



Аппаратура микропроцессорной системы управления и диагностики электровоза

Игорь Бадьян

В статье рассказывается о микропроцессорной системе, предназначенной для управления электроприводом и электрическими аппаратами электровозов ВЛ65 и ЭП1. Переход на современные цифровые методы управления в сочетании с высоконадежной элементной базой и автоматической непрерывной диагностикой состояния электрооборудования позволили создать современную систему управления серийным электровозом.

История создания системы

Специалистами ПКП «ИРИС» по техническому заданию ОАО ВЭЛНИИ разработана и изготавливается для серийных электровозов микропроцессорная аппаратура, предназначенная для управления электроприводом и электрическими устройствами электровозов ВЛ65 и ЭП1.

Попытки разработки аналогичной аппаратуры предпринимались неоднократно, в том числе и нашим предприятием. Существуют опытные образцы

на микропроцессорных комплектах серий 588 и 580, но они морально устарели еще до начала серийного производства.

Применение современной элементной базы, такой как микропроцессорные контроллеры фирмы Octagon Systems, DC/DC преобразователи напряжения фирмы Artesyn, дисплеи фирмы Planar, позволило решить поставленные задачи и получить эффективную систему управления и контроля, практически не требующую обслуживания.

Назначение и функции системы

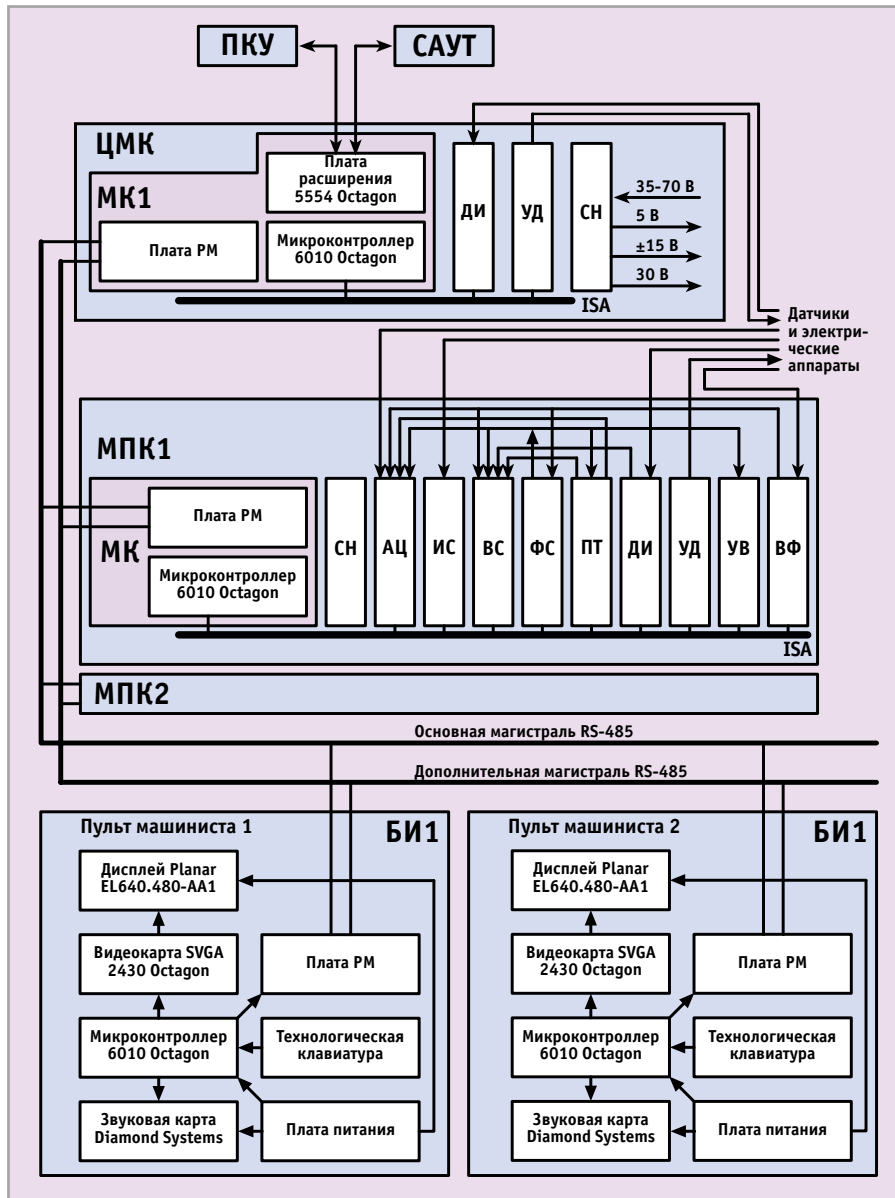
Описываемая в данной статье аппаратура микропроцессорной системы управления и диагностики (МСУД) выполняет автоматическое управление электроприводом и электрическими аппаратами серийного электровоза ЭП1 в режимах тяги и торможения.

