



ЭКСПЛУАТАЦИЯ, МОНТАЖ И НАЛАДКА

Многофункциональный измерительный комплекс для электроподвижного состава и тяговых подстанций

Черемисин В. Т., доктор техн. наук, Чижма С. Н., Хряков А. А., кандидаты техн. наук

Омский государственный университет путей сообщения

Рассмотрены принципы построения многофункционального измерительного комплекса для тяговых подстанций и электроподвижного состава переменного и постоянного тока, выполняющего функции счетчика электрической энергии, прибора контроля качества электрической энергии и регистратора событий.

Ключевые слова: счетчик электроэнергии, качество электроэнергии, постоянный ток, переменный ток, структурная схема.

Используемые в электрических сетях различные средства измерения предназначены для учета электроэнергии, контроля показателей ее качества и регистрации событий в электрических сетях. Кроме того, их можно применять в системах телемеханики, в частности, для выполнения телеизмерений и передачи данных на диспетчерский пункт.

Современная тенденция развития измерительной техники для контроля сигналов электросети — создание многофункциональных измерительных комплексов (МИК), имеющих развитую подсистему коммуникации и возможность включения в сеть передачи данных. Системы контроля энергосистем строятся на основе цифровой технологии DWE (digital wires for energy) [1], при применении которой аналоговые сигналы тока и напряжения, поступающие от традиционных устройств (измерительных трансформаторов, датчиков, сенсоров и т. д.), преобразуются в цифровой поток как можно ближе к их источнику. При этом одной из важных функций является глобальная синхронизация тактов измерений тока и напряжения, выполняемая с использованием сигналов точного времени. При ее выполнении обеспечивается привязка тактов измерения к временной отметке получения сигнала синхронизации с погрешностью не более ± 4 мкс. В качестве источников сигналов для синхронизации тактов измерений могут быть спутниковые системы GPS или ГЛОНАСС.

На основе предложенных подходов разработан многофункциональный измерительный комплекс (рис. 1) [2], реализованный по тех-

нологии DWE. Он состоит из гальванически изолированных модулей первичной МПОИ и вторичной МВОИ обработки информации.

К входам $Vx I$ МПОИ подключены датчики для измерения тока, выполняемые в виде шунта, трансформатора тока или пояса Роговского, к входам $Vx U$ — датчики напряжения в виде трансформатора напряжения или резистивного делителя. Этот модуль располагается в высоковольтной зоне рядом с шунтом или делителем напряжения. Он имеет с ними гальваническую связь. Питание МПОИ осуществляется с помощью изолирующего источника ИИП для предотвращения возможности повреждения всего устройства в случае попадания высокого напряжения при прямом подключении счетчика к измерительному токовому шунту. Обработанные в МПОИ данные поступают в МВОИ. Для осуществления гальванической развязки между указанными модулями эти данные передаются по волоконно-оптической линии связи ВОЛС.

МВОИ имеет встроенный источник питания, который может подключаться к бортовой сети электроподвижного состава (ЭПС). Интерфейсы позволяют ему обмениваться информацией с системой сбора данных электроподвижного состава или тяговой подстанции. В этом модуле осуществляется вторичная обработка полученных данных: регистрация, архивация, хранение, а также передача по запросу стационарным устройствам сбора и подготовки данных (с помощью модуля радиосвязи УКВ и антенны АНТ1) или устройствам сбора данных (через интерфейсы). По-

