

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ БЛОК СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

А.Л. Таранюк, вед. инж.,
Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

Рассмотрены особенности цифрового программного управления в системах электропитания большой мощности с высокочастотной импульсной модуляцией. Описана структура и приведены примеры внедрения программируемого логического контроллера (ПЛК) в систему управления воздушными плазмотронами, блок мониторинга температуры силовой части систем электропитания, систему питания электронно-лучевой печи мощностью 500 кВт. Библ. 14, рис. 6.

Ключевые слова: программируемые логические контроллеры мощных источников питания, мониторинг температуры в источниках питания, системы питания электронно-лучевых печей, системы питания плазмотронов.

Введение. Рынок электронно-лучевых и ионно-плазменных установок, которые используются для экологически чистых вакуумных технологий, расширяется [4, 8]. Неотъемлемой частью их являются специфические системы электропитания мощностью более 100 кВт [2]. Разработка таких систем требует значительных усилий, новых технических решений, исследований. Особенности, которые отличают их от подобных устройств, являются высокие напряжения (>10 кВ), большие токи (>100 А), а также специфические нагрузки, например, как плазмотрон или электронная пушка, в которых время между холостым ходом и коротким замыканием может составлять доли микросекунд. Вследствие таких процессов развиваются очень мощные электромагнитные импульсы, которые приводят к сбоям в цепях управления как выходными ключами, так и режимами работы, что может вызвать выход из строя дорогостоящего оборудования и технологический брак.

Традиционно источники питания строились на аналоговой схемотехнике. Огромный прогресс в вычислительной технике, появление на рынке быстродействующих сигнальных процессоров, аналого-цифровых преобразователей (АЦП), цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) и развитие элементной базы привели к внедрению цифровых технологий в областях, которые считались аналоговыми: телевидение и радиовещание, метрология, обработка и усиление звуковых и видеосигналов, источники питания.

Дискретизация аналоговых сигналов позволяет вывести на принципиально новый качественный уровень их дальнейшую обработку, хранение и передачу. Достоинствами цифрового способа представления информации являются:

- высокая помехозащищенность в условиях сильных электромагнитных помех;
- возможность длительного хранения информации без каких-либо искажений;
- простота контроля данных при передаче, записи и хранении;
- возможность модификации, усовершенствования систем программным путем, без изменений аппаратной части.

Цифровое программное управление технологическим оборудованием и процессами началось с появлением первого фрезерного станка с числовым программным управлением в 1951 г. [6] и на сегодняшний день охватывает управление не только движением, но и другими технологическими параметрами. С появлением электротехнологий возникла необходимость в программном управлении источниками питания.

Начиная с 2001 г. количество представляемых на различных конференциях статей о преимуществах цифрового управления питанием возросло. К сожалению, отсутствие стандартизации и наличие множества различных коммуникационных протоколов создавали до-

полнительные трудности для разработчиков, планирующих использовать данную технологию [5].

Особенности цифрового программного управления в мощных системах электропитания с высокочастотной импульсной модуляцией заключаются в специфических условиях его функционирования. В частности, в таких источниках предъявляются высокие требования к быстродействию и недопустимости сбоев в алгоритмах обработки сигналов управления выходными ключами. Кроме того, в таких источниках питания, как было уже сказано, генерируются мощные импульсные помехи, а, как известно, принципиальным недостатком любых микропроцессорных устройств и контроллеров является их чувствительность к сбоям, несмотря на высокую помехоустойчивость. Если сбой в устройствах с жесткой аппаратной логикой приводит к кратковременным переходным процессам, то сбой микропроцессорных устройств – это полное нарушение алгоритма их работы с непредсказуемыми последствиями. Это вызвано тем, что работа контроллера основана на последовательной обработке инструкций, записанных в его памяти, и при нарушении порядка обработки очереди инструкций нарушается предопределенная трактовка данных и алгоритма. Кроме этого недостатка, при обработке аналоговых сигналов с помощью процессора возникает необходимость в их дискретизации, что приводит к дополнительным погрешностям и временным задержкам.