При этом аппаратура МСУД обеспечивает:

- разгон электровоза до заданной скорости с заданной и автоматически поддерживаемой величиной тока якоря тяговых электродвигателей и последующее автоматическое поддержание заданной скорости,
- рекуперативное торможение до заданной скорости с последующим автоматическим поддержанием заданной скорости на спусках,
- автоматическое плавное торможение с учетом тормозных характеристик до полной остановки электровоза,
- защиту от буксования и юза колесных пар,
- автоматическую непрерывную диагностику состояния электрооборудования электровоза,
- стыковку микропроцессорных контроллеров с блоками АСУ безопасности,
- подключение микропроцессорных контроллеров к IBM PC совместимым персональным компьютерам для отладки рабочих программ и моделирования процесса управления.



Электровоз ЭП1 (заводской номер 001) во главе состава



Условные обозначения:

ЦМК — центральный микропроцессорный контроллер,
ПКУ — приемно-контактирующее устройство,
САУТ — система автоматического управления торможением,
МК — ячейка микропроцессорного контроллера,
ДИ — ячейка ввода дискретных сигналов,
УД — ячейка вывода дискретных сигналов,
СН — ячейка вторичных источников питания,
РМ — ячейка резервированной магистрали,

Рис. 1. Структурная схема МСУД

Состав аппаратуры МСУД

Аппаратура МСУД электрооборудования электровоза построена на программных принципах обработки информации, поступающей от датчиков тока, скорости, углов коммутации, сельсинов задатчиков тока и скорости, а также ряда дискретных сигналов состояния оборудования электровоза.

Аппаратура МСУД состоит из трех контроллеров (рис. 1): центрального и

МПК — технологический микропроцессорный контроллер,
АЦ — ячейка аналого-цифрового преобразователя,
ИС — ячейка ввода импульсных сигналов,
ВС — ячейка ввода аналоговых сигналов,
ФС — ячейка фазовой синхронизации,
ПТ — ячейка программируемых таймеров,
УВ — ячейка выходных усилителей,
ВФ — ячейка входного фильтра,
БИ1 — блок индикации и ввода команд

двух технологических с разделенными функциями управления электрооборудованием, диагностики и возможностью передачи управления друг другу при реконфигурации в случае повреждения одного из контроллеров, а также двух блоков индикации на пультах машиниста.

Центральный контроллер (ЦМК) обеспечивает обмен информацией между всеми контроллерами управле-

ния и пульсом машиниста по дублированному интерфейсу RS-485, диагностику состояния электрооборудования и связь с приборами АСУ безопасности по интерфейсу RS-232.

Технологический контроллер управления (МПК) последовательно опрашивает различные датчики, сельсины задатчиков тока и скорости, принимает дискретные сигналы состояния оборудования электровоза. Он же вычисляет значения выходных управляющих воздействий по программе, соответствующей алгоритму управления, и выдает фазовые импульсы управления выпрямительно-инверторными преобразователями, фазовые импульсы управления выпрямительными установками возбуждения и дискретные сигналы управления силовыми реле и пневмовентильными.