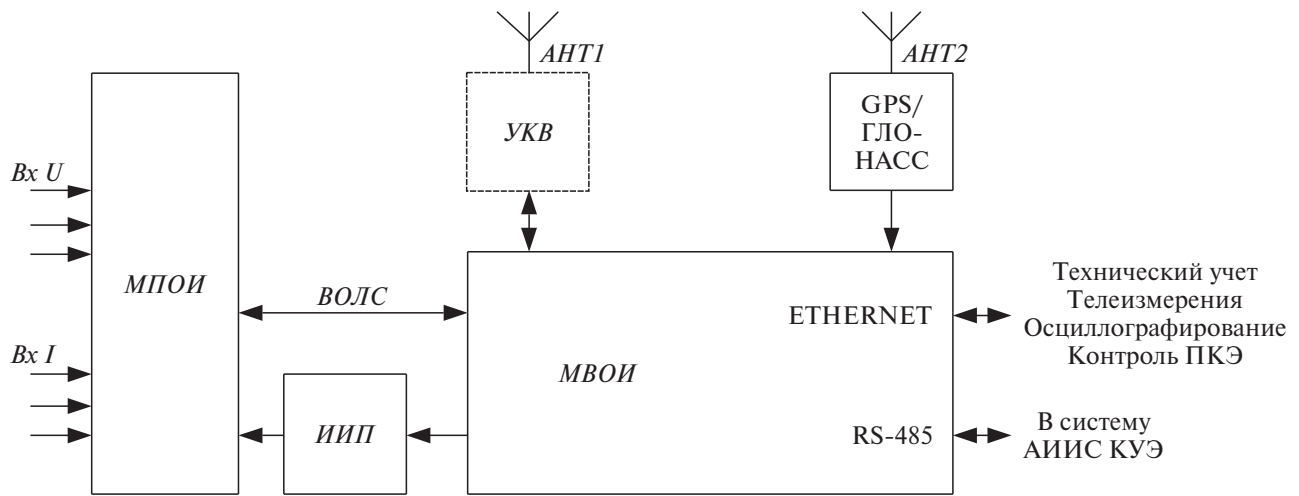


Рис. 1

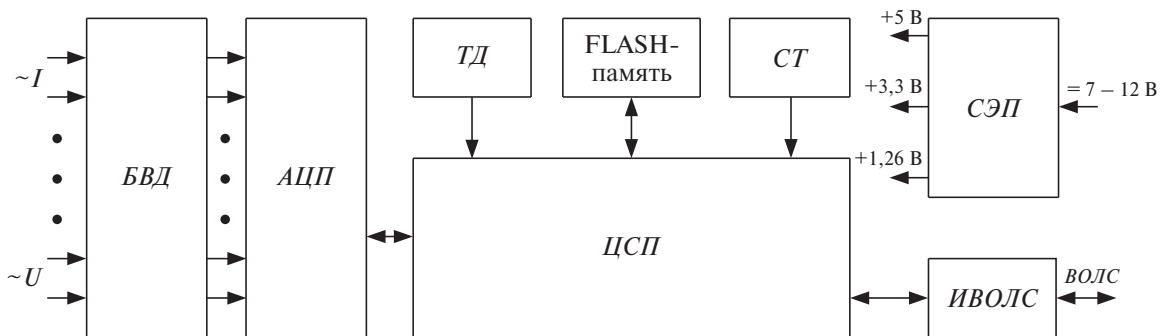


Рис. 2

казания о потреблении электроэнергии подвижным составом в зависимости от тарифной зоны фиксируются с использованием модуля GPS/ГЛОНАСС и антенны АНТ2. Регистрация с учетом временных тарифов осуществляется с помощью встроенных часов реального времени, синхронизируемых системой GPS или ГЛОНАСС.

Предлагаемый МИК позволяет обеспечить как учет электрической энергии на тягу поездов, так и регистрацию графиков тока, напряжения, потребления и рекуперации активной, реактивной и полной мощностей, параметров качества электрической энергии.

На базе схемы, приведенной на рис. 1, разработан МИК, предназначенный для учета и контроля качества электрической энергии на ЭПС. Измерительная цепь по напряжению подключается к частотно-компенсированному высоковольтному резистивному делителю, измерительная цепь по току — к токовому шунту.

Для учета параметров электроэнергии по различным часовым зонам в приборе предусмотрены часы реального времени, по пока-

заниям которых в соответствии с заранее введенными в программу данными организованы временные накопители. Кроме того, в нем установлен приемник системы глобальной навигации ГЛОНАСС (GPS), позволяющий вести отдельный учет параметров электроэнергии в зависимости от географического местонахождения электроподвижного состава.

Данные с прибора и персональных карт памяти переводятся в единый компьютер для контроля параметров электроэнергии, где осуществляется их дальнейшая обработка и анализ.

В качестве дополнительных функций с помощью прибора можно проводить регистрацию профилей напряжений и токов по заданным критериям, например по времени или по местонахождению ЭПС.

