

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА ЦОС *TORNADO-30* ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Александр Вейнгер, Александр Новаковский, Павел Тикоцкий

В статье описывается система управления синхронным электродвигателем мощностью 20 МВт, построенная на базе контроллера цифровой обработки сигналов ЦОС TORNADO-30.

Введение

В настоящее время во всем мире актуальна проблема повышения экономичности работы различных механизмов, например, насосных и вентиляторных агрегатов, а также улучшения их технических характеристик за счет внедрения частотно-регулируемых асинхронных и синхронных приводов. Силовая часть регулируемого привода включает в себя — в общем случае — регулируемый или нерегулируемый выпрямитель, сглаживающее звено постоянного тока, инвертор напряжения или тока, обеспечивающий работу асинхронного или синхронного электродвигателя с переменной скоростью.

Появление в России таких современных силовых полупроводниковых приборов, как запираемые тиристоры, высокочастотные IGBT-транзисторы и др., дает возможность отечественным специалистам эффективно решить актуальные задачи создания надежных регулируемых приводов. Современная микропроцессорная техника позволяет создать полностью цифровую систему управления приводом с использованием самых совершенных алгоритмов, комплексно решая вопросы диагностики работы силовой части и устройства управления, организации удобного интерфейса оператора и т. д.

В АО «Научно-исследовательский институт электроэнергетики» (ВНИИЭ) был разработан и внедрен частотно-регулируемый синхронный электропривод в составе тиристорного пускового устройства синхронного двигателя 20 МВт для Новолипецкого металлургического комбината с микропроцессорной системой управления векторного типа.

Силовая цепь электропривода представляет собой зависимый инвертор тока и состоит из двух одинаковых трехфазных мостовых управляемых тиристорных выпрямителей, включенных своими шинами постоянного тока встречно-параллельно через сглаживающий реактор. Трехфазный вход первого (собственно выпрямителя) через трансформатор подключен к питающей сети, а второго (инвертора) — к статорной обмотке двигателя. В качестве сигналов обратной связи системы управления измеряются фазные напряжения и токи на входе выпрямителя и выходе инвертора, а также напряжения и токи на входе возбуждателя, и напряжения на рабочих шинах.

Структурная схема алгоритма управления построена по многоконтурному принципу с настройкой каждого контура на модульный оптимум. Для формирования обратных связей по скорости и

угловому положению ротора, а также потокосцеплению двигателя используется оригинальный алгоритм, отдельные элементы которого применены и для синхронизации систем импульсно-фазового управления (СИФУ) выпрямителя и возбуждателя, а также измерения углового положения вектора напряжения рабочей системы шин. Так как тиристоры — приборы с неполной управляемостью, то коммутация вентилей инвертора осуществляется за счет реактивной мощности двигателя, что накладывает строгие ограничения на его электромагнитный режим и обуславливает специфическую структуру регулятора внутреннего контура. Для компенсации неидеальности характеристики выпрямителя в зоне прерывистых токов применена дополнительная быстродействующая обратная связь по выпрямленному току. СИФУ построены по вертикальному принципу, то есть основаны на сравнении пилообразного опорного сигнала с уставками. Работоспособность всех модулей алгоритма была предварительно проверена при помощи цифрового моделирования на ЭВМ.

Аппаратная реализация

Цифровая реализация системы управления регулируемого электропривода требует от вычислителя высокой

производительности, вследствие чего большинство приводов ведущих западных фирм выполнено на процессорах цифровой обработки сигналов (Digital Signal Processor, DSP). Следует отметить, что на рынке имеются специализированные микропроцессоры DSP, например ADMC200 фирмы Analog Devices, TMS320C(F)240 фирмы Texas Instruments, I80196MC фирмы Intel, имеющие в своем составе аппаратный широтно-импульсный модулятор (ШИМ) для формирования выходной трехфазной синусоидальной системы напряжений.

В настоящее время из-за финансовых трудностей не представляется возможным разработка для конкретного регулируемого электропривода оптимального по составу, функциональным и конструктивным требованиям специализированного микропроцессорного устройства, как это делают известные фирмы-производители электроприводов за рубежом. Поэтому в наших условиях единственным вариантом создания современной высокотехнологичной системы управления является применение доступных на отечественном рынке готовых микропроцессорных комплектов.