Оба технологических контроллера могут обрабатывать всю информацию одновременно, но в обычном режиме функции управления электрооборудованием разделены. В аппаратуре МСУД реализовано резервирование технологических контроллеров с так называемым «холодным» резервом. При возникновении неисправности в рабочем комплекте он отключается от объекта управления и в работу включается другой комплект.

Блок индикации (рис. 2), расположенный на пульте машиниста, обеспечивает вывод текущей информации о скорости движения, состоянии электрооборудования, заданных режимах на плоскостной дисплей фирмы Planag, вывод речевых сообщений на встроенный громкоговоритель, ввод параметров движения и контроля с многофункциональной клавиатуры. Технологическая информация отображается в виде графических образов (стрелочных индикаторов, гистограмм) и в цифровом виде (рис. 3).

Применение графического цветного дисплея в корне меняет эргономику пульта машиниста и позволяет, убрав



Рис. 2. Внешний вид блока ввода информации и индикации БИ1

целый ряд стрелочных приборов, отобразить гораздо больше технологической информации. Страничный способ отображения дает возможность по запросу с технологической клавиатуры показывать с помощью одного дисплея результаты диагностики всего оборудования. При этом, благодаря применению цвета в отображении, легко удастся разделить аварийные, предельные и нормальные значения параметров.

В аппаратуре МСУД предусмотрен встроенный непрерывный контроль, обеспечивающий проверку ее исправности. При возникновении отказов отдельных компонентов аппаратура либо адаптивно сохраняет работоспособность, либо сообщает оператору о необходимости вручную переключиться на резерв. При отказах компонентов на индикаторах отображается факт отказа, состояние аппаратуры после реконфигурации и с помощью дисплея указывается предположительно поврежденный конструктивно сменный узел.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

При выборе элементной базы предпочтение было отдано контроллерам



Рис. 3. Отображение технологической информации на дисплее пульта машиниста

фирмы Octagon Systems, благодаря сочетанию относительно невысокой стоимости и возможности работать в экстремальных условиях при температуре от -40 до $+70^{\circ}\text{C}$ без принудительного охлаждения при воздействии вибраций и ударов, характерных для железнодорожного транспорта.

Программное обеспечение для контроллеров, функционирующее под управлением DOS, разработано специалистами ОАО ВЭЛНИИ с использованием языков программирования ассемблер и C++. Для отработки алгоритмов управления электроприводом и электрическими аппаратами электровоза в плате 6010 фирмы Octagon Systems работает специальное программное обеспечение, управляющее электроприводом.

ОПИСАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

Рассмотрим подробнее устройство и работу составных частей аппаратуры МСУД (рис. 4). Как уже отмечалось, центральный контроллер служит для обеспечения обмена информацией и диагностики состояния электрооборудования и содержит микропроцессорный контроллер 6010 фирмы Octagon Systems, включающий в себя 25/40 МГц процессор 386CX фирмы Intel, последовательные порты COM1 (RS-232) и COM2 (RS-232), параллельный порт LPT1, DOS в ПЗУ, 4 Мбайт динамической оперативной памяти, 128 кбайт статического ОЗУ и 1 Мбайт флэш-памяти. Динамическое ОЗУ функционирует как память с неограниченными циклами считывания и записи. В статическом ОЗУ расположены данные текущего цикла управления. Наличие 1 Мбайт флэш-памяти позволяет поместить необходимое пользовательское программное обеспечение.

Аппаратура реализует возможность подключения блоков системы автове-



Рис. 4. Шкаф аппаратуры МСУД

ления АСУ безопасности. Для этого используется плата расширения последовательных портов 5554 фирмы Octagon Systems, которая имеет четыре последовательных порта COM4-COM7 (RS-232), совместимых с 16C550 UART. Программируемая скорость передачи информации составляет от 150 до 115200 бод.

Центральный контроллер также включает в себя ячейки ввода в контроллер сигналов от дискретных датчиков, ячейки вывода релейных сигналов для выдачи управляющих воздействий на исполнительные дискретные механизмы, ячейки питания — источники стабилизированного напряжения для питания цифровых и аналоговых узлов аппаратуры.