На сегодняшний день не вызывает сомнения использование ПЛК в диагностике, обеспечении человеко-машинного интерфейса, передаче данных [3]. Переход к микропроцессорным системам управления источниками питания позволил обеспечить новый, недостижимый в аналоговых системах, уровень [9]:

- интеграции управления питанием в систему комплексной автоматизации производства с помощью унифицированных интерфейсов сопряжения с другими системами управления и соответствующих средств программной поддержки;
- местного и дистанционного управления;
- эргономики, с отображением состояния системы питания, с возможностью настройки и оперативного переключения режимов, обеспечением звуковых, цветовых и текстовых подсказок оператору в реальном времени;
- встроенного и удаленного мониторинга системы питания.

Цель статьи – поделиться опытом создания программируемых микропроцессорных блоков управления для работы в условиях очень сильных электромагнитных помех при повышенных требованиях к надежности и стабильности работы.

Автором разработан контроллер PUC32, описанный в работе [7]. На его основе созданы блоки управления питанием плазмотрона, магнитной системы и высоковольтного смещения в вакуумной установке для получения сверхтвердых покрытий, первые образцы блоков питания воздушного плазмотрона для мусороперерабатывающего завода. В процессе эксплуатации устройств выявились некоторые недостатки, а именно: ложные записи в EEPROM при авариях, отсутствие возможности модернизировать дисплей и клавиатуру под конкретные задачи, недостаток памяти для сложных алгоритмов управления, невозможность протоколирования данных непосредственно в памяти контроллера, отсутствие возможности подключения прямых сигналов управления в обход шины RS-485, что необходимо для обеспечения безопасности в аварийных ситуациях. С целью устранения указанных недостатков была произведена доработка контроллера PUC32, который применялся в нескольких новых разработках: для управления воздушными плазмотронами (рис. 1), измерения температуры узлов источников питания (рис. 2); управления мощной системой электропитания электронно-лучевой технологической установкой мощностью 500 кВт (рис. 3).