Одним из оптимальных решений является система на базе IBM PC совместимой промышленной ЭВМ с дополнительным DSP-процессором. При этом практически вся микроэлектронная часть системы управления, защиты и сигнализации регулируемого привода выполняется на базе готовых заводских модулей, стыкуемых между собой.

В данном случае для работы в качестве промышленной ЭВМ было выбрано оборудование фирмы Advantech, а в качестве основного вычислителя плата DSP TORNADO-30 фирмы «МикроЛАБ Системс» на базе сигнального процессора с плавающей запятой TMS320C30, снабженная комплектом навесных модулей ввода/вывода аналоговых и дискретных сигналов.

Структурная схема двухпроцессорного устройства управления регулируемым электроприводом представлена на рис. 1 и включает в себя:

- основной (host) процессор, который выполняет функции загрузки DSP-процессора, контроля, диагностики, технологической автоматики, сопряжения с технологическим пультом управления, терминалом и внешней ЭВМ;
- дополнительный быстродействующий процессор на базе сигнального процессора, который берет на себя все задачи, требующие большого объема вычислений с использовани-

ем операций умножения, деления и других нелинейных преобразований, характерных для векторных систем управления силовым преобразователем частоты регулируемого электропривода;

- устройства сопряжения с объектом, разделенные на несколько групп:
 - «медленные», предназначенные для сопряжения с внешней технологической автоматикой — ввод и вывод сигналов внешней автоматики и защиты привода,
 - «быстрые», обеспечивающие ввод в сигнальный процессор мгновенных значений токов и напряжений выпрямителя, инвертора и возбuditеля, а также вывод логических сигналов управления тиристорами преобразователя частоты,

- блок преобразования и нормализации аналоговых сигналов от датчиков тока и напряжения выпрямителя и инвертора;
- аппаратные защиты привода:
 - аппаратные защиты в составе блока преобразования и нормализации аналоговых сигналов, воздействующие на отключение входного выключателя и инициирующие последовательность действий для работы микропроцессорного устройства в аварийных режимах,
 - сторожевой таймер (watchdog), воздействующий на отключение входного выключателя при отказе микропроцессорного устройства управления, в том числе и по причине сбоев программного обеспечения;