Технологический контроллер обеспечивает управление электроприводом, последовательно обрабатывая сигналы от объекта управления и вычисляя значения выходных управляющих воздействий по программе, соответствующей алгоритму управления.

В состав технологического контроллера входит ячейка микропроцессорного контроллера МК с управляющей платой 6010

фирмы Octagon Systems. В ячейку также входит плата резервированной магистрали (PM), которая преобразует последовательные порты COM1 и COM2 платы 6010 в сигналы интерфейса RS-485 для передачи в гальванически развязанную резервированную магистраль. Параллельный порт платы 6010 используется для контроля источников питания и управления семисегментным индикатором для выдачи контрольной информации без обращения к блоку индикации, расположенному на удалении в кабине машиниста. Это создает дополнительное удобство при проведении регламентных работ.

Для оцифровки аналоговых сигналов служат ячейки аналого-цифрового преобразователя (АЦ), каждая из которых содержит восемь интегрирующих преобразователей аналогового сигнала в параллельный 10-разрядный код. Применение интегрирующих преобразователей вызвано особенностями формы сигналов, например, провалами и выбросами напряжения контактной сети при переходе фазы через ноль.

Ввод дискретных сигналов осуществляют ячейки ДИ с гальванической развязкой и контролем состояний входов. Требование обтекания контактов током в 0,1 А при считывании их состояния обусловило применение динамического опроса дискретных сигналов для уменьшения тепловой нагрузки аппаратуры.

Ячейки ИС обеспечивают ввод с гальванической развязкой импульсных сигналов, поступающих от датчиков частоты вращения колесных пар. Переключение режима работы таймеров служит для выбора способа расчета

скорости путем вычисления длительности периода поступающих сигналов или их частоты для получения достаточной точности расчета скорости во всем диапазоне скоростей от 0 до 160 км/ч. Наличие шести каналов гарантирует не только определение направления движения локомотива, но и получение информации от разных осей для выполнения функций защиты от буксования и юза колесных пар.

Для синхронизации процедур ввода-вывода и обработки информации микропроцессорным контроллером ячейка фазовой синхронизации (ФС) формирует с помощью ведомого сетью синхронизатора сигнал в момент перехода первой гармоники сетевого напряжения через ноль.

Ячейки программируемых таймеров и распределения углов по плечам преобразователя (ПТ) формируют физические углы сдвига фаз импульсов «зажигания» тиристорных силовых устройств электропривода относительно момента начала каждого полупериода напряжения контактной сети.

Вывод дискретных сигналов обеспечивают ячейки УД с выходным током по каждому каналу до 1,5 А с гальванической развязкой и контролем состояний выходов.

Ячейки выходных усилителей УВ имеют гальваническую развязку, осуществляют усиление импульсов ячеек ПТ и управление тиристорными силовыми устройствами электровоза. Это два выпрямительно-инверторных восьмиплечевых преобразователя ВИП 5500, питающих якорные цепи тяговых электродвигателей трех тележек электровоза, выпрямительная двухплечевая

установка возбуждения ВУВ-24, питающая обмотки возбуждения всех шести тяговых электродвигателей трех тележек, соединяемых в режиме рекуперации последовательно, и шесть шунтирующих тиристоров.

Ячейки источников вторичного питания (СН), выполненные на DC/DC конверторах фирмы Artesyn, преобразуют напряжение бортовой сети в диапазоне от 35 до 70 В постоянного тока в гальванически развязанные



Рис. 5. Блок ввода информации и индикации БИ1 в кабине машиниста



Рис. 6. Копия экрана БИ1 в режиме диагностики аппаратуры МСУД

напряжения для питания аппаратуры и аналоговых датчиков.

Блок индикации, расположенный на пульте машиниста (рис. 5), предназначен для выдачи на восьмицветный матричный электролюминесцентный дисплей EL640.480-AA1 фирмы Planag алфавитно-цифровой и графической информации с разрешением 640 480 точек. При помощи звуковой платы фирмы Diamond Systems осуществляется выдача через встроенные громкоговорители речевых сообщений о режимах работы. Ввод команд обеспечивает технологическая клавиатура на кнопках фирмы Grayhill с подсветкой в режиме «Ночь» сверхъяркими отечественными светодиодами фирмы «Планета».

