Electric*, *Infineon* и др. Для данного проекта был выбран интеллектуальный силовой модуль фирмы *Mitsubishi Electric PS12018-A*. Модуль представляет собой конструктивно законченное изделие, которое требует минимальное количество дополнительных элементов и состоит из семи силовых *IGBT* ключей с защитными обратными диодами. Предназначен для подключения к трехфазному двигателю. Также в корпусе реализована защита по току и напряжению и оптическая развязка, что облегчает разработку стенда и монтаж. Модуль позволяет использовать динамическое торможение. Рабочий диапазон температур модуля составляет  $-20\dots+100^\circ\text{C}$ .

Высококачественное регулирование электроприводов связано с использованием сложных алгоритмов цифрового управления в режиме реального времени, высокой точностью и скоростью обработки сигналов. Задача может усложниться при введении сопутствующих задач защиты, сигнализации или управления несколькими электродвигателями. Специально для решения задач связанных с электроприводом многие ведущие производители, такие как *Intel, Texas Instruments, Motorola, Analog Devices* и др. разработали специализированные серии микроконтроллеров под названием *Motor Control* или *Motion Control*. Однако при дальнейшем развитии микропроцессорной техники, стали использовать сигнальные процессоры (*DSP*), на кристалл которых интегрировали специализированную периферию *Motor Control*, что позволило сделать резкий скачок в производительности.

Рассмотрев предложения на рынке, был выбран 32-разрядный микроконтроллер серии *TMS320F28335 Delfino™ Floating-point Series* от компании *Texas Instruments*. Сверхвысокая производительность центрального процессора позволяет реализовать самые сложные системы управления и отказаться от принятой до последнего времени практики проектирования системы управления в относительных единицах в пользу физических единиц для расширения динамического диапазона представления переменных. Использование сопроцессора с плавающей точкой, работающего независимо от центрального процессора с фиксированной точкой, и имеющего собственную память команд и данных, а так же свою собственную систему команд, позволяет вести параллельные вычисления в формате с плавающей точкой наряду с процессором с фиксированной точкой. С учетом расширенных возможностей встроенных на кристалл процессора менеджера событий, модуля квадратурного декодирования, модуля прямого доступа в память, а также заметно возросшего объема памяти программ (до 256 Кбайт) и данных (до 34 Кбайт) практически полностью снимаются ограничения на сложность проектируемой системы управления для привода с двигателем любого типа. Аппаратные возможности контроллера полностью поддерживаются компилятором C/C++;

Структура микроконтроллера объединяет в себе 32-разрядное ЦПУ, атомарное АЛУ, встроенный модуль отладки *JTAG*, ОЗУ, flash-память, высокоскоростной АЦП, ШИМ-контроллер, устройства ввода вывода.

Для контроля работы системы информация с микроконтроллера поступает на панель оператора, производства фирмы *UniOP* (модель *MKDG-*

06). Информация для пользователя выводится на дисплей, позволяющий отображать 8 строк по 40 символов. Задающее воздействие производится с помощью клавиатуры, имеющей как буквенно-цифровые клавиши, так и 23 функциональные клавиши. Связь типа клиент-сервер осуществляется по интерфейсу RS-485.

На стенде можно проводить испытания электрических двигателей, максимальная мощность которых не превышает 3,5кВт. Учебный стенд, спроектированный с учетом современных разработок и тенденций в области регулируемого электропривода, позволит изучать возможности высокоточного векторного управления электромеханическими системами.

### *Литература*

1. Гук И. Новые цифровые сигнальные контроллеры с плавающей точкой TMS320F28335. – КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ. - № 5. 2008.

2. Козаченко В.Ф. Новые возможности семейства специализированных микроконтроллеров TMS320F2833x. – Новости электроники. №14(60). 2008. С. 7–15.

3. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г. Соколовский. – М.: Издательский центр «Академия». 2006.- 272 с.