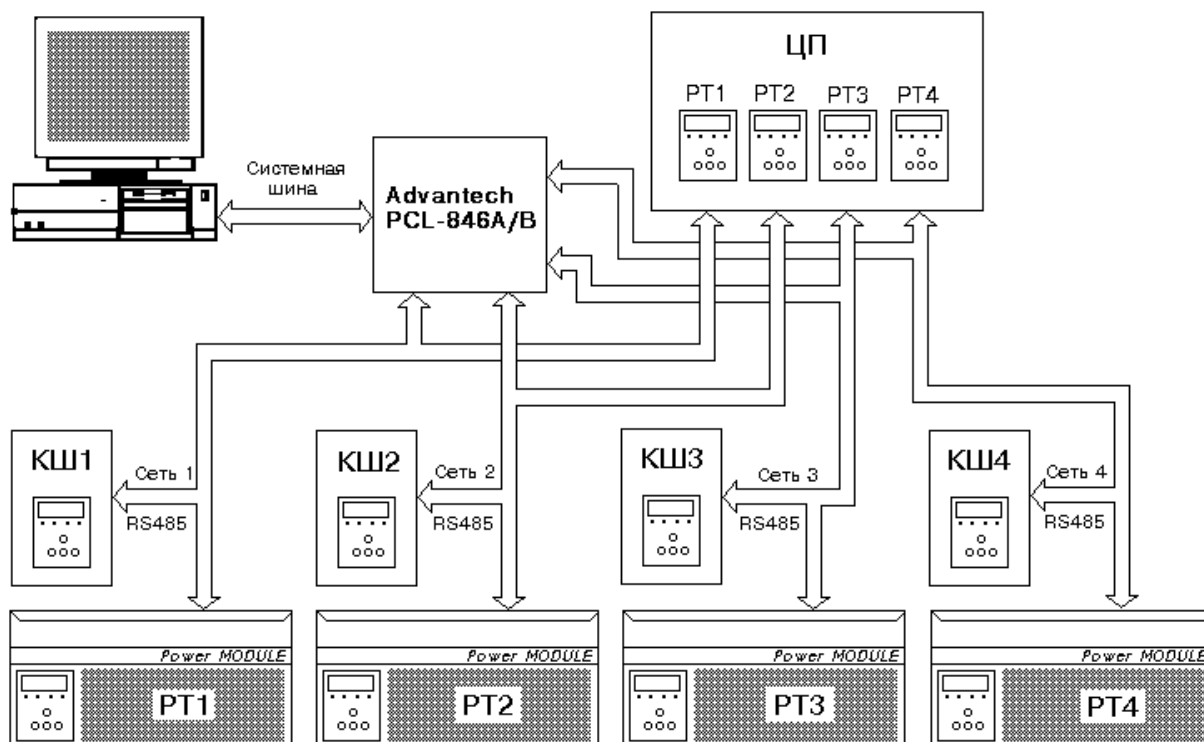


Рис. 1

Цифровое программное управление на основе усовершенствованного контроллера PUC32 [7]. Наилучший способ уменьшить риски при разработке новой техники – использовать готовые разработки, проверенные решения. Обновление наработок, а не разработка «с нуля» позволяет двигаться вперед и это является нормой для успешных компаний. Но в современной теории проектирования процесс разработки должен быть итерационным; он предполагает пересмотр и модификацию исходных данных на каждой итерации, что позволяет подвести под проект более надежную основу.

Концепция контроллера [7] не изменилась: контроллер должен быть простым, надежным, помехоустойчивым. Он обрабатывает 16 входных и 16 выходных дискретных сигналов, с верхним уровнем может быть связан путем применения промышленной шины RS-485, по оригинальному протоколу. Для обеспечения максимальной помехозащищенности были приняты как традиционные меры защиты (1, 4), так и дополнительные, ранее подтвердившие

