



eISSN 2311-2468
Том 2, № 3. 2014
Vol. 2, no. 3. 2014

электронное периодическое издание
для студентов и аспирантов

Огарёв-онлайн Ogarev-online

<https://journal.mrsu.ru>



БЕСПАЛОВ Н.Н. , ИЛЬИН М.В. , КАПИТОНОВ С.С. , МАТЮШКИН В.В.

ГЕНЕРАТОР ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ В СОСТОЯНИИ НИЗКОЙ ПРОВОДИМОСТИ

Аннотация. В статье рассмотрен генератор испытательных импульсов напряжения, который разработан для применения в устройствах, предназначенных для диагностики силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости.

Ключевые слова: вольтамперная характеристика, силовой полупроводниковый прибор, состояние низкой проводимости.

BESPALOV N.N., ILYIN M.V., KAPITONOV S.S., MATYUSHKIN V.V.

TEST PULSE GENERATOR FOR DIAGNOSTICS OF POWER SEMICONDUCTORS IN LOW CONDUCTIVITY STATE

Abstract. The article considers the generator of test voltage pulses. The generator has been designed for devices used to test power semiconductors in a low conductivity state.

Keywords: current-voltage characteristic, power semiconductor device, low conductivity state.

Введение. При эксплуатации силовых полупроводниковых приборов (СПП) их надёжность определяется, главным образом, исходным качеством и режимом эксплуатации. Поскольку технологический процесс производства СПП является нестабильным, значения параметров приборов и их характеристики могут существенно различаться. В следствие отсутствия эффективных методик и оборудования для диагностики СПП, производитель лишён возможности осуществления сплошного контроля характеристик и значений параметров приборов. В паспорт СПП записываются предельные значения параметров приборов, что не даёт полной информации об их реальных величинах. Таким образом, при формировании групповых цепей СПП в одной ветви могут оказаться приборы с существенно различающимися значениями параметров, что при эксплуатации преобразователя приведёт к неравномерному распределению тока или напряжения по приборам группы. В результате на отдельных СПП будет выделяться разная мощность, что приведёт к установлению различных тепловых режимов работы приборов. Для повышения надёжности преобразователя требуется обеспечить одинаковые тепловые режимы работы СПП [1]. С этой целью нужно при формировании групповых цепей приборов осуществлять отбраковку потенциально ненадёжных СПП и их подбор для группового соединения по значениям параметров и характеристикам.

Основными параметрами СПП в состоянии низкой проводимости (СНП) являются параметры его вольт-амперной характеристики (ВАХ), такие как повторяющееся импульсное напряжение $U_{D(R)RM}$ и повторяющийся импульсный ток $I_{D(R)RM}$. В работе рассмотрен

генератор испытательных импульсов напряжения, на основе которого планируется реализация устройства для определения ВАХ СПП в СНП и значений её параметров.

Основная часть. Значения параметров и характеристики СПП в СНП определяются в соответствии с действующим стандартом [2], согласно которому на испытуемый прибор (ИП) следует подавать однополупериодные синусоидальные импульсы напряжения длительностью 1–10 мс и частотой в пределах от одиночных до 50 Гц. Таким образом, для диагностики СПП в СНП генератор должен формировать однополупериодные синусоидальные импульсы напряжения с регулируемой амплитудой. Форма испытательных импульсов, формируемых на выходе генератора, представлена на рисунке 1.

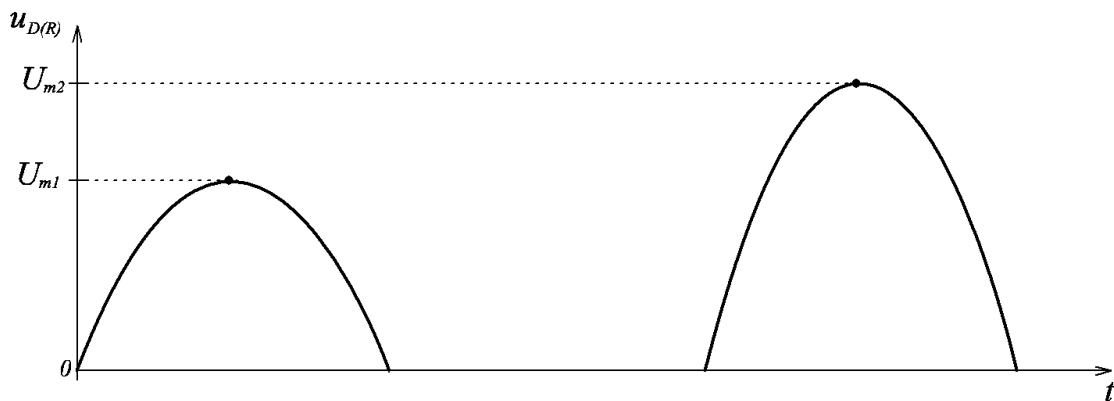


Рис. 1. Форма испытательных импульсов, формируемых с помощью генератора.

Структурная схема генератора, позволяющего подавать подобные испытательные импульсы на ИП, представлена на рисунке 2.

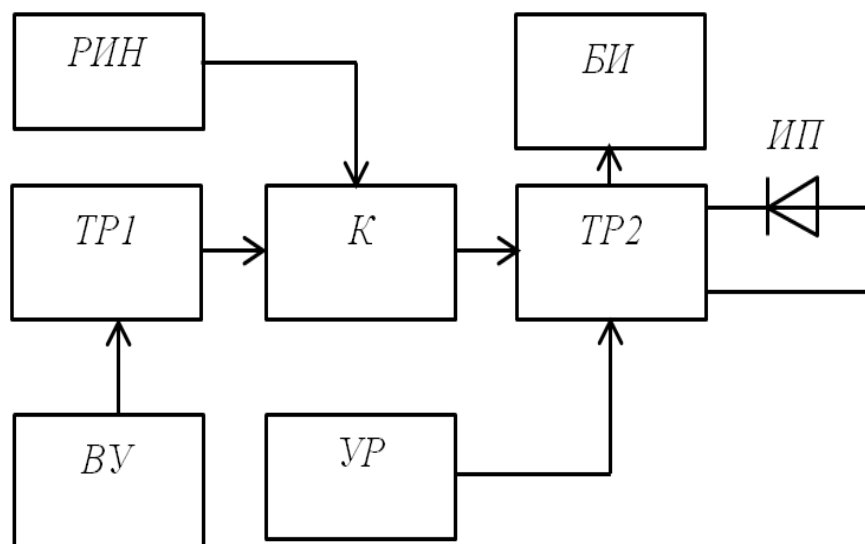


Рис. 2. Структурная схема генератора.

На рисунке 2 введены следующие обозначения: РИН – регулируемый источник напряжения; ТР1, 2 – трансформаторы; ВУ – входной усилитель; К – ключ; УР – устройство размагничивания; БИ – блок измерений; ИП – испытуемый прибор.

Принцип работы разработанного генератора заключается в следующем. Импульсы нужной формы и длительности формируются модулем ЦАП программируемого контроллера автоматизации CompactRIO, выпускаемого компанией «National Instruments». Далее импульсы подаются на блок ВУ. ВУ реализован на операционном усилителе и паре комплементарных транзисторов, включенных в режиме повторителя напряжения. Сигнал, усиленный по току, поступает на трансформатор ТР1, который усиливает сигнал по напряжению до требуемых 300 В в амплитуде. Ключ К представляет собой полевой транзистор, включенный в режиме истокового повторителя. Повышающий трансформатор ТР2 усиливает по напряжению импульсы, поступающие на его первичную обмотку. Импульсы на выходе трансформатора ТР2 в амплитуде достигают напряжения 10 кВ, что позволяет определять класс СПП до сотого. Ток через первичную обмотку трансформатора ТР2 протекают только в одном направлении, это приводит к насыщению стали сердечника трансформатора. Для размагничивания стали сердечника трансформатора ТР2 перед каждым открытием транзистора (блок К) УР подает импульс прямоугольной формы на дополнительную первичную обмотку, включенную в противофазе к первой, тем самым перемагничивая сталь сердечника. Ток, протекающий через СПП, и напряжение на нём поступают на БИ, где они масштабируются, и полученные сигналы подаются на модуль АЦП CompactRIO. Дальнейшая обработка полученных данных производится программно с использованием среды LabVIEW.

Закключение. Разработан генератор, позволяющий формировать испытательные импульсы напряжения синусоидальной формы с регулируемой амплитудой для диагностики СПП в СНП. На основе данного генератора планируется создание аппаратно-программного комплекса для определения значений параметров и характеристик СПП в СНП, отбраковки потенциально ненадёжных приборов и их подбора для группового соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лебедев С. В. Моделирование процессов в силовых полупроводниковых приборах при их групповом последовательном включении в среде Multisim // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – Вып. № 4. – С. 30–35.
2. ГОСТ 24461–80 (СТ. СЭВ 1656–79). Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1981. – 56 с.

ШИШОВ О. В., БОБРОВ М. А.

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ В СИСТЕМАХ «УМНОГО ДОМА»

Аннотация. В статье даются общие характеристики специализированных интерфейсов, применяемых при проектировании систем «умного дома», рассматриваются возможности изучения контроллеров, датчиков и исполнительных устройств, работающих с этими интерфейсами.

Ключевые слова: контроллер, модуль, интерфейс, EnOcean, DALI, GSM, Z-Wave, МОДУС.

SHISHOV O. V., BOBROV M. A.

SPECIALIZED INTERFACES OF SMART HOME SYSTEMS

Abstract. The article provides the general characteristics of specialized interfaces used for smart home systems designing. The authors consider the methods of studying controllers, sensors and actuators that operate on the interfaces in question.

Keywords: controller, module, interface, EnOcean, DALI, GSM, Z-Wave, МОДУС.

Одной из основных задач построения системы управления «умным домом», как и любой системы управления, является организация взаимосвязи центральных программируемых узлов (контроллеров) с датчиками и исполнительными механизмами. Решения этих задач при реализации проекта «умного дома» хотя и базируются на сохранении современных базовых принципов реализации промышленных систем управления (которые обоснованно исторически появились раньше), имеют ряд особенностей. В первую очередь они связаны с желанием обеспечения простоты монтажа оборудования, в том числе в уже эксплуатируемые помещения, получения относительно дешевых и вместе с тем надежных и эргономичных решений. Большинство этих вопросов решается применением программируемых контроллеров и цифровых последовательных интерфейсов. Это сразу позволяет добиться простоты адаптации под конкретный объект и желания заказчика, высокой помехоустойчивости, минимизации числа каналов связи с датчиками и исполнительными устройствами. Каналы связи при этом могут использоваться, как проводные, так и беспроводные.

При использовании цифровых интерфейсов возникает возможность для организации управляющих каналов использовать уже имеющуюся в каждом доме проводку – в первую очередь речь идет о разводке линий сетевого питания. Информационный управляющий сигнал «накладывается» на линии сетевого питания, исключая необходимость подводки к оборудованию отдельных линий связи. Такие подходы особенно эффективны при «интеллектуализации» систем освещения.

На практике приходится сталкиваться с объектами, где затруднительно или категорически запрещено изменять или делать новую проводку (различные памятники архитектуры, музеи и т. д.). В таких условиях при разработке систем «умного дома» становятся необходимыми к использованию беспроводные технологии управления оборудованием. Основными достоинства таких технологий это простота и гибкость монтажа, отсутствие соединительных проводов. Минусом является необходимость каждой единице оборудования иметь автономное питание.

Простые беспроводные технологии будут обеспечивать управление элементами «умного дома», конечно, на короткие расстояния, передавая небольшие объемы информации. Вместе с тем, велико желание уметь управлять «умным домом» издалека. При этом, безусловно, необходимо использовать уже существующие и широко развитые системы мобильной связи, например технологию GSM/GPRS

Необходимость учета перечисленных особенностей организации связи управляющих устройств с датчиками и исполнительными механизмами в «умном доме» привели к появлению, либо специализированных интерфейсов, либо к соответствующему приспособлению уже существующих. Приведем примеры некоторых таких интерфейсов.