Измерительной частью прибора является МПОИ (рис. 2), содержащий цифровой сигнальный процессор ЦСП, обеспечивающий максимальную эффективность при обработке потока оцифрованных аналоговых данных; многоканальный шестнадцатиразрядный АЦП сигма-дельта типа с блоком входных делителей

БВД; термодатчик *ТД*; волоконно-оптический интерфейс *ИВОЛС*; систему электропитания *СЭП*; супервизор сброса со сторожевым таймером *СТ*.

Измерительный преобразователь измеряет сигналы тока и напряжения, вычисляет составляющие мощности на основе мгновенных значений этих сигналов, частоту, действующие значения тока и напряжения, а также гармонические составляющие. Период обработки и вывода данных составляет 0,2 с, что соответствует требованиям ГОСТ Р 51317.4.7–2008 [3].

Для измерения значений тока и напряжения применяется шестиканальный *АЦП* типа AD73360 (производства фирмы “Analog Devices”) [4], по первым трем каналам которого измеряется ток, а по трем другим — напряжение. Для синхронизации в нем используется опорная частота высокостабильного генератора типа ГК CPPL [5], который одновременно является источником синхронизации процессора. *АЦП* — программируемое устройство, и все его режимы работы, включая частоту дискретизации (на основе опорного генератора) выбираются программно. На входах каналов (дифференциальных) имеются входные усилители с программируемыми коэффициентами усиления, что позволяет исключить дополнительные масштабирующие аналоговые устройства на входе *АЦП*. Коэффициенты усиления каналов выставляются в соответствии с размахом входных сигналов тока и напряжения.

Процессорная часть измерительного преобразователя включает ЦСП типа TMS320VC5502-300 (фирмы “Texas Instruments”) [6]. Это высокопроизводительный 16-разрядный процессор цифровой обработки сигналов с фиксированной точкой (максимальная производительность — до 600 MIPS), предназначенный для приложений, требующих минимального потребления энергии. Рабочая частота процессора составляет 221,184 МГц (получена путем умножения на 15 частоты 14745,6 кГц опорного тактового генератора).

Начальная загрузка программы выполняется после формирования сигнала сброса процессора супервизором сброса при включении питания или при переполнении сторожевого таймера. Встроенный в процессор начальный загрузчик осуществляет загрузку с последующим запуском программы из последовательной FLASH-памяти по интерфейсу I²S. Термодатчик также подключается по интерфейсу I²S и позволяет контролировать

температуру внутри корпуса измерительного преобразователя на поверхности печатной платы в непосредственной близости от аналоговых компонентов и *АЦП*.

Данные передаются в модуль управления по волоконно-оптической линии связи, подключенной к универсальному асинхронному последовательному приемопередатчику (УАППП), интегрированному в процессор цифровой обработки сигналов. В качестве приемника и передатчика используются модули компании “Avago Technologies HFBR-2522” и HFBR-1522 с максимальной скоростью передачи данных 1 Мбод [7].

МВОИ (рис. 3) базируется на высокопроизводительном микроконтроллере *МК* типа STM32F103ZET [8] (производства фирмы “STMicroelectronics”), обеспечивающем распределение, архивирование данных, управление прибором в целом и поддержку протоколов обмена по цифровым интерфейсам. Микроконтроллер — высокоинтегрированное устройство, имеющее в своем составе почти все необходимые порты для реализации интерфейсов связи. Его ядром является процессор с RISC-архитектурой Cortex-M3, разработанный компанией “ARM” [9]. Ядро выполнено по гарвардской технологии с трехступенчатым конвейером и обеспечивает такие возможности, как предсказание переходов, одноктактное умножение и аппаратно реализованное деление, благодаря чему достигается производительность примерно 1,25 MIPS/МГц.

В состав МВОИ входят волоконно-оптический интерфейс *ИВОЛС*, супервизор сброса со сторожевым таймером *СТ*, часы реального времени *ЧРВ*, внешнее оперативное запоминающее устройство *ОЗУ*, FRAM-память (оперативная энергонезависимая), FLASH-память (долговременного хранения), жидкокристаллический дисплей ЖКД с подсветкой, клавиатура, интерфейсы RS-485 и RS-232, радиомодем (диапазон — 868 МГц), приемник навигационной системы GLONASS/GPS, система электропитания *СЭП*.