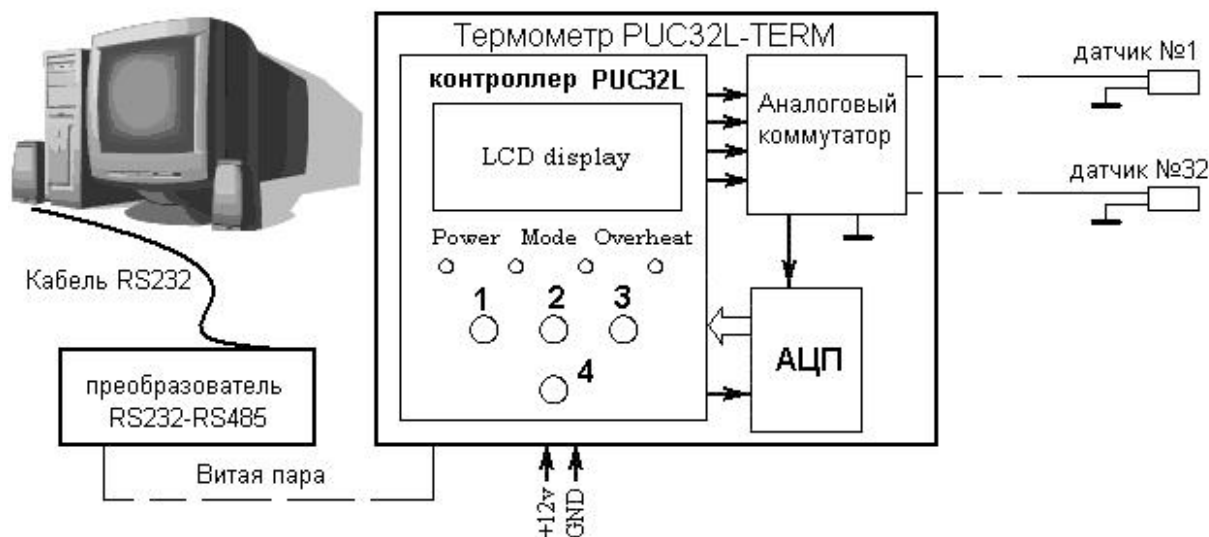


Рис. 2

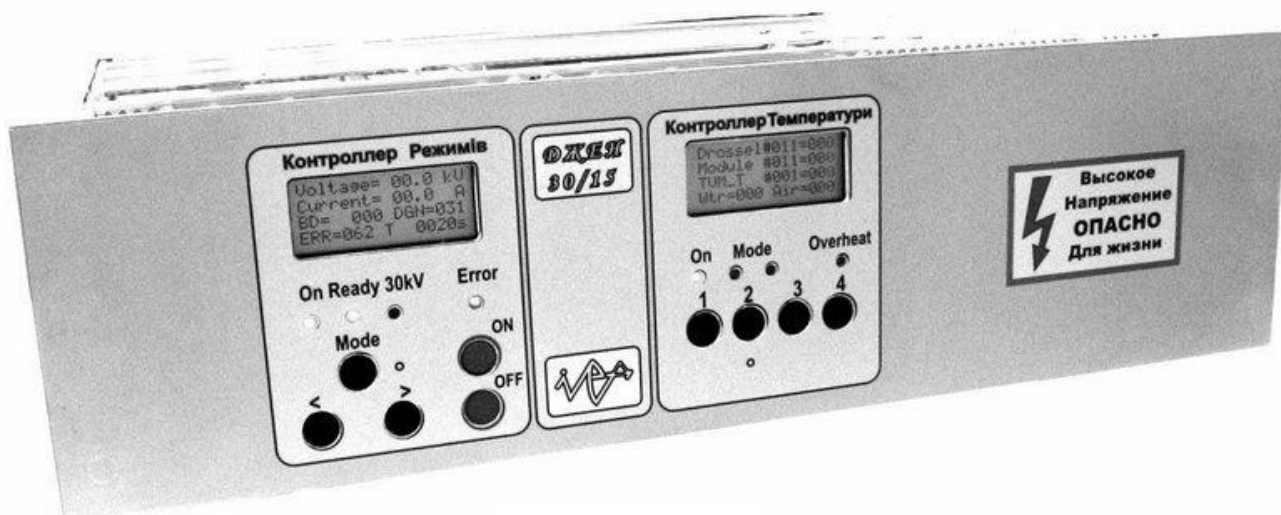


Рис. 3

свою эффективность (2, 3):

1. Полная гальваническая изоляция контроллера от других узлов системы питания.
2. Измерение аналоговых сигналов с применением преобразователей напряжения в частоту. Это решение также упрощает гальваническую изоляцию принимаемых аналоговых сигналов и не требует сложных программируемых устройств на стороне измеряемых сигналов.
3. Передача аналоговых сигналов от контроллера в виде сигналов управления на удаленный цифровой потенциометр с внутренней памятью, что в случае программного сбоя контроллера не приведет к аварийным режимам работы системы.
4. Ограничение полосы пропускания по всем входам и выходам контроллера до 5 кГц.

В новой разработке моноблочная конструкция контроллера была заменена модульной, что увеличивает гибкость и адаптируемость контроллера к различным задачам. Основу контроллера PUC32L составляет модуль процессора, в котором используется процессор SX28 [11], рис. 4.

Контроллер может быть подключен к адресуемой сети RS485 как ведомое устройство, адрес отклика может быть изменен с помощью клавиатуры контроллера и сохранен в EEPROM. На основе такой архитектуры могут быть собраны различные модификации контроллера, содержащие различные индикаторы, клавиатуры и платы подключения.

Анализ опыта эксплуатации предыдущей разработки позволил произвести ряд доработок для улучшения эксплуатационных показателей, эргономики и надежности контроллера, расширения области его применения.

Эргономичность контроллера была улучшена за счет обеспечения возможности разработки индикаторной панели и клавиатуры под каждую конкретную задачу. Так, вместо четырех клавиш, как в предыдущей разработке, обеспечена возможность использования до 128-ми клавиш, вместо трех программируемых светодиодов – шесть, вместо двухстрочного ЖКИ дисплея – одно-, двух- или четырехстрочные в зависимости от за-