Интерфейс EnOcean. Главная особенность работы технологии EnOcean (от англ. Energy Ocean – океан энергии) состоит в получении энергии, служащей для питания беспроводных систем, из окружающей среды. Как правило, эта энергия световая или механическая. Например, для питания датчиков освещённости, датчиков контроля состояния окон и дверей может быть использован фотоэлемент, собирающий световую энергию. А в выключателях для преобразования механической энергии в электрическую и ее накопления используют пьезоэлемент и подсоединённый к нему небольшой конденсатор – конденсатор заряжается энергией электрического разряда, возникающего на пьезоэлементе. Очевидно, что количество собираемой энергии при этом ограничено. В технологии EnOcean экономное расходование собранной энергии обеспечивается малым временем передачи сигнала от датчика к приёмнику. В устройствах EnOcean данные передаются так называемыми радиотелеграммами. Каждая телеграмма имеет длину 14 байт. В каждом цикле передачи отправляются три идентичных телеграммы. Длительность каждой телеграммы – около одной миллисекунды, а интервал между телеграммами – от единиц до десятков миллисекунд, причем его длительность изменяется случайным образом. При этом цикл передачи данных повторяется дважды с интервалом примерно 40 мс. Такой механизм передачи позволяет существенно уменьшить число коллизий между телеграммами от различных устройств EnOcean, а также снизить влияние электромагнитных помех и сделать передачу данных надежнее. Так, при числе устройств менее 100 вероятность правильной передачи близка к 100 %. Характерная

дальность действия (дальность распространения сигнала от передатчика до приемника) на открытом пространстве составляет порядка 300 метров. В помещениях прохождение сигнала сильно зависит от материала стен и перекрытий; этот параметр составляет порядка 30 метров. Частотный диапазон EnOcean-868 МГц. На практике беспроводными устройствами стандарта EnOcean как правило являются различные радиовыключатели, управляющие освещением, приводом жалюзи, штор, а также радиодатчики температуры, относительной влажности, присутствия, освещённости, контроля за состоянием окон и дверей и др.

Интерфейс DALI. В настоящее время для управления освещением в системах «умного дома» всё чаще используют интерфейс DALI (от англ. Digital Addressable Lighting Interface – цифровой адресный интерфейс освещения). Этот цифровой интерфейс разработан совместно компаниями Helvar, Osram и Philips в 1999 году. Является открытым двусторонним протоколом управления электроосветительным оборудованием. Т. е. DALI-совместимые контроллеры могут, как получать данные от устройств, так и передавать им команды. DALI-устройства содержат собственную энергонезависимую память, которая хранит информацию об устройстве, его адресе, принадлежности к группе и некоторые наборы команд или сценарии. Сообщение, которое получает DALI-устройство состоит из адреса и команды. Сообщения, содержащие команды, могут быть персональными (для одного устройства), групповыми и широковещательными. Например: {Device_0315, 30 %} – команда для одного устройства, команда {Group_0100, Script_4} сообщает группе устройств Group_0100, что необходимо выполнить сценарий Script_4. Сценарием может быть любая последовательность команд, например: OFF, 20 %, 40 %, 100 %, 20 %. Результатом этой команды станет отключение устройства (например, лампы), пошаговое увеличение яркости на 20, 40, 100 процентов и обратно до 20. На одной линии DALI-шины можно подключить до 64 устройств. При необходимости подключения большего числа устройств – используют DALI-маршрутизаторы, которые, в свою очередь, можно объединить DALI-шлюзами. DALI-сеть энергоэффективна и обладает отличной устойчивостью даже к мощным помехам. Это возможно благодаря хорошему соотношению сигнал – шум. Сеть может обладать любой, даже смешанной топологией. Ряд DALI-устройств могут использовать для передачи информации силовые кабели, по которым к устройствам освещения подается переменное напряжение питания.

Интерфейс Z-Wave – это распространённый радиоинтерфейс передачи данных, предназначенный для домашней автоматизации. Был разработан для квартир и небольших домов. Обычно такие системы содержат от 5 до 100 устройств. Основная особенность Z-Wave состоит в том, что он относится к формату DIY (от англ. Do It Yourself – «сделай это сам»), т. е. установку и настройку системы владелец жилья может сделать самостоятельно. Протокол разрабатывался специально для управления такими устройствами как свет, жалюзи, ворота,

термостаты и другими путём передачи коротких команд, требующих небольшого энергопотребления. Типичные небольшие задачи, решаемые при помощи Z-Wave – это установка проходных выключателей, перенос выключателей на более удобный уровень, дистанционное управление воротами и жалюзи, включение света по датчикам движения. Все эти задачи в этом случае не требуют прокладывания проводов. Передача данных осуществляется на частоте 869 МГц. Все команды в Z-Wave предельно компактно упакованы. Это нужно для уменьшения размера пакета, что положительно влияет на занимаемое в эфире время, а также на уменьшение потерь при передаче. Z-Wave предназначен для передачи коротких команд без открытия сессии, т. е. совсем не подходит для потоковой передачи потоковых данных. Максимальный полезный размер передаваемых данных составляет 46 байт.

GSM/GPRS. GSM (англ. Global System for Mobile Communications) – интерфейс цифровой мобильной сотовой связи, с разделением каналов по времени и частоте. Этот интерфейс получил широкое применение в системах «умного дома» при решении задач дистанционного управления и мониторинга состояний объектов при помощи мобильного телефона. Это осуществляется путём передачи SMS сообщений на устройства, в состав которых входит GSM модуль. Можно привести много примеров устройств управляемых по командам с телефона. Простейшим примером является широко применяемые «умные» GSM SMS розетки – дистанционно управляемые устройства, включающие в себя GSM-модули. С их помощью становится возможным в любое время с мобильного телефона включать или отключать любые бытовые, осветительные или отопительные приборы.

GPRS (англ. General Packet Radio Service – «пакетная радиосвязь общего пользования»), по своей сути является надстройкой над технологией мобильной связи GSM, осуществляющей пакетную передачу данных. Суть услуги заключается в организации постоянного подключения через GPRS-телефон или GPRS-модем к сети интернет. Для работы в сети можно использовать компьютер, смартфон, ноутбук или электронный органайзер. Используя GPRS, Вы сможете «выйти» в интернет, находясь в любой точке планеты, где есть сотовая связь. Для управления или мониторинга «умного дома» с использованием GPRS центральный управляющий контроллер должен иметь встроенный WEB-портал. При использовании WEB-сервиса появляется возможность просмотра состояния и управления объектами с пересылкой больших объемов информации.

Сфера и объем применения технологий «умного дома» постоянно расширяются и уже существует масса компаний, которые специализируются на выпуске соответствующего оборудования. К этой сфере подключаются и те компании, которые до этого специализировались на выпуске элементов лишь для промышленных систем управления. Так известная российская компания «ОВЕН» с целью расширения области применения продукции

эта компания разработала и выпускает свободно-программируемый контроллер «МОДУС», в состав периферийных модулей которого кроме «традиционных» модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов входят модули специализированных интерфейсов. Тем самым на базе данного контроллера стало возможным проектировать системы «умного дома».

Охарактеризуем кратко эти модули.

«МОДУС 5670 (EnOcean)» – это модуль с радиointерфейсом, который предназначен для сопряжения головного контроллера на шине IMBX с беспроводными устройствами стандарта EnOcean. В составе системы «МОДУС 5670» работает в режиме ведомого устройства.

«МОДУС 5671 (DALI)» – это модуль предназначен для работы с электронными балластами и диммерами, поддерживающими интерфейс DALI. В составе системы модуль работает в режиме ведомого устройства. Конфигурация модуля осуществляется через головной контроллер. Информация и команды передаются в головной контроллер по шине IMBX.

«МОДУС 5675 (GSM)» функционирует совместно с головным контроллером, имеющим внутреннюю шину для его подключения, и не может применяться отдельно, как самостоятельное изделие. Модуль настраивается через потоковый канал посредством AT-команд. Модуль не содержит конфигурируемых параметров и в настройке не нуждается. Настройка всей системы осуществляется в программе предназначенной для конфигурирования головного контроллера. Модуль имеет возможность выполнять приём и передача SMS, приём и передача данных с помощью GPRS, управление приёмом и передачей данных с помощью AT-команд в соответствии со стандартом GSM 07.05 и GSM 07.07, удалённое управление питанием модуля, индикация уровня сигнала GSM-сети и наличия регистрации в GSM-сети, ошибки SIM карты и режимов работы модуля.

В настоящее время на кафедре «Электроники и нанoeлектроники» факультета электронной техники идёт разработка лабораторного стенда на базе контроллера «МОДУС 5684». При помощи стенда в учебном процессе будет решаться несколько задач:

- получение навыков программирования контроллера при использовании пакета CoDeSys V3;
- изучение состава и возможностей периферийных модулей контроллера, в том числе модулей используемых в системе «умный дом»;
- знакомство и получение навыков работы с типовыми датчиками и исполнительными устройствами, применяемых в системе «умный дом».

Контроллер «МОДУС 5684» имеет достаточно большое количество совместимых с ним модулей. Очевидно, что расположить все эти модули, датчики и исполнительные устройства на одном стенде будет нецелесообразно из-за трудности восприятия информации у обучающихся, связанной с большим количеством оборудования, сложности конструкции и больших габаритов стенда. Поэтому представленные цели лучше всего решать последовательно,

постепенно увеличивая объем используемого в лабораторных работах оборудования. Предлагается создавать три лабораторных стенда.

Для изучения основ работы с пакетом CoDeSys V3 и возможностей создания простейших программ служит первый стенд, в его состав будут включены следующие модули:

- МОДУС 5684 – процессорный модуль;
- МОДУС 5620 – модуль приема 8 дискретных входов;
- МОДУС 5626 – модуль, формирующий 6 релейных выходов;
- МОДУС 5630 – модуль, имеющий 4 входа для датчиков с унифицированным сигналом тока и напряжения;
- МОДУС 5635 – модуль формирования 4 выходных аналоговых сигналов (напряжения);
- МОДУС 5672 – модуль для работы с интерфейсом RS-232/RS-485;
- МОДУС 5671 – модуль для работы с интерфейсом DALI;
- МОДУС 5670 – модуль для работы с интерфейсом EnOcean;
- МОДУС 5675 – GSM/GPRS-модем;
- МОДУС 5634 – монитор нагрузки в 3-фазной сети;
- МОДУС 5280 – модуль для программирования;
- МОДУС 5102 – модуль питания.

Формирование входных дискретных сигналов на этом стенде осуществляется подачей на входы соответствующих уровней напряжения с блока питания. Осуществляется это с помощью тумблеров и текущее состояние каждого входа наглядно видно по состоянию соответствующего тумблера. Состояние дискретных выходных контактов отслеживается визуально – выходы управляют включением светодиодов. В состав стенда будет включен генератор тактовых импульсов. Сигнал с этого генератора можно подавать на один из дискретных входов контроллера. Частоту импульсов можно менять. Все это упростит изучение некоторых программируемых функций, например, функций подсчета количества внешних событий.

Для изучения возможности работы с аналоговыми сигналами в состав стенда будет включен источник постоянного напряжения, уровень которого можно менять в пределах от 0 до +10 В. Это напряжение будет подаваться на один из входов модуля ввода аналоговых сигналов. Значение подаваемого напряжения будет отображаться на первой цифровой измерительной головке. Один из аналоговых выходов модуля вывода аналоговых сигналов будет выведен для отображения, формируемого на нем напряжения, на вторую цифровую измерительную головку.

На рисунке 1 показано как предполагается разместить элементы стенда на его лицевой панели.

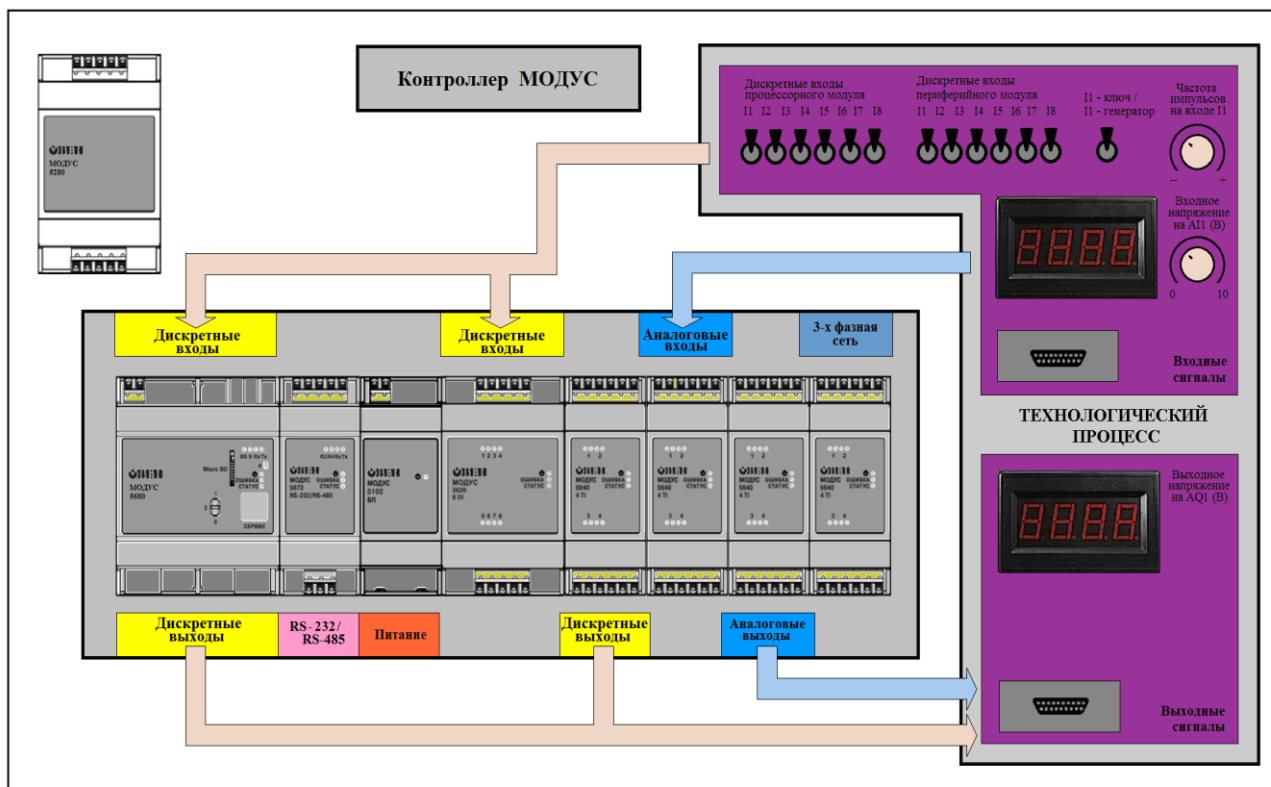


Рис. 1. Размещение элементов стенда на его лицевой панели

На втором стенде предполагается включить датчики и исполнительные устройства, связывающиеся с центральным контроллером по интерфейсам «умного дома»: радиовыключатели и радиодатчики стандарта EnOcean, диммеры и датчики с интерфейсом DALI. Подключение этого стенда к первому позволит по практическому уровню изучить работу с этими интерфейсами и ознакомиться с типовыми устройствами, использующими их.