Данные от МПОИ по волоконно-оптическому кабелю поступают на вход оптического приемника *ИВОЛС*, где они преобразуются в электрические сигналы формата асинхронной передачи и поступают на вход одного из универсальных асинхронных последовательных приемопередатчиков УАППП-2 микроконтроллера *МК*. Команды управления к измерительному преобразователю поступают от

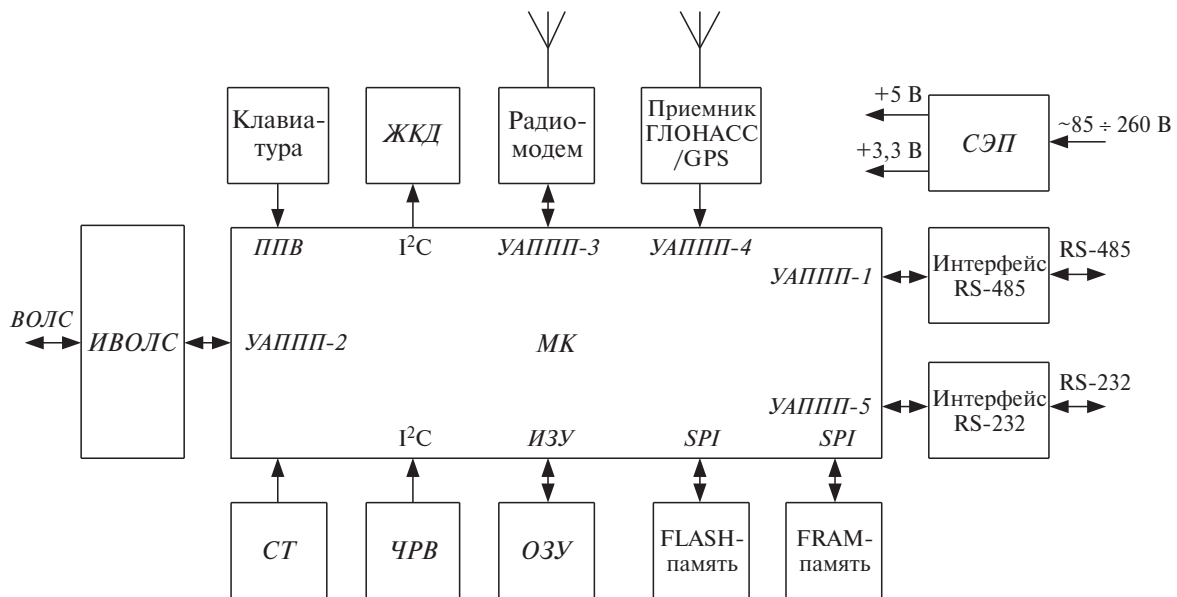


Рис. 3

УАППП-2 также через оптический передатчик по отдельному кабелю.

Начальный запуск при включении питания осуществляет совмещенный со сторожевым таймером супервизор сброса СТ. Он обеспечивает надежный запуск процессора, отслеживая достижение питающим напряжением заданного порога. Сторожевой таймер контролирует периодичность поступления импульсов сброса, формируемых рабочей программой микроконтроллера, и формирует сигнал сброса для перезагрузки процессора в случае превышения интервалов этих импульсов, что свидетельствует о сбое в работе программы. Сбой может быть вызван внешними, дестабилизирующими работу аппаратной части, факторами, например сильным электромагнитным импульсом.

Часы реального времени ЧРВ, обеспечивающие привязку событий ко времени, снятие параметров в заданное время или через его заданные интервалы, не зависят от источника питания. Установленный в счетчике литиевый элемент позволяет им непрерывно функционировать не менее 10 лет. Часы имеют высокую точность хода благодаря применению термокомпенсации встроенного в них кварцевого генератора. Дополнительно по сигналам от системы GLONASS/GPS осуществляется периодическая коррекция часов реального времени счетчика.