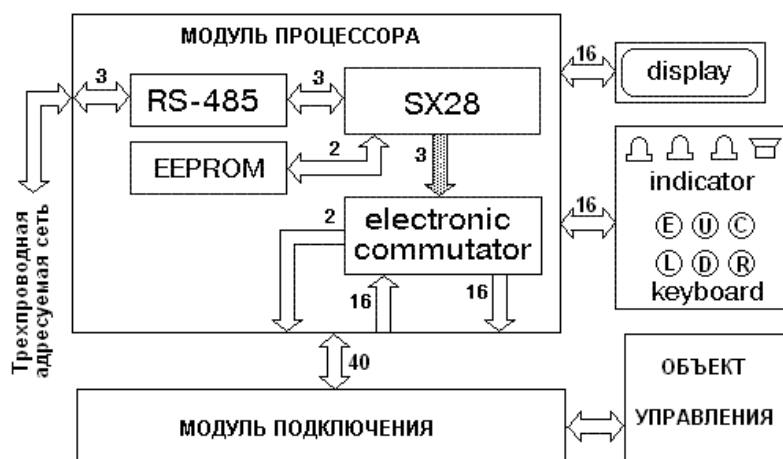


Рис. 4

дач. Данные изменения позволяют разрабатывать более эргономичные панели управления, которые существенно снижают вероятность ошибочных действий оператора.

Расширяемость функций и периферии контроллера была увеличена путем внедрения открытой шины I²C в контроллер, что позволяет подключать как дополнительные микросхемы памяти, так и другие устройства (ЦАП, АЦП, цифровые триммеры и т.д.), которые работают по указанному стандарту на частотах передачи данных от 100 до 400 кГц. Также доработана операционная система контроллера с целью использования EEPROM различной емкости.

Для повышения надежности введена возможность аппаратного запрета записи в EEPROM контроллера, поскольку в процессе эксплуатации предыдущей разработки в условиях сильных электромагнитных помех случались отказы из-за несанкционированной записи в EEPROM.

Несмотря на полную дистанционную управляемость контроллера по шине RS485, в аварийных ситуациях необходимы сигналы прямого действия, которые позволят гарантированно отключить систему питания, включить аварийную сигнализацию и т.д. Для этих целей использованы электромеханические реле (рис. 5). Использование реле позволяет значительно увеличить надежность отключения системы питания в случае выхода из строя как контроллера, так и шины RS485.

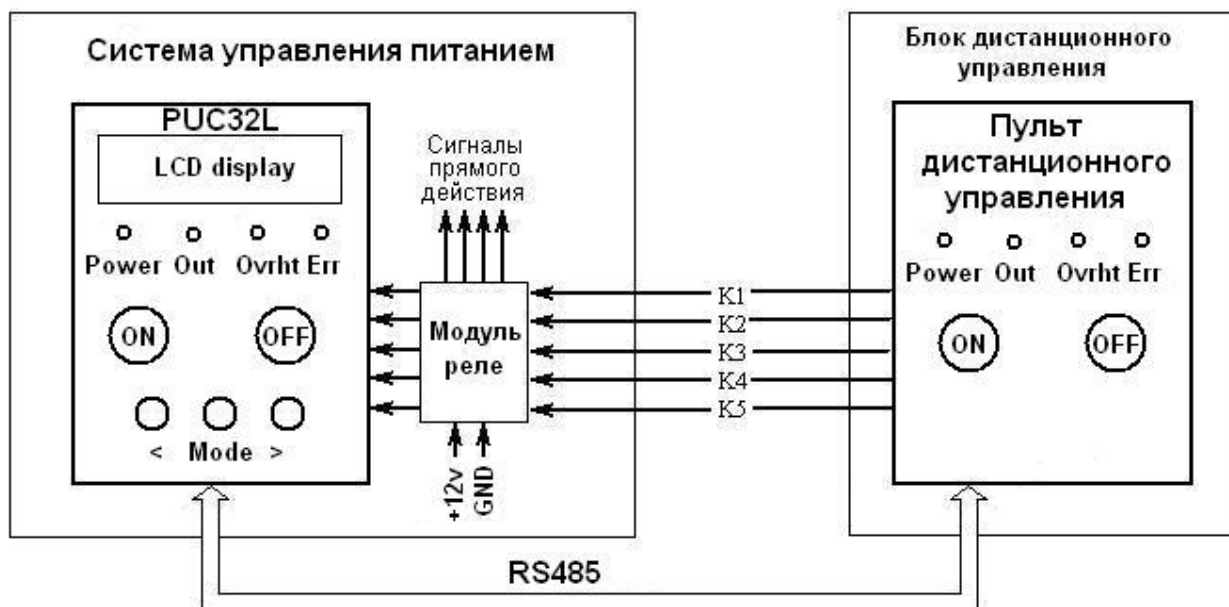


Рис. 5

Контроллеры PUC32L могут работать в адресуемой сети, а значит, могут быть включены в состав системы управления верхнего уровня. Согласно спецификациям примененных устройств RS485 в одной ветке сети, без применения ретрансляторов, может находиться до 32-х контроллеров PUC32L в пределах расстояния 1,2 км. Это позволяет строить территориально-распределенные системы сбора данных и управления.