В состав системы умного дома обязательно входят элементы организации человеко-машинного интерфейса. Поэтому в состав третьего стенда включен панельный контроллер СПК 207, выпускаемый компанией ОВЕН и имеющий графическую операторную панель. Конфигурирование и программирование панельного контроллера ведется в пакете CoDeSys V3. На этом же стенде будут размещаться модули удаленного доступа MB110 и MK110, также выпускаемые этой компанией. Объединение панельного контроллера, контроллера МОДУС и модулей удаленного доступа на физическом уровне осуществляется с помощью интерфейса RS-485. Использование в различных комбинациях трех стендов и их компонентов позволит формировать отличающиеся друг от друга сетевые конфигурации с разными ведущими устройствами и ставить перед учащимися цели по изучению соответствующих вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишов О. В. Современные технологии промышленной автоматизации : учеб. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 276 с.
2. Шишов О. В. Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие. – Москва: ИНФРА-М, 2011 г. – 397 с.

ФЕДОТОВ Ю.Б., ШЕВЕЛЕВ К.А.

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Аннотация. Рассматриваются появление и дальнейшее развитие автомобилей, работающих на электрическом двигателе, а также возможные источники энергии для электромобиля.

Ключевые слова: электромобиль, история электромобилей, создание электромобилей, электрический двигатель, источники энергии.

FEDOTOV. YU. B., SHEVELEV K.A.

HISTORY OF ELECTRIC VEHICLES' ORIGIN AND DEVELOPMENT

Abstract. The article considers the emergence and further development of vehicles that run on an electric motor. In this connection the authors present a review of electric energy potential sources.

Keywords: electric car, electric cars history, the creation of electric vehicles, electric motor, battery.

Первый электромобиль был изобретён в 1841-ом году, ещё до создания двигателя внутреннего сгорания, и представлял из себя обычную тележку, снабжённую электромотором.

В России первый электромобиль увидел свет в 1899-ом году – автором является инженер Ипполит Романов из Санкт-Петербурга. За основу кузова он взял манер английских транспортных средств, сделав задние колёса по диаметру больше передних. Что касается характеристик, то электромобиль обладал четырьмя лошадиными силами и работал на свинцовом аккумуляторе, который требовал перезарядки почти каждые 65 километров пройденного пути и позволял развивать скорость от 1,6 до 37,4 км/час.

В конце XIX века электромобили записали на своё счёт ряд достижений, которые показали перспективы развития данного типа транспорта. Модель электромобиля La Jamais Contente, разработанная бельгийцем Камилем Женатци, стала первым транспортным средством, преодолевшим порог скорости в 100 км/час (105,8 км/час) на суше. В качестве источника использовались два электродвигателя. Кузов данного транспортного средства был изготовлен из алюминия и вольфрама и внешне напоминал торпеду. А затем данный рекорд был побит другим автомобилем, работающим на электричестве, конструктором которого является Уолтер Бейкер – 130 км/час. Электромобили отличаются не только скоростными достижениями. Например, модель фирмы «Борланд Электрик» преодолела расстояние в 167 километров, проехав от Чикаго до Милуоки, и при этом ни разу не останавливалась для

перезарядки. Это показало, что в потенциале данный тип транспортного средства способен преодолевать большие расстояния.

В начале XX века между электромобилем и транспортом, работающем на двигателе внутреннего сгорания, была сильная конкуренция. Оба типа автомобилей обладали примерно одинаковой мощностью, запасом хода и скоростью, но у каждого из них были свои определённые проблемы. Главным недостатком электромобиля являлась регулярная зарядка батареи. Для того, чтобы восстановить заряд аккумулятора, его подключали к электромотору, работающему на переменном токе. Но поскольку на тот момент преобразователь переменного тока в постоянный ещё не был изобретён, данный процесс являлся достаточно проблематичным.

Не смотря на то, что в 1906-ом году был изобретён первый выпрямитель тока, который несколько облегчил зарядку электромобиля, этот процесс по-прежнему оставался трудным и неудобным. Из-за этого автомобили, работающие на двигателе внутреннего сгорания, стали более конкурентными на рынке транспорта. Таким образом, уже к 20-м годам XX века число электромобилей составляло всего лишь 1% от общего количества средств передвижения. Однако, не смотря на низкую востребованность, инженеры продолжали работать над совершенствованием электромобиля и видели у него большие перспективы. Например, описание автомобиля, работающего на электричестве, приводится в энциклопедии Брокгауза Ф.А. и Ефрона И.А.[1]:

Самым многообещающим типом автомобиля в будущем можно считать электрический, но пока он ещё недостаточно усовершенствован. Электрические двигатели не дают ни шума, ни копоти, они, бесспорно, удобнее и совершеннее всех других, но А. должен вести свой источник энергии: аккумуляторную батарею, которая пока ещё слишком тяжела и непрочна. Поэтому невозможно возить с собою запас энергии на длинный путь, а вновь заряжать аккумуляторы и заменять истощённые другими возможно лишь при езде в городах или от одной специально устроенной станции до другой. Существуют уже более лёгкие аккумуляторы Эдисона, но они ещё не получили распространения, так как, вероятно, ещё недостаточно усовершенствованы своим изобретателем. Электрические А. были пущены в обращение Jeantaud и многими другими с самого начала автомобилизма: на конкурсе 1904 г. в Париже были даже, по-видимому, парадоксальные А. Жанто и Крижера: газолиново-электрические, действовавшие недурно. В нём газолиновый мотор приводил в движение динамо-машину, которая давала ток для электрического двигателя; оказалось, что такая электрическая трансмиссия поглощает процентов на 20 меньше энергии, чем обыкновенная механическая и удобна для регулирования скорости.

Во второй половине XX века электромобиль получил буквально «второе дыхание»: в 60-е годы человечество столкнулось с экологическими проблемами, создаваемыми транспортными средствами, работающими на двигателе внутреннего сгорания, из-за чего ему пришлось снова обратиться к автомобилям, не делающим вредных выхлопов в атмосферу Земли. А в 70-е годы начались энергетические кризисы, спровоцировавшие резкое увеличение стоимости топлива, благодаря чему электромобиль укрепил свою позицию на рынке транспорта. Однако в начале следующего десятилетия интерес к нему снова стал снижаться, цены на топливо начинали устанавливаться на приемлемом уровне, что возобновило интерес к автомобилям, работающим на топливе. Электромобили снова потеряли конкурентоспособность, т.к. значительно уступали другим видам транспорта по своим характеристикам.

В 90-е годы некоторые компании, занимающиеся производством транспорта, к числу которых относились Honda, Ford, Toyota и General Motors, занялись разработкой электромобилей и гибридов (автомобилей, оснащённых как электродвигателем, так и двигателем внутреннего сгорания), благодаря чему на рынке появились довольно качественные образцы данных типов транспорта. Стоит отметить, что в США труды автомобильных компаний были восприняты крайне положительно, т.к. на территории некоторых штатов страны из-за плохой экологии было принято решение ввести в эксплуатацию определённый процент транспорта, не производящего выхлопов.

В настоящее время электромобиль хотя и не является самым востребованным транспортным средством, его актуальность не снижается. В городах некоторых стран можно встретить автомобили, работающие на электричестве. Учитывая постепенный рост цен на нефть, наметилась тенденция отказа от транспорта с двигателем, работающим на жидком топливе. В России электромобили поступили в продажу в октябре 2011 года и первой моделью, работающей на электричестве, стала Mitsubishi i-MiEV.

Как упоминалось выше, интерес к электромобилю в наши дни не исчезает, поэтому конструкторы продолжают активно работать на усовершенствование данного типа транспорта. Так, в 2010 году было совершено несколько достижений. Модель Daihatsu Mira EV, оснащённая электродвигателем, проехала 1003,184 км без подзарядки. Электромобиль «Venturi Jamais Contente» развил скорость 495 км/ч на начальном рубеже в 1 км. Электромобиль «lekker Mobil» установил рекордную дистанцию в движении по улицам города с включенными вспомогательными системами без подзарядки: 605 км [2].

На данный момент электромобили обладают несколькими типами источников энергии, для питания электродвигателей [3]:

1. Электромобиль, работающий на аккумуляторных батареях. Это самый первый тип электрического источника движения, который был помещён на автомобиль. Благодаря своей простоте аккумуляторы для автомобилей получили широкое распространение в начале XX-го века. Движение транспорта осуществлялось следующим образом: с помощью электропроводки и системы управления аккумуляторная батарея подсоединялась к Тяговому электродвигателю, а тот, в свою очередь, передавал крутящий момент главной передаче с помощью карданного вала.

2. Электромобиль, работающий на топливных элементах. Преимуществом данного типа является увеличение запаса хода за счёт увеличения массы топлива, содержащегося в топливных баках. Однако обслуживание данного типа транспорта является слишком дорогим из-за высокой стоимости топлива, а при переработке топливных элементов в атмосферу могут выделяться токсичные отходы.

3. Электромобили на солнечных батареях. Данный тип автомобилей обладает немалым количеством минусов, т.к. работает исключительно за счёт Солнца, а на данный момент не существует опытных образцов, которые накапливают достаточное количество энергии днём, чтобы её хватало для движения ночью или в пасмурную погоду. Также электромобили обладают низким КПД, который находится в диапазоне 10-15%.

4. Возможным источником энергии является суперконденсатор, изобретённый относительно недавно. Особенностью данного типа источника энергии является его большая ёмкость и малое время заряда, а также возможность отдавать большие импульсы мощности.

В заключении можно отметить, что, не смотря на то, что в наше время электромобили не являются основным средством передвижения на улицах городов, их роль в развитии транспорта крайне важна, т.к. они обладают большим потенциалом, и при должном развитии и совершенствовании могут превзойти машины, работающие на двигателе внутреннего сгорания. Электромобили являются перспективным направлением при применении новых источников энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малый энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона / В современной орфографии. - Петербург: Издательское общество "Ф.А. Брокгауз - И.А. Ефрон", 1907. – 905 с.
2. Автошкола — новости авто мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.autoshcool.ru/4180-elektromobili-istoriya-sozdaniya-i-buduschee.html>
3. Алексеев Ю. Г. Люди и автомобили. – М.: Машиностроение, 1990. – 126 с.

ШИШОВ О. В., ГЕРАСЬКИН Е. В.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АДРЕСОВ ПЕРЕМЕННЫХ
В ПОЛЕ ДАННЫХ ПРОТОКОЛА MODBUS

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению примера программирования логического контроллера ОВЕН PLC100 в среде CoDeSys и операторской панели ОВЕН ИП320 в среде «Конфигуратор ИП320», поясняющего принципы организации сетевого обмена между этими устройствами по протоколу ModBus.

Ключевые слова: контроллер, операторная панель, интерфейс, ModBus.

SHISHOV O. V., GERASKIN E.V.
ALLOCATION OF VARIABLES' ADDRESSES IN MODBUS PROTOCOL DATA FIELD

Abstract. The article discusses an example of programming logic controller OWEN PLC100 environment CoDeSys and operator panel OWEN ИП320 using the "Configurator ИП320" explains principles of network communication between the devices via ModBus.

Keywords: controller, operator panel interface, ModBus.

Современные системы управления промышленным оборудованием все чаще создаются исходя из принципа «распределенного интеллекта», когда они строятся из относительно самостоятельно работающих узлов (контролеров, операторных панелей, модулей ввода-вывода), обменивающихся между собой необходимой информацией по сети. При этом одной из задач проектировщика системы управления становится организация сетевого обмена. Многие производители подобного оборудования для расширения сфер применения своей продукции оснащают ее стандартными сетевыми интерфейсами. Так российская компания ОВЕН для организации сетевого взаимодействия многих своих устройств использует протокол ModBus.