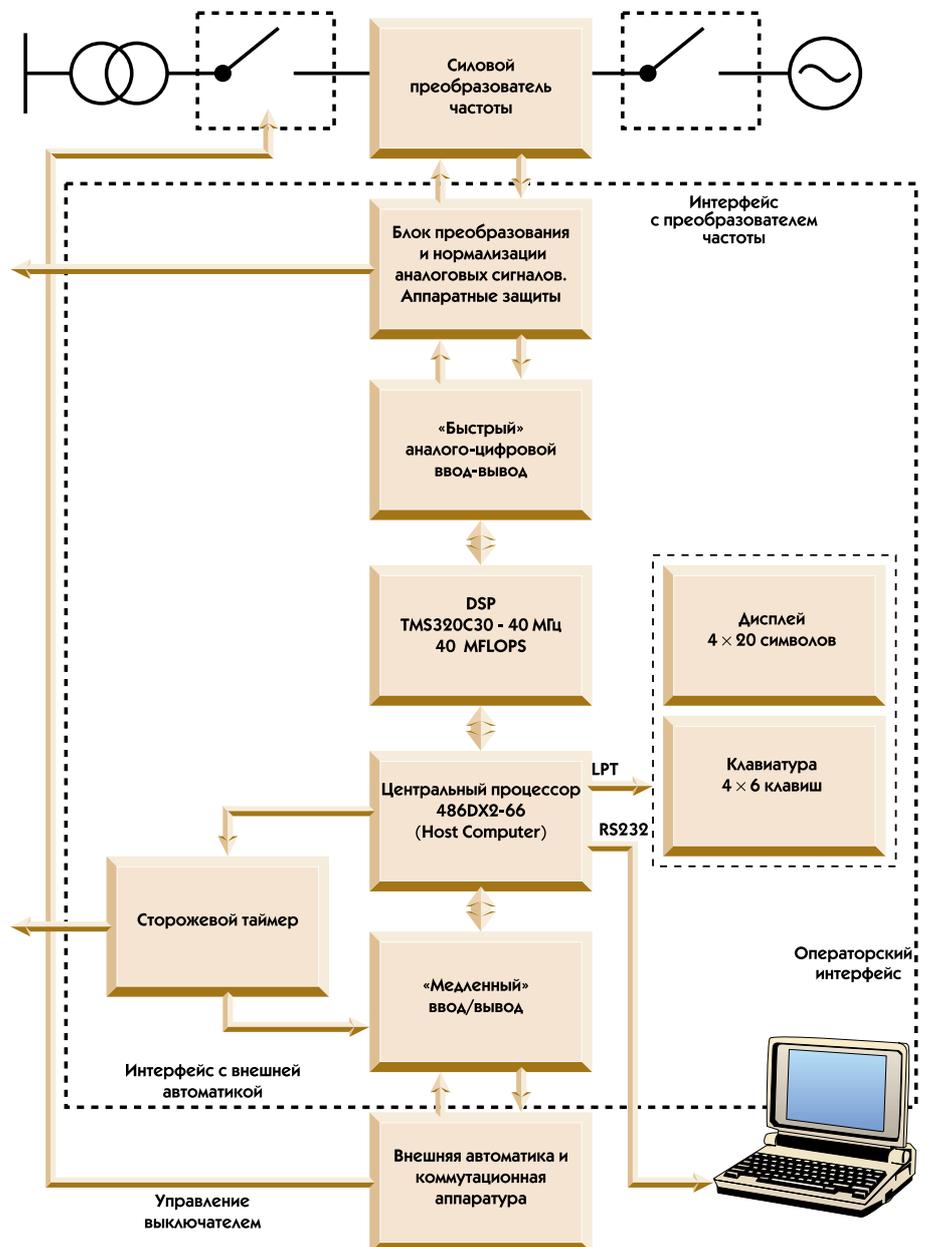


Рис. 1. Структура системы управления регулируемого электропривода

● операторский интерфейс терминала системы управления в составе алфавитно-цифрового дисплея и функциональной клавиатуры, обеспечивающий ввод параметров настройки, отображение текущих режимных параметров работы регулируемого привода и т. п.

Для проведения наладочных работ, модернизации программного обеспечения и других работ предусмотрена связь с внешней переносной ЭВМ по последовательному интерфейсу, по этому или же по второму последовательному каналу может быть при необходимости выполнена связь с верхним уровнем управления технологическими процессами на объекте.

Особенностями системы управления, повлиявшими на выбор аппаратного и структуру программного обеспечения, были

● сложность системы управления и разнообразие требований к периодичности выдачи управляющих воздействий: от 25 мкс — точность задания фронта импульса на открывание тиристоров — до 5 мс — период вычислений регулятора скорости и задатчика интенсивности;

● непостоянство числа модулей алгоритма: так, СИФУ возбудителя включается только в случае использования собственного возбудителя, а в случае постороннего на него только выдается задание тока возбуждения;

● требования к быстрдействию электропривода;

● большое число переменных и параметров, которые необходимо просматривать и настраивать во время наладки при помощи минимальных аппаратных средств;

● возможность регистрации аварийных процессов и сработавших защит.

Как уже отмечалось, основная часть алгоритмов управления, начиная от измерения аналоговых переменных, регулирования скорости и электромагнитных переменных и заканчивая формированием импульсов управления тиристорами, выполнялась на плате TORNADO-30, которая вставлена в слот ISA-шины промышленного компьютера фирмы Advantech с процессорной платой типа PCA-6143P на базе микропроцессора i486DX2-66. Последний выполняет задачи автоматики: чтение дискретных сигналов от кнопок и реле, управление выключателями, индикаторами и собственно кон-