Примером территориально-распределенной системы может быть система управления питанием четырех мощных воздушных плазмотронов, представленная на рис. 1. В этой структуре независимо работают четыре сети, в каждой из которых находится один ведомый контроллер в регуляторе тока (РТ) и два ведущих: один в коммутационном шкафу (КШ), второй на центральном пульте управления (ЦП). Для того чтобы подключить четыре независимых сети к компьютеру, необходимо, чтобы он был обеспечен четырьмя портами RS485, которые устанавливаются в системную шину компьютера и обеспечивают такую возможность. Эта проблема может быть решена также путем применения четырех индивидуальных

преобразователей RS232/RS485 или другим способом. В качестве примера в данной структуре использовано решение компании Advantech.

Основные достоинства данной структуры:

- единый человеко-машинный интерфейс для всех контроллеров, что уменьшает вероятность ошибок оператора;
- унифицированный контроллер во всех местах, что создает благоприятные условия при аварийном восстановлении системы, обслуживания и ремонта;
- независимая работа сети управления каждым из регуляторов – отказ одного элемента сети выводит из строя только 25 % системы;
- на центральном пульте системы присутствует одновременно информация о работе всех силовых модулей и выходных токах и напряжениях.

Температура узлов мощных систем питания является интегральной диагностической характеристикой исправной работы всей системы в целом. Неисправность подсистемы охлаждения, перегрузка по выходу, выход из строя отдельных компонентов – все это может быть заблаговременно обнаружено посредством непрерывного мониторинга температуры узлов системы – трансформаторов, дросселей, различных полупроводниковых приборов. Кроме этого, необходимость многоканального контроля температуры крайне важна при наладке оборудования, поиске и исследовании его предельных режимов работы.

32-х канальный термометр на основе контроллера PUC32L. С целью решения этой задачи на базе контроллера PUC32L разработан и изготовлен 32-х канальный термометр, предназначенный для многоточечного измерения температуры, обработки, накопления и отображения измеренных данных, передачи по интерфейсу RS485 для отображения их в удобном графическом или текстовом виде на компьютере оператора. Структура термометра представлена на рис. 4. Термометр может эксплуатироваться в составе блока управления системой питания, в автономных системах диагностики и технологического контроля или при лабораторных испытаниях.

32-х канальный термометр PUC32L имеет следующие технические характеристики:

Количество каналов измерения.....	32
Диапазон измеряемой температуры (определяется используемым датчиком), °С	–40...+110
Предел допустимой основной погрешности во всем диапазоне измерений, %	1,5
Интервал времени между измерениями, мс.....	250
Постоянная времени измерения с датчиками RH16, с	6
Параметры питания.....	12 В, 0,3 А
Габаритные размеры, мм	180×130×55
Внешний интерфейс, изолированный RS485, скорость передачи данных, бод.....	19200
Рекомендуемый интервал времени внешнего опроса по линии, с.....	1.

Структура термометра. Термометр построен на базе контроллера PUC32L. Плата коммутатора и АЦП задействуют всего 8 входов и 8 выходов контроллера, остальные входы и выходы контроллера могут быть использованы в структурах управления технологическим процессом.

Датчики температуры выполнены в виде отдельных двухпроводных тонких кабелей, на концах которого находятся терморезистор и разъем соответственно. Нелинейность терморезисторов компенсируется специальной таблицей, размещенной в EEPROM. Для удобства диагностики таблица настроена так, чтобы определить обрыв или короткое замыкание в датчике, индицируя «0» или «255» на экране дисплея.