Статья посвящена рассмотрению примера программирования логического контроллера ОВЕН PLC100 в среде CoDeSys и операторской панели ОВЕН ИП320 с помощью программы «Конфигуратор ИП320», поясняющего принципы организации сетевого обмена между этими устройствами по протоколу ModBus.

Весь объем передаваемой информации по протоколу ModBus (поле данных кадра) удобно рассматривать как некое поле памяти, разделенное на некоторое количество равных частей – регистров, каждый из которых имеет свой адрес. Каждый регистр имеет размер в 2 байта и в свою очередь состоит из двух частей по 8 бит. Мы можем использовать четыре типа переменных, каждая из которых занимает определенный объем памяти в поле памяти. Это переменные типа Byte – занимает объем в восемь бит, переменные типа WORD – 16 бит

(один регистр), типа DWORD – 32 бита (два регистра) и типа REAL – используемые при отображении чисел с плавающей запятой, так же занимает объем в два регистра. При организации поля памяти, в зависимости от того, переменные какого типа мы используем в программе, выделяются участки памяти размером в один байт (адресация осуществляется побитно), один регистр (2 байта), или два регистра (4 байта). Введение в поле памяти переменных различных размеров требует определенного структурирования памяти – выравнивания переменных. Суть упорядоченного размещения переменных в области памяти или «выравнивания», принятого в среде CoDeSys, заключается в организации физической памяти таким образом, что однобайтные, двухбайтные и четырех байтные переменные должны располагаться только по определенным адресам. Адрес четырехбайтной переменной должен быть кратен четырем, двухбайтной – кратен двум, а однобайтной – кратен одному.

Для того чтобы разобраться в адресации поля памяти протокола рассмотрим небольшой пример. Предположим, перед нами стоит задача отразить на операторской панели ИП320 состояние трех дискретных датчиков, которые подключены к PLC100, вывести на операторскую панель значение двухбайтной переменной, задаваемой с контроллера (назовем ее disp) и записать в контроллер двухбайтную переменную (disp2), которую мы будем вводить с помощью клавиатуры операторской панели.

Программирование контроллера и операторной панели осуществляется отдельно. Перед началом этих работ в целом определимся, что в сетевом обмене контроллер будет играть роль подчиненного (slave) устройства, а операторная панель будет являться ведущим (master) устройством.

Прежде чем создать программу контроллера необходимо провести его конфигурацию, в рамках которой нужно связать его дискретные входы и выходы с переменными в программе, ввести сетевые элементы и настроить их, а также определить порядок расположения переменных, участвующих в обмене, в поле памяти протокола.

Пусть дискретные сигналы с датчиков поступают на три первых дискретных входа контроллера. Состояние этих входов будут определять в программе битовые переменные in1, in2 и in3. Предложим ввести в программу три переменные out1, out2 и out3, которые будут принимать значения соответственно переменных in1, in2 и in3. В конфигурации контроллера зададим, что значения переменных out1, out2 и out3 будут определять состояния трех первых дискретных выходов контроллера. Это позволит сделать наглядным работу программы контроллера, т. к. состояние его выходов отображается работой светодиодов на передней панели. После данных действий конфигурация ПЛК примет вид как на рисунке 1.

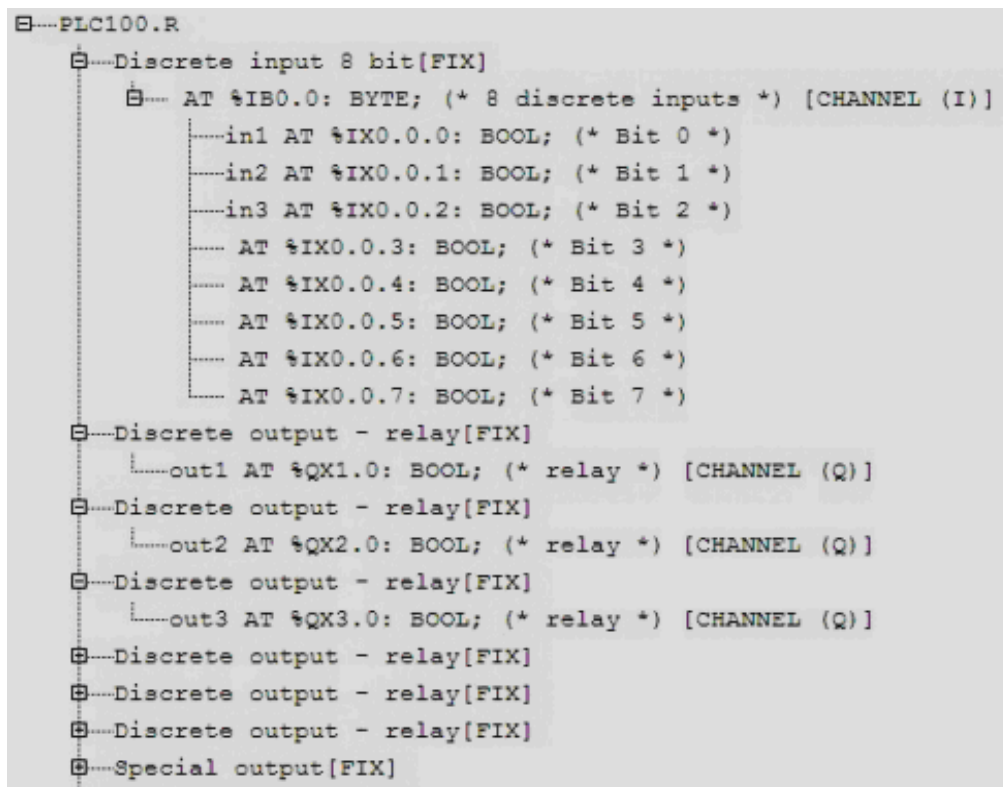


Рис. 1. Конфигурирование входов и выходов ПЛК в пакете CoDeSys для рассматриваемого примера

Введем в конфигурацию сетевые элементы, которые будут участвовать в обмене данными. Начнем с того, что в конфигурацию PLC добавим сетевой модуль ModBus (slave) и настроим параметры этого модуля (установим скорость обмена, наличие бита паритета и стоп бита, установим режим RTU и т. д.). Определим, что на физическом уровне будет использоваться интерфейс RS-485.

Далее введем в конфигурацию контролера (а точнее в конфигурацию его сетевого модуля) сетевые переменные, помня о том, что порядок их ввода скажется на порядке (адресах) их расположения в поле памяти интерфейса. В дальнейшем, при конфигурировании операторской панели, нам необходимо будет указывать эти адреса. Передаваться будут переменные key1, key2 и key3, которые в программе будут принимать значения соответственно переменных in1, in2 и in3.

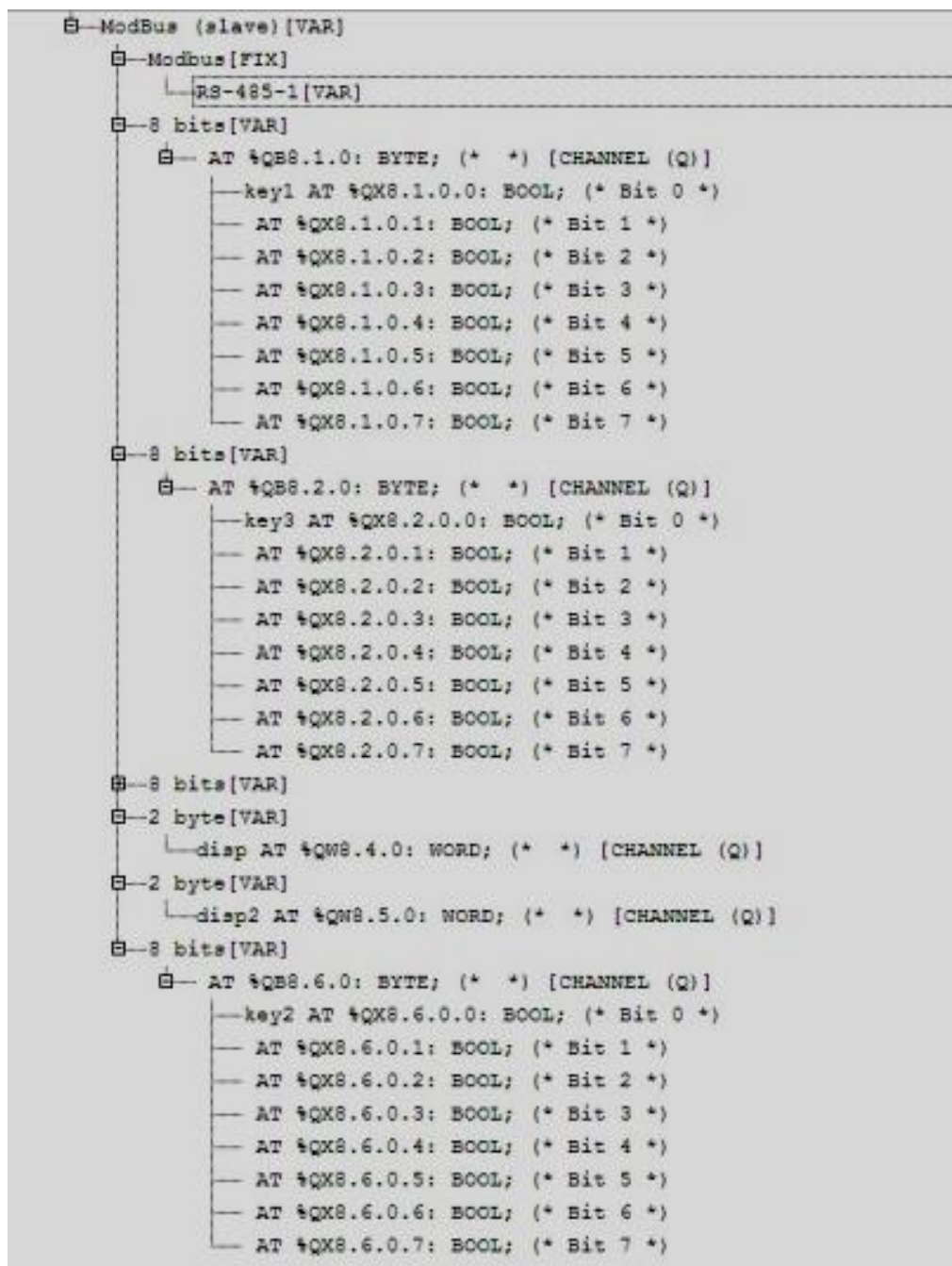


Рис. 2. Конфигурирование сетевых элементов в пакете CoDeSys для рассматриваемого примера

Для передачи битовой переменной key1 в сетевую конфигурацию введен элемент «8-бит». Примем, что состояние переменной key1 будет отражать нулевой бит этого байта. Для передачи битовой переменной key2 в сетевую конфигурацию введен еще один элемент «8-бит». Примем, что состояние переменной key2 будет отражать нулевой бит этого байта.

Безусловно, для передачи двух битовых переменных можно обойтись введением в конфигурацию одного байта. Но демонстрируемый пример составляется так, чтобы наиболее

полно отразить особенности формирования адресов переменных в поле памяти протокола. С этой же целью введем в сетевую конфигурацию третий элемент «8-бит». Будем считать, что он зарезервирован для передачи каких-то переменных еще не введенных в программу на этом этапе ее создания.

Далее в конфигурацию введем два элемента «2-byte». Первый из них будет использоваться для передачи переменной disp, второй – для передачи переменной disp2.

Наконец введем в конфигурацию еще один элемент «8-бит», нулевой бит этого байта будет отражать состояние переменной key3.

Как будет выглядеть конфигурирование сетевых элементов в пакете CoDeSys, показано на рисунке 2. При этом структура поля памяти интерфейса с указанием адресов битов, байтов, регистров для используемых переменных показано в Таблице 1.

Таблица 1.

Размещение сетевых переменных в поле памяти протокола ModBus

Номер бита	Номер байта	Расположение переменных в памяти	Адрес регистра
0...7	0	key 1	0
8...15	1	key 2	
16...23	2	Зарезервированная ячейка	1
24...31	3	↓ Выравнивание переменных ↓	
32...39	4	disp	2
40...47	5		
48...55	6	disp 2	3
56...63	7		
64...71	8	key 3	4
72...79	9		

Первый элемент «8-бит» занимает первый байт регистра с адресом «ноль», второй элемент «8-бит» – второй байт этого регистра, третий элемент «8-бит» – занял первый байт регистра с адресом 1, второй байт регистра с адресом 1 не используется переменной disp, так как структурирование памяти ведется по регистрам, и переменной disp достается полностью регистр с адресом 2, а переменной disp2 – регистр с адресом 3, четвертый элемент «8-бит» занял первый байт регистра с адресом 4.