Для обеспечения поддержки большого числа интерфейсов и протоколов передачи по ним, а также широкой функциональности счетчика установлено дополнительное внеш-

нее ОЗУ, подключенное к интерфейсу запоминающих устройств микроконтроллера. С целью сохранения текущих значений параметров электроэнергии и настройки используется запоминающее устройство FRAM-память, которое функционально почти не отличается от классической FLASH-памяти, но имеет высокую скорость записи, сравнимую со скоростью записи в ОЗУ, и практически неограниченный ресурс по количеству циклов перезаписи. Это устройство подключено по интерфейсу SPI, что позволяет исключить случайную запись благодаря наличию специального протокола обмена и сократить число линий связи с МК. Информационная емкость этого устройства составляет 128 кбайт.

Запоминающее устройство FLASH-память предназначено для хранения временных срезов параметров и различных событий. Для него характерны страничная организация, позволяющая легко использовать стандартные файловые системы, и большой объем. В нем хранятся журналы событий, которые записываются со средней периодичностью в несколько минут и хранятся в течение нескольких месяцев. Общий объем FLASH-памяти составляет 16 Мбайт.

Для отображения текущих значений, а также для местного управления применяются жидкокристаллический дисплей ЖКД и мембранная клавиатура. ЖКД подключен к интерфейсу I²C микроконтроллера и имеет разрешение 128 × 32. Индикатор оснащен светодиодной подсветкой, яркость которой

изменяется программно. Защищенная клавиатура мембранного типа подключена к параллельным портам ввода-вывода *ПВВ* общего назначения *МК* и работает в режиме программного опроса.

Интерфейс RS-232 является технологическим и предназначен для загрузки, отладки и конфигурирования программы в *МК*. В его состав входит *УАППП-1* микроконтроллера и формиратор уровней интерфейса RS-232.

Гальванически изолированный интерфейс RS-485 предназначен для подключения счетчика к устройствам сбора и передачи информации для передачи данных учета в регистрирующие системы. Он построен с помощью современной элементной базы для гальванической изоляции интерфейсов и имеет отдельный источник питания.

Радиомодем диапазона 868 МГц, подключенный к *УАППП-3* микроконтроллера, является законченным устройством с интерфейсом типа RS-232 с логическими уровнями сигналов. Радиомодем представляет собой модуль с радиоканалом и встроенным процессором, обеспечивающим прозрачную передачу данных с защитой от помех.

Подключенный к *УАППП-5* приемник навигационной системы GLONASS/GPS (выполнен КБ навигационных систем “НАВИС” на основе отечественного модуля СН-4706 [10]) — также законченный модуль. Кроме получения точных координат он обеспечивает синхронизацию часов реального времени. Данные от него поступают с периодом 1 с.

Предложенные аппаратные средства могут стать основой для создания многофункционального измерительного комплекса, набор функций которого будет определяться программным обеспечением.

Список литературы

1. **Парк Д., Маккей С., Райт Э.** Передача данных в системах контроля и управления. — М.: Группа ИДТ, 2007.
2. **Пат. 97829 РФ, МПК G01K11/54.** Универсальный электронный счетчик для учета электрической энергии на электроподвижном составе постоянного и переменного тока / В. Т. Черемисин, С. С. Грицуненко, А. А. Хряков и др. — Оpubл. в бюл. № 26, 2010.
3. **ГОСТ Р 51317.4.7–2008.** Методы измерений показателей качества электрической энергии.
4. **AD73360.** Six input channel analog front end. — Data sheet, 2000.
5. **Генераторы** кварцевые. Серия CPPL. — Data sheet. БМГ Плюс, 2005.
6. **TMS320VC5502** Fixed-Point. Digital Signal Processors Data Manual. Literature Number: SPRS166J. April 2001 — Revised, August, 2006.
7. **HFBR-0500Z** Series Versatile Link. The Versatile Fiber optic Connection. — Data sheet. AvagoTechnologits, 2008.
8. **SMT32F103xC, SMT32F103xD, SMT32F103xE** High-density performance line ARM-based 32-bit MCU with 256 to 512KB Flash, USB, CAN, 11 timers, 3 ADCs, 13 communications interfaces. — Data sheet, 2008.
9. **ARM** — The Architecture for the Digital World (URL: <http://www.arm.com>).
10. **Приемник СН-4706.** Руководство по эксплуатации ТДЦК. 434855.001 РЭ. — М., 2010.

ChizhmaSN@omgups.ru