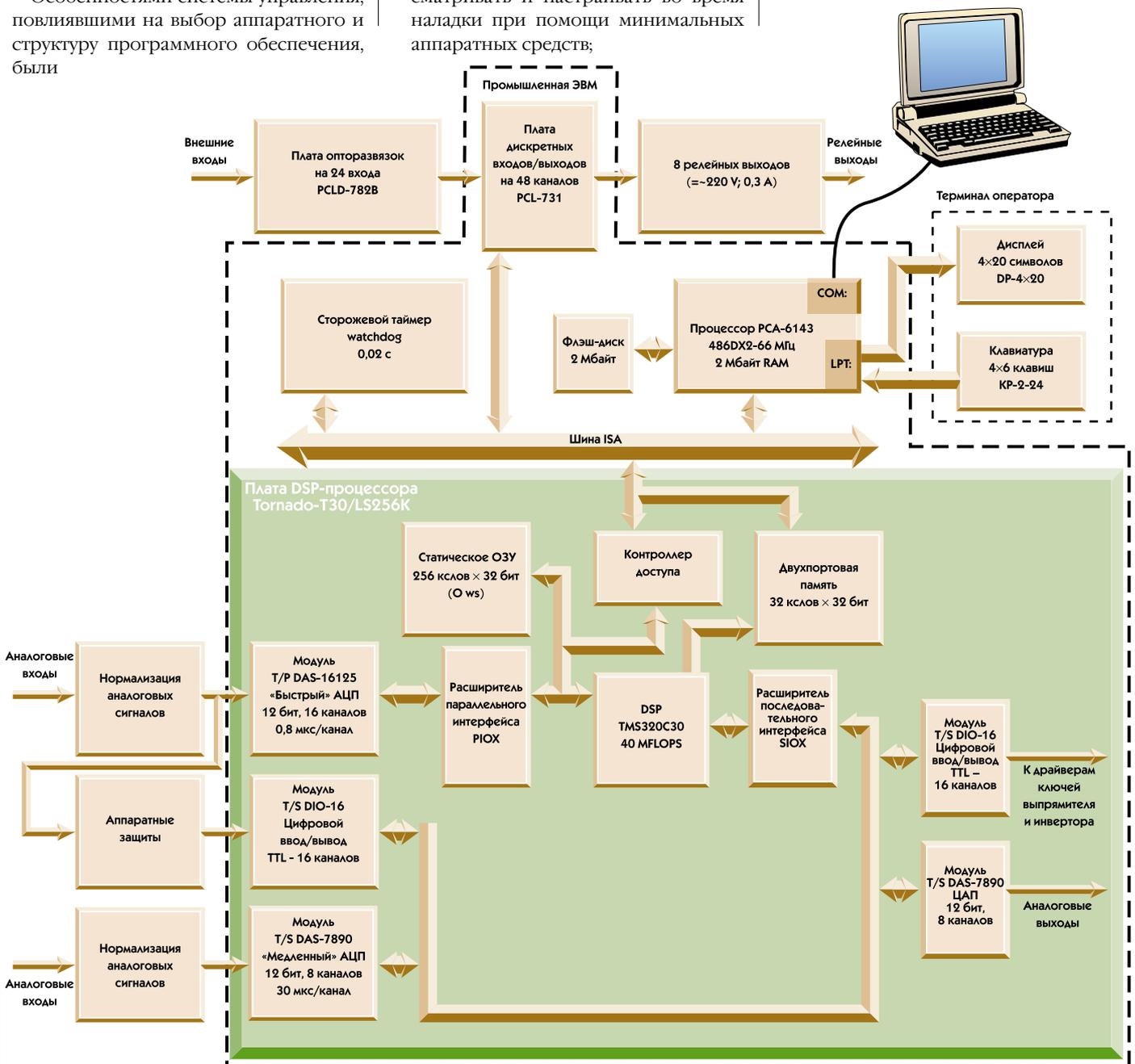


Рис. 2. Состав микропроцессорного устройства управления синхронным регулируемым приводом

троллером TORNADO-30; взаимодействие с оператором через терминал; ввод, преобразование и хранение параметров всех алгоритмов; загрузка программы и параметров в TORNADO-30. Кроме того, в систему входят модули гальванической развязки входных и выходных дискретных сигналов, плата нормализации аналоговых сигналов и аппаратных защит, а также терминал — клавиатура и вакуум-флуоресцентный дисплей. Состав микропроцессорной части системы управления приведен на рис. 2.