При задании адреса битовой переменной в поле памяти протокола указывается номер бита без учета деления памяти на байты и регистры, поэтому в дальнейшем при

конфигурировании операторной панели адрес битовой переменной key1 будет указываться равным 0, переменной key2 в поле памяти будет соответствовать бит с адресом 8, переменной key3 – бит с адресом 48.

Адрес двухбайтной переменной в поле памяти протокола задается номером регистра.

Рисунок 3 показывает программу работы контроллера, созданную для этого примера. Программа создана в пакете CoDeSys на языке CFC. Программа создавалась лишь для демонстрации рассматриваемого примера, поэтому является максимально простой. Сигнал, соответствующий уровню логической единицы или нуля, подаваемый на вход контроллера in1, будет передаваться на выход контроллера out1. Сигнал, подаваемый на вход in2, будет передаваться на выход out2. Сигнал, подаваемый на вход in3, будет передаваться на выход out3. Одновременно по значениям входных сигналов будут формироваться значения сетевых переменных key1, key2 и key3. Значению переменной disp присваивается значение 100, переменной p при работе программы будет присваиваться значение переменной disp2.

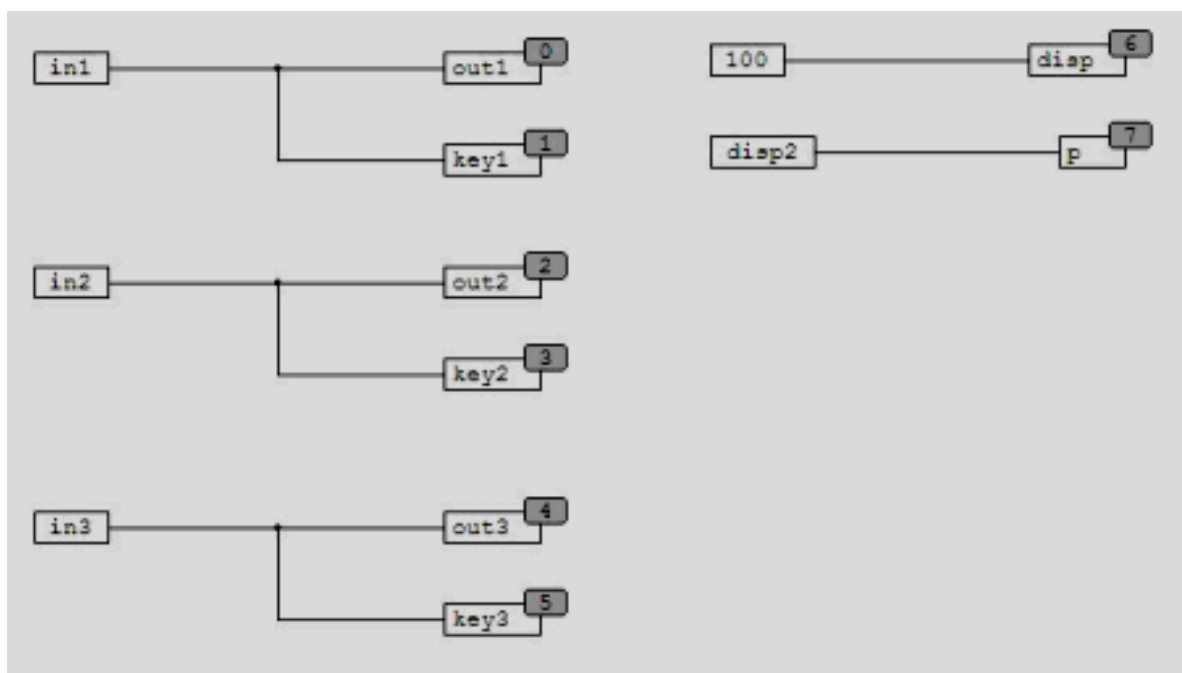


Рис. 3. Пример программы PLC100

Перейдем к конфигурированию операторской панели ИП320 с помощью программы «Конфигуратор ИП320». Прежде всего, в конфигураторе нам нужно осуществить общие сетевые настройки – указать, что в сетевом обмене панель будет являться ведущим (master) устройством, выставить скорость обмена данными (она устанавливается та, которую мы указали при конфигурировании сети контроллера). Далее нам нужно указать способ отображения данных на экране и указать адреса, по которым операторская панель будет

устанавливать или брать значения соответствующих данных в поле памяти протокола ModBus. Эти адреса нам известны – мы их определили (фактически задали) ранее, задавая конфигурацию сетевых элементов контроллера.

Используя знание адресов в соответствии с приведенными выше рассуждениями об адресах в поле памяти используемых нами переменных, проводим конфигурирование панели так, как это последовательно показано ниже.

Для отображения переменных out1, out2 и out3 выбран элемент «Лампа» – в зависимости от значения переменной на экране операторной панели она будет менять свой цвет. Рисунок 4 показывает, где на экране будет размещаться «Лампа» соответствующая переменной out1 и определение ее адреса в поле переменной. Этот адрес равен 0, т. е. это нулевой по счету бит в поле памяти протокола.

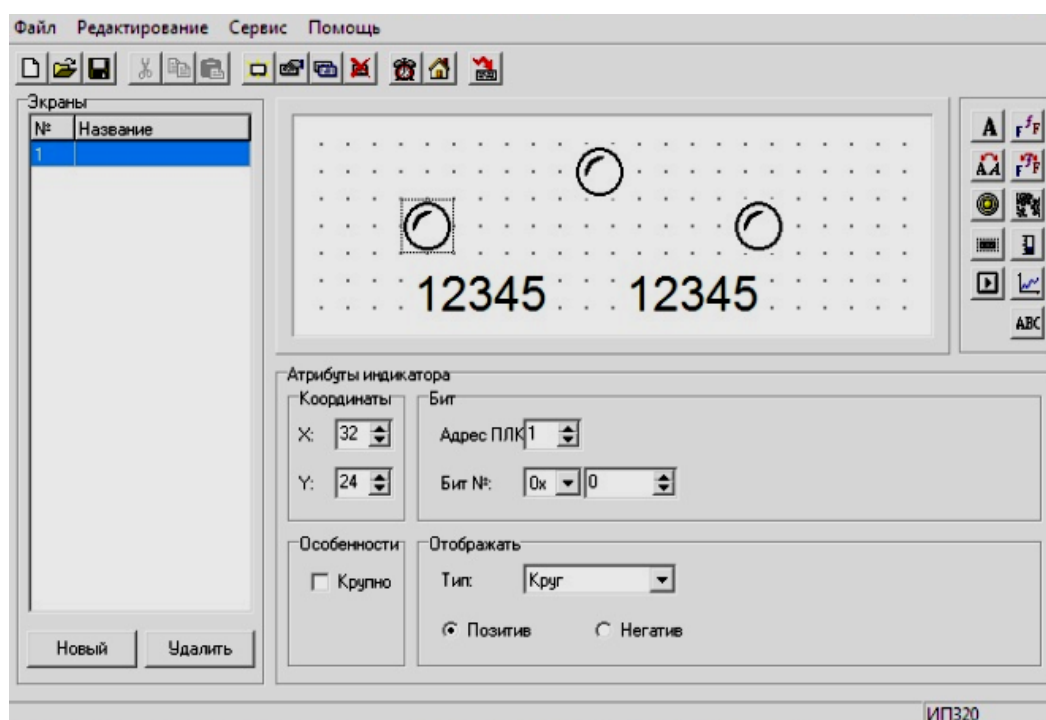


Рис. 4. Конфигурирование элемента «Лампа» для отображения состояния первого дискретного датчика

Рисунок 5 показывает, где на экране будет размещаться «Лампа» соответствующая переменной out2 и определение ее адреса в поле переменной. Этот адрес равен 8, т. е. это восьмой по счету бит в поле памяти протокола. Рисунок 6 показывает, где на экране будет размещаться «Лампа» соответствующая переменной out3 и определение ее адреса в поле переменной. Этот адрес равен 64, т. е. это шестьдесят четвертый по счету бит в поле памяти протокола.

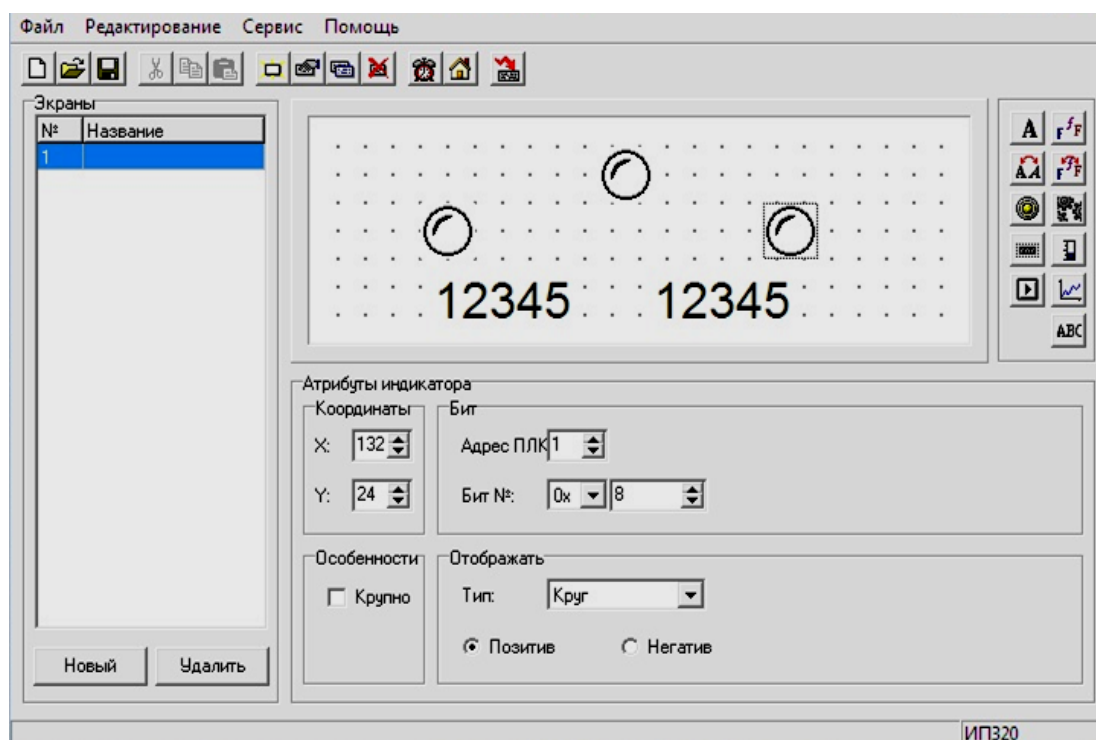


Рис. 5. Конфигурирование элемента «Лампа» для отображения состояния второго дискретного датчика

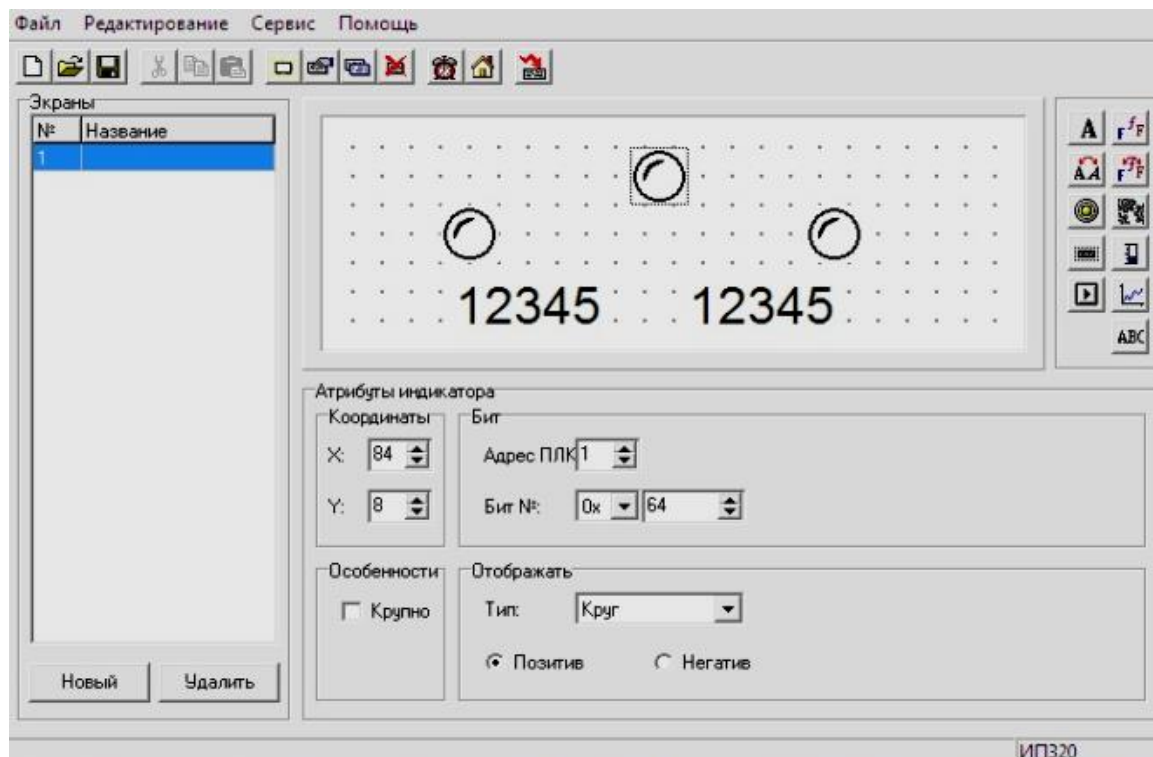


Рис. 6. Конфигурирование элемента «Лампа» для отображения состояния третьего дискретного датчика

Для отображения переменных `disp` и `disp2` выбран элемент «Дисплей» – на экране операторной панели эти элементы будут отражать значения переменных в цифровой форме. Рисунок 7 показывает, где на экране будет размещаться «Дисплей», соответствующий переменной `disp` и определение ее адреса в поле переменной. Этот адрес равен 2, т. е. это второй регистр в поле памяти протокола.