Термометр может быть подключен к любому офисному компьютеру с помощью преобразователя RS232-RS485. Для графического отображения и мониторинга температурной картины объекта исследования разработаны программа и файл конфигурации. Программа разработана под ДОС, однако она может работать и в среде Windows после некоторых настроек. В среде Windows XP необходима установка специального драйвера, разрешающего прямой доступ к портам 3F8-3FE и установки для данной программы наивысшего приоритета в полноэкранном режиме.

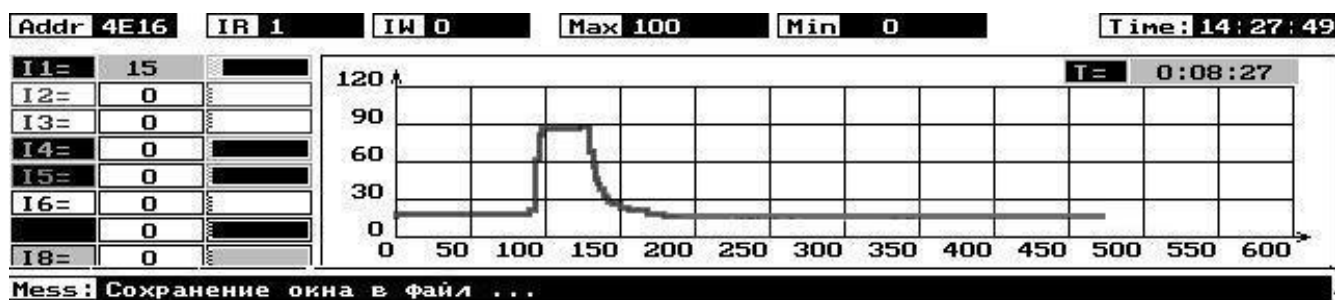


Рис. 6

Часть основного рабочего окна программы представлена на рис. 6.

В этом окне две служебные строки – верхняя и нижняя. В нижней строке можно прочитать сообщения программы и подсказки, в верхней, слева направо:

Addr – адрес контроллера и имя текущей точки;

IR – интервал опроса текущей точки, в секундах;

IW – интервал записи измеренной величины текущей точки, в секундах;

Max – максимальное значение величины для текущей точки;

Min – минимальное значение величины для текущей точки;

Time – текущее время.

Если измеренная величина выходит за пределы рамок, обозначенных в полях Min и Max, меняются атрибуты вывода величины на экран (желтым по красному) для привлечения внимания оператора. Вся остальная информация, присутствующая на экране, задана в текстовом файле PUC32.П и доступна для редактирования. Для данной версии файла конфигурации в левой колонке представлены имена всех 32-х переменных, в средней – текущие величины их температур, правой – пиковые индикаторы и графики для каждой группы точек. На графиках по оси X отображено время в секундах, по оси Y – температура в градусах. Для каждой точки в группе закреплены свой цвет индикатора и линии на графике. Таким образом, можно видеть по восемь графиков в каждой координатной сетке.

Программа позволяет включать и выключать каждую точку из списка опроса, изменять формат и размеры индикаторов и надписей, задавать нужное количество графиков и их размеры, сохранять текущее окно в виде картинки, сохранять в файл протокол опроса.

Последней разработкой на основе контроллеров PUC32L стал блок управления (рис. 3) мощной системой электропитания для электронно-лучевой технологической установки мощностью 500 кВт. В блоке управления использовано две модификации контроллера, один из которых предназначен для управления режимами работы системы питания, а второй – мониторинга температуры.

Для отладки контроллера режимов был разработан и изготовлен имитатор технологической установки, который позволяет генерировать все сигналы управления системой питания. Такое устройство значительно уменьшает затраты на отладку оборудования, поскольку не требует дорогостоящего времени реального оборудования.

Выводы. Приведены особенности и примеры применения программируемых логических контроллеров в источниках электропитания, показаны преимущества цифрового программного управления в мощных системах электропитания технологических установок, которое позволяет сокращать сроки разработки систем управления, улучшать пользовательский интерфейс, создавать эргономические системы управления для электронно-лучевой и плазменной технологий, унифицировать аппаратную часть системы управления, обеспечивать оперативную программную адаптацию системы управления под изменяющиеся требования технологии.