Мы остановили свой выбор на контроллере TORNADO-30 фирмы МикроЛАБ Системс по нескольким соображениям:

- высокая скорость выполнения операций с плавающей точкой;
- наличие интерфейса с шиной ISA, позволяющего промышленному компьютеру иметь доступ к памяти TORNADO-30;
- модульность аппаратной части и наличие широкого спектра устройств ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов, в том числе быстродействующие АЦП высокой разрядности, а также возможность изготовления фирмой специализированных модулей;
- возможность дополнительной установки одного или нескольких сопроцессоров, если бы в ходе работы выявилась недостаточность вычислительной мощности одного процессора;
- наличие эффективного компилятора языка С с библиотеками, ассемблера, компоновщика, внутрисхемного эмулятора с отладчиком для настольного компьютера и других вспомогательных утилит;
- несмотря на отсутствие команд деления и трансцендентных операций в DSP-процессоре, доступная на плате память типа SRAM позволяет применять для их получения табличный метод. Использовались таблицы синусоиды, квадратного корня, обратных величин и кривых намагничивания.

Вместе с тем в ходе работы с аппаратурой DSP пришлось учитывать некоторые особенности архитектуры сигнальных процес-

соров и платы TORNADO-30:

Последовательный интерфейс TMS320C30 требует, чтобы выходное слово из приемника считывалось либо в цикле ожидания готовности, либо по прерыванию. Оба эти способа расходуют машинное время. Поэтому для считывания выходного слова с модуля АЦП через последовательный интерфейс T/S DAS-7890 использовался контроллер прямого доступа к памяти, что вызывало сложности при отладке системы.

Выход модуля АЦП T/P DAS-16125, подключенного к TORNADO-30 через его параллельный интерфейс, представляет собой буфер типа FIFO (очередь) размером 2 слова. Это создает неудобства для задач реального времени и заставляет либо программно заблаговременно запускать сканирование определенных каналов, либо снижать частоту сканирования. В данном случае было бы предпочтительно иметь массив регистров с произвольным доступом.

Программная реализация алгоритма системы управления в TORNADO-30 выполнена как однозадачный процесс, где каждый модуль алгоритма представляет собой отдельную функцию. Таймер 0, настроенный на период 25 мкс, вызывает прерывания, при обработке которых формируются и выводятся слова управления тиристорами и команды на мо-

дуль аналогового ввода-вывода. Программный счетчик, снижая частоту в 8 раз, запускает АЦП, подключенный через параллельный интерфейс, и фоновый процесс, представляющий собой ряд функций цикла с периодичностью 200 мкс. Более медленные алгоритмы (периодичностью 1 и 5 мс) разделены на отдельные модули и равномерно добавлены к концам быстрых. Общая длительность цикла (с учетом обработки прерываний) не должна превышать 200 мкс. Операционная система реального времени не использовалась.

Заключение

Очевидно, что разработка систем управления электроприводами на базе процессоров цифровой обработки сигналов имеет большие перспективы. При снижении мощности и, следовательно, стоимости силовой части затраты на систему управления также должны уменьшаться. Этого можно достичь как за счет универсальности программной части, так и за счет снижения аппаратной избыточности и применения специально разработанных модулей, таких как широтно-импульсный модулятор. Перспективно использование автономных контроллеров на базе процессоров DSP, особенно для приводов малой мощности с силовыми преобразователями на полностью управляемых вентилях. Полученный опыт свидетельствует, что система управления, кроме самых простых вариантов, должна быть как минимум двухпроцессорной. В этом случае один из процессоров отвечает за самые быстрые алгоритмы и быстрый ввод/вывод, а другой — за более медленные и фоновые задачи. Лучше, если это однотипные процессоры, тогда исчезают многие проблемы, такие как преобразование форматов чисел с плавающей точкой. Система разработки становится однородной, легче распределять нагрузку процессоров.



Наладка регулируемого синхронного привода

Появление микропроцессоров Pentium с тактовыми частотами 200 МГц и выше с расширенным набором команд MMX позволяет надеяться на возможность реализации критических по скорости алгоритмов, оставаясь в рамках архитектуры IBM PC. ●