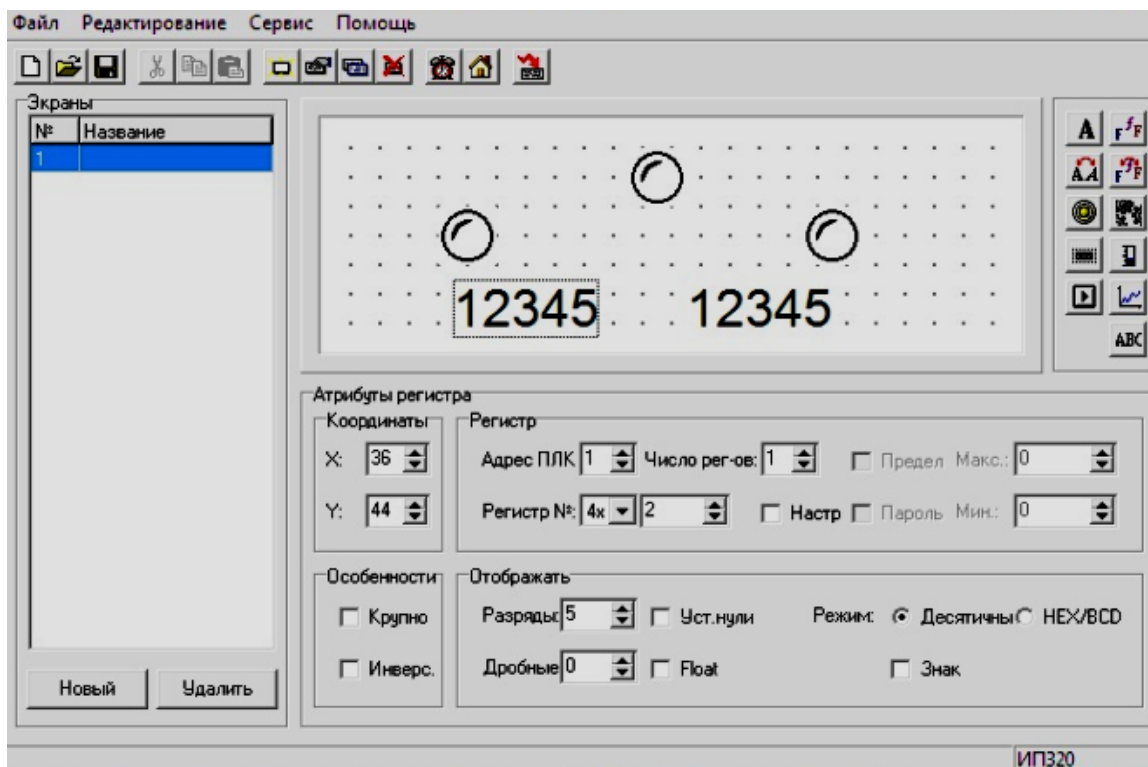


Рис. 7. Конфигурирование элемента «Дисплей» для вывода на ИП320 значения двухбайтной переменной

Рисунок 8 показывает, где на экране будет размещаться «Дисплей», соответствующий переменной `disp2` и определение ее адреса в поле переменной. Этот адрес равен 3, т. е. это третий регистр в поле памяти протокола.

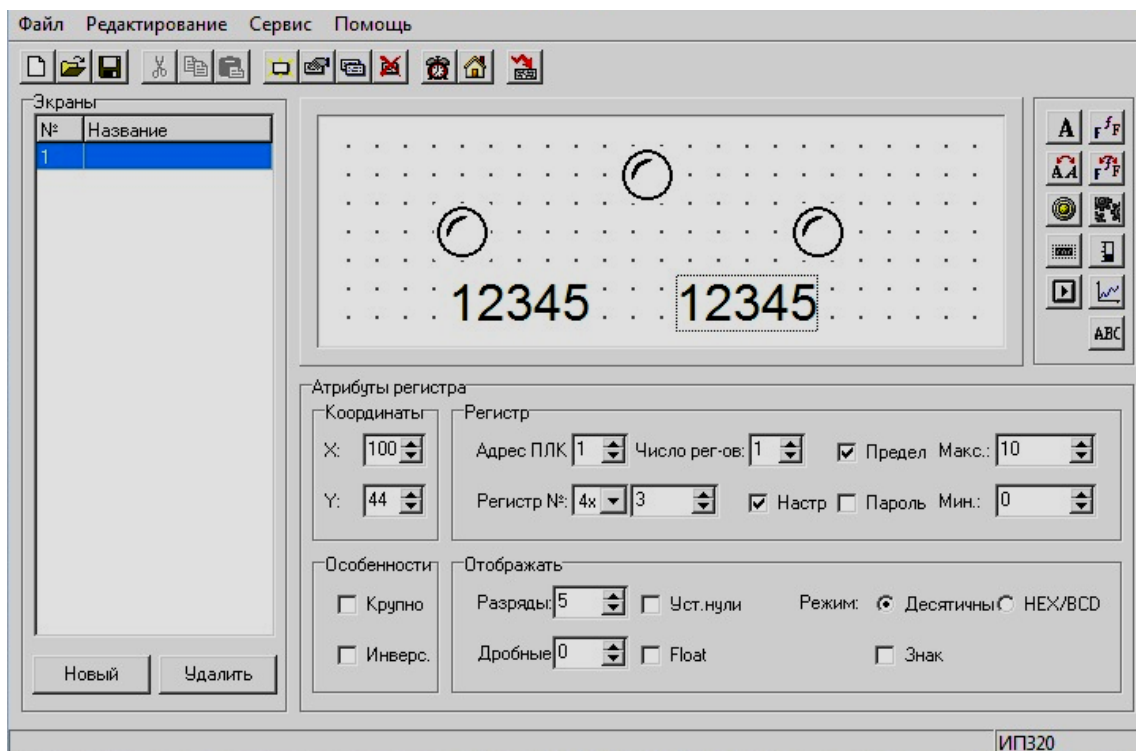


Рис. 8. Конфигурирование элемента «Дисплей» для ввода значения
двухбайтной переменной с ИП 320

Осуществив загрузку программы контроллера в контроллер и проекта визуализации в операторную панель, соединив их между собой сетевым кабелем необходимо убедиться в их совместной работе.

Данный пример наглядно показывает основные принципы работы с адресами переменных в поле данных кадра при организации сетевого взаимодействия по протоколу ModBus. Пример разрабатывался для учебных стендов лаборатории «Современные системы промышленной автоматизации» кафедры электроники и наноэлектроники Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишов О. В. Современные технологии промышленной автоматизации : учеб. – Саранск Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 276 с.
2. Шишов О. В. Технические средства автоматизации и управления : учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 397 с.
3. Программируемые логические контроллеры: ОВЕН ПЛК. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.owen.ru

ЧИСТЕНКОВА А.Н., БАЛЬЗАМОВ А.Ю.

АНАЛИЗАТОР ПАРАМЕТРОВ ОДНОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Аннотация. В статье рассматривается построение прибора для измерения основных параметров однофазной сети переменного тока: действующих значений напряжения и тока, частоты сети, активной, реактивной, полной мощности и коэффициента мощности. Важнейшие узлы разработанного прибора – датчики тока и напряжения, микросхема прецизионного электросчетчика ADE7753, микроконтроллер ATtiny2313 и жидкокристаллический индикатор MT-20S4M.

Ключевые слова: коэффициент мощности, потери электроэнергии, датчики напряжения и тока, электросчетчик, микроконтроллер.

CHISTENKOVA A.N., BALZAMOV A.YU.

ANALYZER OF SINGLE-PHASE ELECTRICAL CIRCUIT PARAMETERS

Abstract. The article considers the construction of a device for measuring AC single-phase major parameters: effective values of voltage and current; power frequency; active, reactive, total power; power factor. The key parts of the developed device are the following: current and voltage sensors, chip precision meter ADE7753, microcontroller ATtiny2313, and liquid crystal display MT-20S4M.

Key words: power factor, loss of electric power, voltage and current sensors, the meter, the microcontroller.

Рыночные условия нашей страны ставят вопрос об экономном использовании всех видов энергии, в том числе и электрической. Для любого развивающегося предприятия возникает необходимость точного измерения параметров энергопотребления и его прогнозирование. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения определяет ГОСТ 13109-97, который указывает допустимые отклонения от номинальных значений напряжений, частоты, нелинейных искажений и других показателей. Предприятия связи, производители аппаратуры связи и электропитающих устройств для связи руководствуются ГОСТ 5237-83.

На практике фактические значения показателей качества электроэнергии отличаются от нормированных. Напряжение снижается от номинального на 10-25% или превышает номинальное на 10-17%, частота снижается до 49,3 Гц, нелинейные искажения достигают 18%, особенно при питании от дизель-генераторов. Завышение напряжения приводит к переплате за потребленную лишнюю электроэнергию: при $U_{сети} = (1,1 - 1,17)U_{ном}$ переплата составляет 21-29%. Номинальное эффективное значение напряжения при

несинусоидальности его формы обеспечивается за счет завышения амплитуды, к чему чувствительны современные устройства вторичного питания. Электроэнергия – тоже товар и потребитель вправе требовать его качества, не платить за навязываемые излишки. Для того чтобы знать качество этого товара, его показатели нужно контролировать.

В последнее время наблюдается переход от традиционных средств учета и измерения (счетчики электроэнергии, ваттметры, варметры, амперметры, вольтметры и т. д.) к многофункциональным квантующим средствам измерений, способным одновременно и в реальном масштабе времени анализировать десятки электрических величин и параметров энергетических сетей, характеризующих процессы производства, распределения и потребления электрической энергии. С учетом поставленных проблем, вашему вниманию представлена разработка анализатора однофазной сети – портативного многофункционального цифрового прибора для измерения и расчета основных параметров однофазной сети переменного тока: действующих значений напряжения и тока, частоты сети, активной, реактивной и полной мощности и коэффициента мощности.

Основные технические характеристики прибора:

- номинальная частота сети $50 \pm 2,5$ Гц;
- номинальное действующее напряжение 220 В;
- номинальный действующий ток 5 А;
- максимальное действующее напряжение 253 В;
- максимальный действующий ток 30 А;
- диапазон измерения полной мощности от 0 до 7590 ВА;
- диапазон измерения коэффициента мощности от 0 до 1;
- основная приведенная погрешность не более 3 %.

Важным требованием является отсутствие необходимости в специальной подготовке персонала для работы с прибором, обеспечение максимального удобства при измерениях.

Структурная схема прибора изображена на рисунке 1.



Рис.1. Структурная схема анализатора однофазной сети

Основные узлы разработанного прибора – датчики тока и напряжения, измеряющая микросхема, микроконтроллер и жидкокристаллический индикатор.

В основу измерительной части прибора выбрана интегральная микросхема ADE7753 фирмы Analog Devices [1] – прецизионный электросчетчик с последовательным интерфейсом и импульсным выходом. ADE7753 содержит два сигма-дельта АЦП второго порядка, ИОН, температурный датчик и все схемы обработки сигналов, необходимые для измерения активной/реактивной/допустимой мощности и пикового значения напряжения и тока. Все полученные значения сохраняются во внутренних регистрах микросхемы. ADE7753 может работать с различными типами датчиков тока, включая низкоомные шунты и трансформаторы тока. Кроме того, встроенный цифровой интегратор позволяет работать с дифференцирующими токовыми датчиками типа катушек индуктивности Роговского. Этот непосредственный интерфейс устраняет необходимость применения аналогового интегратора, позволяя обеспечить долгосрочную стабильность параметров и точное согласование фазы между каналами измерения напряжения и тока. В зависимости от типа используемого токового датчика интегратор может быть подключен или отключен. На основе данных, полученных от измеряющей микросхемы, можно рассчитывать коэффициент мощности и производить анализ энергетических процессов, происходящих в сети.