Исходя из собственных результатов исследований и опыта эксплуатации микропроцессорных устройств в мощных источниках электропитания с высокочастотной импульсной модуляцией, была принята смешанная система управления [3]:

– задачі аварійного відключення, захисту і управління вихідними ключами реалізовувати апаратними методами, що забезпечує максимальне швидкодіє і стійкість к сбоям;

– задачі управління режимами роботи системи, діагностики, зв'язи з зовнішньою системою управління і ергономіки реалізовувати на основі ПЛК, програмними методами, що забезпечує максимальну гнучкість і широкі можливості.

Незважаючи на те, що приведений контролер розроблявся для потужних систем електроживлення, область його застосування значно ширше, він може бути використаний в будь-якій іншій області, де потрібний моніторинг і управління.

1. Бодягин А. Автоматизована система управління роботою установки іонно-плазменного напылення в вакуумі МАП-2 // СТА. – 2009. – № 2.
2. Матвеев Н.В. Високовольтні системи електроживлення для мікрохвильових і електронно-лучевих технологічних установок // ІХ Симпозиум «Електротехніка 2030». Доклад 7.07.
3. Мелешин В., Овчинников Д. Застосування мікропроцесорів в системах управління транзисторних випрямачів // Силова електроніка. – 2005. – № 4.
4. Нестеров С. Вакуум-нанотехнології // Наноіндустрія. – 2009. – № 3.
5. Патрик Лефевр. Цифрові джерела живлення: історичний огляд // Компоненти і технології. – 2009. – № 9.
6. Спирidonov А.А., Федоров В.Б. Металлорежущі станки з програмним управлінням. – 2-е вид. – М., 1972.
7. Таранюк А.Л. Універсальний одноплатний контролер з гальванічно роз'язаними ланками аналогового вводу/виводу // Техн. електродинаміка. – 2005. – № 6.
8. ХХІ Міжнародний симпозиум з наукознавства та науково-технічного прогнозування «Прогнозування науково-технологічного та інноваційного розвитку: державна програма України та світовий досвід» (1–3 червня, 2006, м. Київ).
9. ГОСТ 4.405-85 Система показателів якості продукції. Устройства числового програмного управління. Номенклатура показателів.
10. S. de Pablo, Domínguez J.A., Lorenzo S. and Vaquero L.J. A flexible inverter controller for prototypes // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE'97#95.
11. SX User's Manual Rev.2.0.1999 Scenix Semiconductor, Inc // Web: <http://www.ubicom.com>
12. Sam Davis PMBus Defines Standard For Digital Control Of Power Management Subsystems // Electronic Design, July 20, 2005.
13. Web: www.semikron.com
14. Web: www.silabs.com

УДК 621.325.5, УДК 621.314

А.Л. Таранюк, пров. інж.,

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Мікропроцесорний блок системи керування джерела живлення електротехнологічної установки

Розглянуто особливості цифрового програмного керування в системах електроживлення великої потужності з високочастотною імпульсною модуляцією. Описано структуру і наведено приклади впровадження програмованого логічного контролера (ПЛК) в систему керування повітряними плазмотронами, блок моніторингу температури силової частини систем електроживлення, систему живлення електронно-променевої плавильної печі потужністю 500 кВт. Бібл. 14, рис. 6.

Ключові слова: логічні контролери потужних джерел живлення, що програмуються, моніторинг температури у джерелах живлення, системи живлення електронно-променевих печей, системи живлення плазмотронів.

A.L. Taraniuk,

Institute of electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Microprocessor Control System for power supply of electrotechnological installation

A microprocessor based control system features of high-capacity power supply sources based on high frequency transistor converters are analyzed. Structure and applications of Programmable Logic Controller (PLC) to control system of air plasma-gun, temperature monitoring of power supply high-power units, power supply of electron beam furnace in power levels to 500 kW are described. References 14, figures 6.

Key words: programmable logic controller of high-capacity power supply sources, temperature monitoring of power supply, power supply system of electron beam furnace, power supply system of plasma-gun.

Надійшла 4.11.2010

Received 4.11.2010