Блок индикации также содержит ячейку РМ связи со шкафом МСУД и интерфейсные микросхемы резервированной магистрали RS-485.

УНИКАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ

Режим рекуперации

Существующие системы управления электровозами построены на основе аналоговых способов обработки информации и не соответствуют современным требованиям. Такие энергосберегающие технологии, как рекуперация, то есть возврат электроэнергии в контактную сеть при торможении двигателями и при движении на спусках, практически впервые эффективно реализованы лишь при помощи аппаратуры микропроцессорной системы управления, благодаря цифровой обработке сигналов. По данным Красноярского локомотивного депо, где в эксплуатации находятся десять электровозов ЭП1, оснащенных МСУД, режим рекуперации дает до

тридцати процентов экономии электроэнергии.

Режим автоведения

Благодаря применению микропроцессорной техники аппаратура МСУД позволяет реализовать на магистральном пассажирском электровозе режим автоведения. В настоящее время автоведение внедряется в локомотивном депо Красноярск. База данных для автоведения записывается в энергонезависимый накопитель МСУД при выезде из депо. База данных содержит информацию о профиле пути, действующих скоростных ограничениях на участке следования и графике движения. Для активизации режима автоведения достаточно с помощью блока БИ аппаратуры МСУД ввести номер поезда, в составе которого следует электровоз, и включить режим автоведения. Аппаратура произведет считывание данных для автоведения из бесконтактного энергонезависимого накопителя и голосом подтвердит включение режима. Режим автоведения обеспечивает движение по графику, выполнение всех ограничений скорости и минимизирует расход электроэнергии на тягу.

Удобство в работе

Аппаратура МСУД, имея данные о состоянии силового оборудования электровоза, обеспечивает диагностику работоспособности систем (рис. 6) и запись результатов в энергонезависимый накопитель для последующей расшифровки и анализа в депо.

По данным локомотивных депо Хабаровск-2 и Красноярск общий пробег 20 электровозов ЭП1 на октябрь 2000 г. составил более 1 000 000 км. По словам работников ПТО, благодаря устойчивой работе электровозов в режиме ре-

куперации они «забыли как менять тормозные колодки на электровозах ЭП1».

Эффект применения новых технологичный виден уже через полгода эксплуатации:

- аппаратура не требует подстроек — снижение простоев и эксплуатационных расходов;
- устойчивая рекуперация во всех режимах — экономия электроэнергии и сокращение износа тормозных колодок;
- диагностика электрооборудования — быстрый поиск неисправностей.

Надежность

Как уже отмечалось, отказ от аналоговых способов обработки сигналов и переход на современные цифровые методы управления в сочетании с высоконадежной элементной базой и автоматической непрерывной диагностикой состояния электрооборудования позволили коллективу инженеров ПКП «ИРИС» создать современную систему управления серийным электровозом, не имеющую аналогов в отечественной промышленности.

По данным работников Красноярского и Хабаровского локомотивного депо, где в эксплуатации находятся по десять электровозов ЭП1, за полгода эксплуатации не было ни единой остановки электровозов в пути следования по вине аппаратуры МСУД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработки ПКП «ИРИС» с участием специалистов ОАО ВЭЛНИИ позволили поднять производство российских электровозов на качественно новый уровень.

Технические решения на базе использования микропроцессорных контроллеров, блочных каркасов и плат расширения фирмы Octagon Systems применены также при разработке и изготовлении системы автоведения для электровоза ЭП10, системы сбора дискретной и аналоговой информации и в ряде других проектов.

Все эти разработки отвечают требованиям высокой надежности, аппаратура способна работать в тяжелых температурных условиях без принудительного охлаждения при воздействии вибраций и ударов, характерных для подвижных объектов. ●

Автор — сотрудник ФГУП ПКП «ИРИС»

Телефон: (8632) 67-5093