За все вычислительные операции отвечает AVR-микроконтроллер ATtiny2313 фирмы Atmel [2]. ATtiny2313 является 8-разрядным CMOS микроконтроллером с низким энергопотреблением, основанным на усовершенствованной AVR RISC архитектуре. Благодаря выполнению высокопроизводительных инструкций за один период тактового сигнала, ATtiny2313 достигает производительности, приближающейся к уровню 1 MIPS на МГц, и обеспечивает разработчику возможность оптимизировать уровень энергопотребления в соответствии с необходимой вычислительной производительностью.

ATtiny2313 имеет 2 Кбайт Flash-памяти программ с поддержкой внутрисистемного программирования, 32 рабочих регистра общего назначения, 128 байт статического ОЗУ, 128 байт EEPROM, 15 линий I/O общего назначения, универсальные таймеры/счетчики с режимами сравнения, внутренние и внешние прерывания, программируемый UART последовательного типа, программируемый следящий таймер с встроенным тактовым генератором и программируемый последовательный порт SPI для загрузки программ в Flash память, а также два программно-выбираемых режима экономии энергопотребления.

В качестве индикатора для отображения информации был выбран четырехстрочный цифробуквенный жидкокристаллический модуль MT-20S4M российской фирмы МЭЛТ, состоящий из БИС контроллера управления и ЖК-панели [3].

Сигналы, пропорциональные значениям напряжения и тока в сети, поступают через датчики тока и напряжения на входы микросхемы-преобразователя ADE7753. После оцифровки все дальнейшие преобразования сигнала, такие как перемножение и фильтрация, происходят с сигналом в цифровом виде. Такой подход обеспечивает высокую стабильность и точность при предельных значениях параметров окружающей среды в течение длительного времени. Микроконтроллер читает содержимое внутренних регистров микросхемы ADE7753 по SPI-интерфейсу и обрабатывает полученную информацию для получения значений семи основных параметров электроэнергии, которые выводятся на жидкокристаллический индикатор.

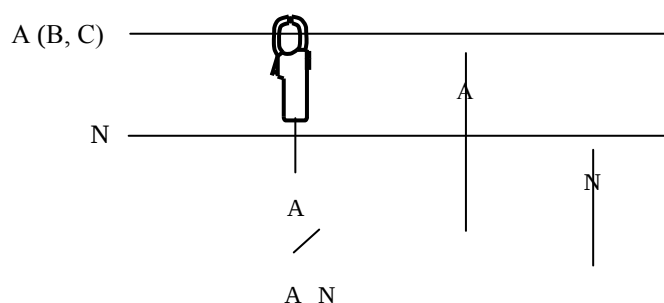


Рис. 2. Схема подключения прибора к однофазной электрической сети

В качестве датчика выбраны токоизмерительные клещи КЭИ-м, которые предназначены для измерения постоянного, переменного и импульсного токов без разрыва силовой цепи. Представляют собой накладной датчик, работающий с внешним источником питания. Состоят из корпуса, разъемного магнитопровода, в зазоре которого закреплен специальный датчик Холла, печатной платы с электронной схемой обработки сигнала [4]. В качестве датчика переменного напряжения выбран датчик ДНТ-02 – это измерительный преобразователь напряжения, предназначенный для измерения переменного напряжения с гальванической развязкой силовой цепи и цепей контроля [5].

Измеритель выводит на ЖК-индикатор значения измеряемых параметров с периодичностью в 1 секунду. Этот временной интервал получаем путем соответствующей настройки внутренних прерываний от таймера/счетчика микроконтроллера. При проведении измерений с помощью токоизмерительных клещей и измерительных щупов (рис. 2) на ЖКИ выводятся все семь параметров сети. Расположение информации на индикаторе представлено на рисунке 3.

Строка 1	$K_m=0,50$
Строка 2	$U=253,0В \quad P=3795,0Вт$
Строка 3	$I=30,0А \quad Q=6573,1ВАр$
Строка 4	$f=50,0Гц \quad S=7590,0ВА$

Рис. 3. Расположение информации на ЖКИ

При запуске прибора выполняются команды инициализации, обеспечивающие необходимую начальную настройку всех его узлов. Далее в цикле выполняются действия по определению параметров сети. В начале цикла происходит вычисление действующего значения напряжения U . Для этого микроконтроллер обращается к 24-разрядному регистру VRMS микросхемы ADE7753. Если содержимое этого регистра равно 0, то это говорит о том, что измерительные щупы не подключены к сети или отсутствует напряжение и что возможно вычисление только тока, если подключены клещи. Если содержимое регистра отлично от 0, то это содержимое записывается в три временных регистра. Далее содержимое временных регистров умножается на коэффициент 0,000183, что необходимо для перевода напряжения в вольты. Затем получившееся значение переводится в двоично-десятичный код и сохраняется в ОЗУ микроконтроллера.

Аналогичным образом находятся действующее значение тока I , активная мощность P , частота сети f и реактивная мощность Q . Затем находится полная мощность S , для чего извлекаются из ОЗУ сохраненные значения U и I и перемножаются между собой. Получившееся значение переводится в двоично-десятичный код и сохраняется в ОЗУ.

Последним находится коэффициент мощности. Из ОЗУ извлекаются сохраненные значения P и S , P делится на S , получившееся значение переводится в двоично-десятичный код и выводится на ЖКИ. Следом выводятся значения U , P , I , Q , f , S .

Область применения разработанного однофазного измерителя коэффициента мощности - энергоаудит, монтажные и пусконаладочные работы, оценка качества потребляемой электрической энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Analog_Devices/system/powermetering/ADE7753.htm
2. <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Atmel/micros/avr/attiny2313.htm>
3. http://catalog.gaw.ru/index.php?page=component_detail&id=4092
4. http://mirmask.ru/kei-m_tokovye_kleschi-_probniki
5. <http://24sells.ru/c499-179121.html>

ЗИНКИН С.Д.

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА НЕСТАЦИОНАРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ГЛУБОКИХ
УРОВНЕЙ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ НА УСТАНОВКЕ DLS-83D**

Аннотация. В статье описывается метод нестационарной спектроскопии глубоких уровней. Представлены результаты измерений стандартным методом DLTS на кремниевых диодах легированных золотом, полученные с помощью установки DLS-83D.

Ключевые слова: DLTS, глубокий центр, донорный уровень, акцепторный уровень.

ZINKIN S.D.

**REALIZATION OF DEEP LEVEL TRANSIENT SPECTROSCOPY METHOD IN
SEMICONDUCTORS ON DLS-83D MEASURING DEVICE**

Abstract. The article describes the deep level transient spectroscopy method. Particularly, it presents the measurement results obtained by the conventional DLTS method on gold doped silicon diodes by using of DLS-83D measuring device.

Keywords: DLTS, deep level trap, donor level, acceptor level.

На параметры и характеристики большинства полупроводниковых приборов влияют глубокие уровни (ГУ), находящиеся в запрещенной зоне полупроводника. Природа этих уровней различна. В основном это дефекты, как собственные точечные, так и протяженные (дислокации). Также глубокие уровни могут создавать различные примеси, например, ионы редкоземельных и переходных металлов. Внешние энергетические воздействия, такие как облучение электронами и другими высокоэнергетическими частицами могут создавать глубокие центры в полупроводниках. Эти центры могут играть как положительную, так и отрицательную роль в полупроводниковых приборах. Поэтому изучение этих центров играет ключевую роль в современной полупроводниковой технологии.

Среди всех методов исследования особо выделяется метод нестационарной спектроскопии ГУ (deep level transient spectroscopy – DLTS). Преимущество метода в его экспрессности. За один проход температурного сканирования можно изучить всю запрещенную зону полупроводника. Метод обладает некоторыми недостатками, которые устраняются с развитием вычислительной техники и развитием техники эксперимента.

Цель данной работы – апробация метода на образцах, в которые специально вводились примеси, создающие глубокие центры в запрещенной зоне. В нашем случае – это золото, которое создает донорный уровень с энергией $E_v+0,34$ эВ и акцепторный – с энергией

$E_c - 0,54$ эВ. Выбор золота обусловлен тем, что уровни золота одни из самых изученных [1]. Измерения проводились на установке DLS-83D, с целью проверки её работоспособности.

Теория метода DLTS. Метод основан на работе [2]. Он заключается в следующем: устанавливается некая стационарная температура, на образец подаются два импульса, сначала обогащающий, затем обедняющий ОПЗ и определяется изменение барьерной емкости ΔC за промежуток времени между t_1 и t_2 при обедняющем ОПЗ напряжении:

$$\Delta C = \Delta C_0 \left[\exp\left(-\frac{t_1}{\tau}\right) - \exp\left(-\frac{t_2}{\tau}\right) \right], \quad (1)$$

где $\tau^{-1} = e_n, e_p$ – скорость эмиссии электронов или дырок с ГУ.

Затем процесс продолжается при следующей температуре. Изменение емкости от температуры имеет вид кривой с максимумом из-за температурной зависимости постоянной процесса.

Величина скорости эмиссии в точке максимума, в случае эмиссии электронов с ГУ, определяется дифференцированием уравнения (1) по постоянной времени. Приравняв производную к нулю, получим, что

$$e_n = \frac{\ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right)}{(t_2 - t_1)}. \quad (2)$$

Изменяя промежутки времени, можно получить температурную зависимость скорости эмиссии (график Аррениуса)

$$\ln\left(\frac{e_n}{T^2}\right) = \ln(K\sigma_n) - \frac{E_c - E_t}{kT}, \quad (3)$$

из которой определяются глубина залегания ГУ ($E_c - E_t$) и сечение захвата электронов σ_n . Для дырок все выполняется аналогично.

В установке DLS-83D для снижения уровня шумов используется модифицированный метод. Релаксация емкости умножается на весовую функцию, имеющую форму прямоугольного сигнала, период T которой задается рабочей частотой синхронного усилителя. Весовая функция синхронизирована последовательно с импульсом возбуждения. Первая половина сигнала умножается на 1, вторая – на -1 . Выходной сигнал ΔC пропорционален разности площадей первого и второго полупериода сигналов. Нормировав по периоду, получается средний уровень сигнала. Так как амплитуда переходного процесса постоянна в данном случае, то выходной сигнал зависит от отношения постоянной времени эмиссии и периода, то есть скорости эмиссии и частоты весовой функции синхронного усилителя.

Изменяя это соотношение, на результирующей кривой появляется пик, соответствующий глубокому центру. Положение пика, скорость эмиссии и частота связаны соотношением:

$$e_n = 2,17 f , \quad (4)$$

где f – частота весовой функции синхронного усилителя, которую также можно назвать частотой окна сканирования.

Описание тестовых образцов. В качестве тестового образца использовался кремниевый импульсный диод КД521, в который специально вводят золото с высокой концентрацией.

Тестовый образец изготовлен следующим образом. Берется подложка электронного типа проводимости легированная сурьмой с удельным сопротивлением 0,01 Ом·см. Эпитаксиальная пленка выращивается газофазной эпитаксией кремния и легируется фосфором. Толщина пленки составляет 17 ± 2.5 мкм. Удельное сопротивление – 1,1 Ом·см. Электронно-дырочный переход получен диффузией бора из конечного источника в окно диаметром 200 мкм. Влияние кривизны и поверхностный пробой устраняется созданием делительного кольца одновременно с формированием p^+ - n -перехода. Глубина залегания p - n -перехода составляла 7 ± 2 мкм. Поверхностное сопротивление диффузионного p^+ -слоя имеет величину 50 Ом/□. Диффузия золота проводится из напыленной пленки при температуре 1000 °С в течение 50 минут [3].

Результаты измерений. Измерения в кремниевых импульсных диодах на установке DLS-83D проводились при следующих режимах:

U_R – величина обедняющего ОПЗ импульса – 10 В

U_1 – величина заполняющего импульса – 0 В

Скорость нагрева образца β – 0,1 К/с

Температурный диапазон сканирования 80 – 400 К

Частота окна сканирования – 50, 250, 1500, 2500 Гц

Длительность заполняющего импульса – 10 мкс

На рисунке 1 приведены DLTS-спектры для диода КД521.

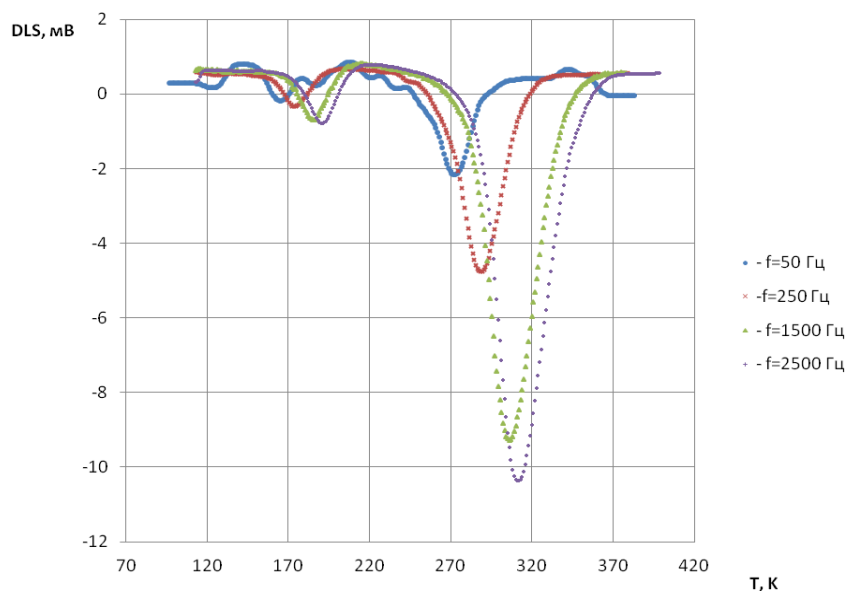


Рис. 1. DLTS-спектры диода КД521

Как видно из спектров наблюдаются два пика, соответствующие релаксации двух ГУ. Для определения положения температур максимумов экспериментальных DLTS-спектров проводилась их аппроксимация, с помощью программного обеспечения, поставляемого с измерительным оборудованием. Рассчитывалась скорость эмиссии. И по парам данных скорость эмиссии – температура максимума строились кривые Аррениуса (рис. 2).

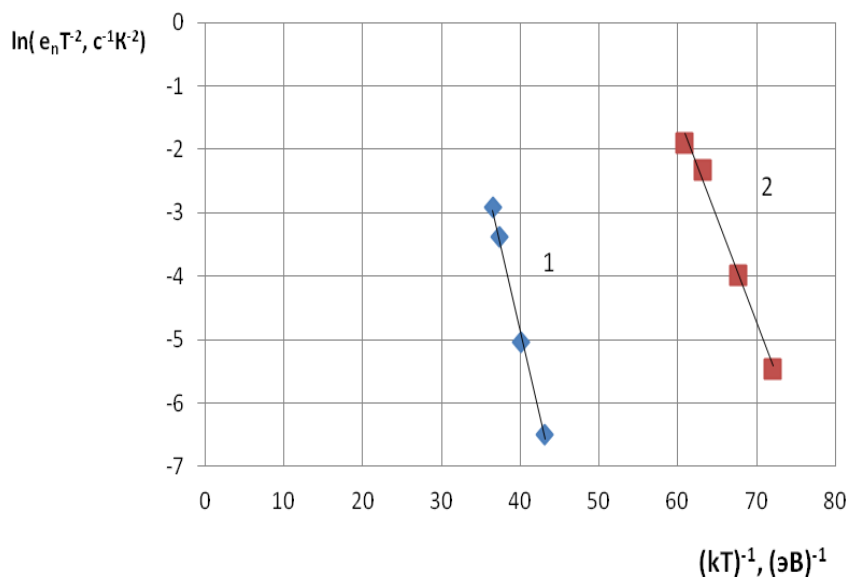


Рис. 2. Кривые Аррениуса: 1 – акцепторный уровень, 2 – донорный уровень

Аппроксимация графиков Аррениуса выражением (3) дала следующие значения энергий и сечений захвата уровней:

1: $E_c - 0,54 \text{ эВ}$, $\sigma_n = 6,4 \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$,

2: $E_v + 0,33 \text{ эВ}$, $\sigma_p = 1,2 \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$.

Идентификация глубоких уровней [4] даёт хорошее соответствие полученных параметров с параметрами акцепторного и донорного уровней золота в кремнии.

В результате проведенной работы, можно сделать вывод о пригодности установки DLS-83D для исследований спектров и основных параметров ГУ в полупроводниковых структурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булярский С.В., Грушко Н.В. Генерационно-рекомбинационные процессы в активных элементах. – М.: Изд-во Моск. ун-та – 1995. – 391 с.
2. Lang D.V. Deep level transient spectroscopy: A new method to characterize traps in semiconductors // J. Appl. Phys. – vol. 45. – 1974.
3. Булярский С.В., Сережкин Ю.Н., Ионычев В.К. Определение параметров глубоких уровней по релаксационной задержке пробоя р-п-перехода // Физика и техника полупроводников. – .33. – вып. 4. – 1999.
4. Defect DLTS Signal Standard Database – [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://www.laplacedlts.eu/defect/>

ИВЕНИН С. В., КРЕСТЬЯНСКОВ Ф. Ю.

БЫСТРОЕ ТЕРМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются особенности процесса термического окисления карбида кремния, в частности, низкие темпы роста оксидной пленки на поверхности карбида кремния и обсуждаются способы быстрого окисления пластин карбида кремния.

Ключевые слова: карбид кремния, термическое окисление, плёнки SiO₂, нитрирование плёнки, нетермическая активация, фотонный нагрев.

IVENIN S. V., KRESTYNSKOV F. YU.

RAPID THERMAL OXIDATION OF SILICON CARBIDE

Abstract. The article considers the peculiarities of the process of silicon carbide thermal oxidation. Particularly, the authors focus on the low growth rate of oxide film on the surface of silicon carbide. In this connection the methods of rapid oxidation of silicon carbide plates are considered.

Keywords: silicon carbide, thermal oxidation, surface of SiO₂, nitriding of films, non-thermal activation, photon heating.

Уникальные свойства карбида кремния: большая ширина запрещенной зоны, чрезвычайно высокое критическое поле лавинного пробоя, высокая теплопроводность и другие, – делают его перспективным материалом для силовой высокотемпературной электроники.

Наличие собственного окисла, полученного нагреванием образца в окислительной среде, является одним из важных преимуществ карбида кремния перед другими широкозонными полупроводниками. Экспериментально было установлено, что на поверхности карбида кремния при нагревании в атмосфере кислорода образуется пленка SiO₂. Слои SiO₂ на поверхности карбида кремния можно выращивать и в атмосфере водяного пара (влажного кислорода), подобно тому, как это делается на кремнии.

Процесс окисления во влажном кислороде (в парах воды) и в сухом кислороде различается в том, что в случае сухого кислорода диффундирующим веществом через растущую на поверхности полупроводника окисную пленку являются атомы или ионы кислорода. Если это ионы, то рост окисла можно ускорить или замедлить с помощью внешнего электрического поля.

Зависимость скорости роста окисла от внешнего электрического поля была экспериментально подтверждена еще в ранних работах по окислению кремния. Тогда же было показано, что коэффициент диффузии ионов кислорода в кварце (SiO_2) на несколько порядков меньше коэффициента диффузии паров воды (влажного кислорода) при одинаковых условиях [1].

Процесс термического окисления Si и SiC проводят обычно при температурах $1000\div 1200^\circ\text{C}$. Для области высоких температур ($T \geq 1100^\circ\text{C}$) процесс окисления хорошо описывается параболическим уравнением как для Si , так и для SiC . Рост окисла SiO_2 на поверхности полупроводника определяется двумя процессами: скоростью реакции Si и O_2 на границе раздела окисел/полупроводник и скоростью диффузии кислорода (или другого окислителя) к границе раздела. При температурах больше 1100°C ограничивающим фактором является скорость диффузии.

Сравнение процессов термического окисления Si и SiC показывает, что рост окисла на поверхности SiC образцов происходит существенно медленнее. В монографии [2] приведен график зависимости толщины окисной пленки от времени окисления при температуре 1200°C в атмосфере сухого и влажного кислорода (рисунок 1).

Как видно из рисунка 1, для получения окисной пленки толщиной $0,1\text{ мкм}$ на кремнии требуется меньше 10 минут, а на карбиде кремния больше 300 минут. Средняя скорость роста окисла на $\text{Si} \sim 10\text{ нм/мин}$, а на $\text{SiC} \sim 15\text{ нм/час}$.

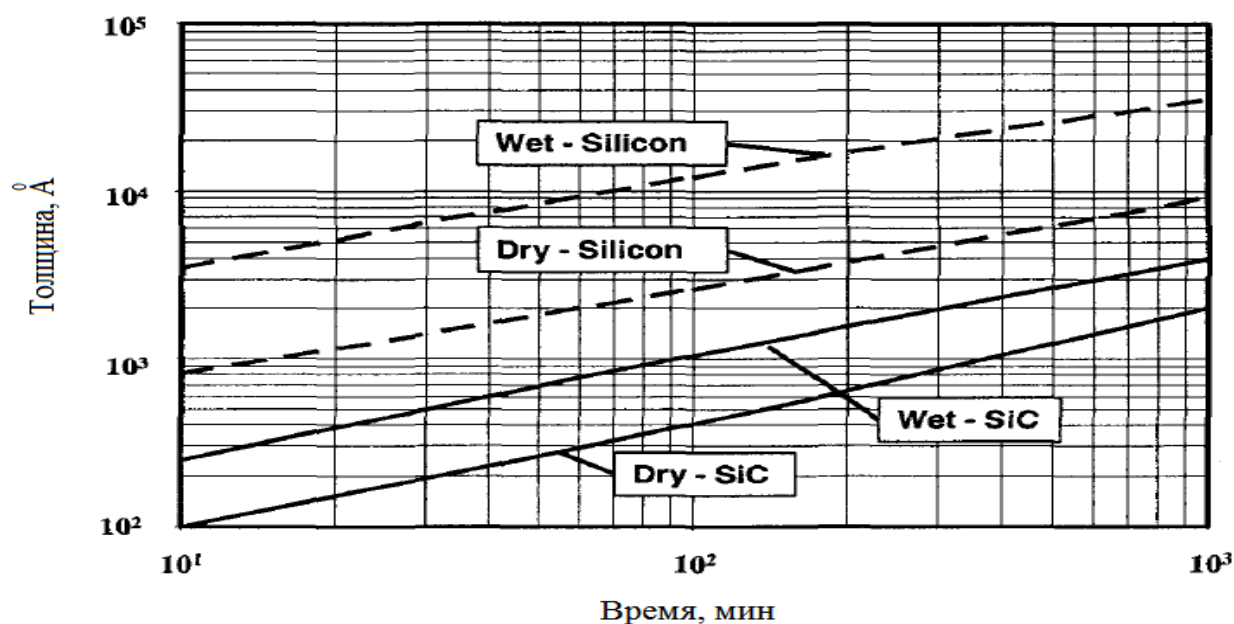
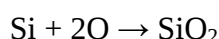
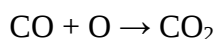
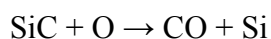


Рис. 1 – Зависимость толщины окисной пленки на Si и на SiC от времени окисления при 1200°C

Исследования свойств и процессов получения окисных пленок на карбиде кремния в последние 10 лет многими авторами показали, что термическое окисление в обычных (классических) печах в кварцевых трубах с резистивным нагревом в потоке сухого кислорода позволяет получать окисные пленки на SiC со скоростью 6-15 нм/час при температуре $\sim 1150^{\circ}\text{C}$. При этом толщины пленок находятся в диапазоне $0,1\div 0,2$ мкм. По мере увеличения толщины (и времени) окисла, средняя скорость роста уменьшается.

Важно отметить, что скорости окисления SiC на углеродной грани (на C-поверхности) во много раз (почти в 10 раз) больше, чем скорость окисления кремниевой грани. Но при этом и углеродная грань SiC окисляется намного медленнее, чем кристаллы Si.

Процесс образования окисла на поверхности SiC отличается от процесса окисления кремния и может быть описан следующими реакциями [3]:



Термическое окисление SiC включает следующие этапы:

- 1) перенос молекулярного кислорода (или другого окислителя) к окисляемой поверхности;
- 2) диффузия кислорода (или другого окислителя) через пленку окисла к границе раздела SiC/SiO₂;
- 3) реакция кислорода с карбидом кремния на границе раздела;
- 4) обратная диффузия газообразных продуктов реакции окисления (например CO₂) через окисную пленку;
- 5) удаление газообразных продуктов с окисленной поверхности.

В результате, при классическом термическом окислении SiC имеет место и очень малые скорости окисления (и малые толщины при больших затратах времени) и низкое качество окисных пленок, вернее, низкое качество границы раздела SiO₂/SiC.

Для решения этих проблем используются различные технологические приемы. Чтобы увеличить скорость роста окисла на поверхности SiC, окисление проводят при повышенных температурах (до 1400°C и выше), проводят предварительную аморфизацию окисляемой поверхности, вводят в состав газа-окислителя различные добавки, осуществляют нетермическую активацию окисления.

Для улучшения свойств границы раздела и удаления углерода из окисной пленки наиболее часто проводят отжиг и нитрирование полученного слоя. Нитрирование проводится либо прямо в процессе роста окисла, либо в процессе отжига в атмосфере азота или азотосодержащего газа. При получении окисной пленки на поверхности SiC в классической печи (кварцевая труба и резистивный нагрев) это довольно затратный процесс.

В качестве альтернативы классическому варианту термического окисления SiC ряд авторов предлагают решить проблемы скорости роста и качества окисных пленок на поверхности SiC, используя нетермическую активацию окисления в так называемом быстром термическом процессе [4, 5].

Процесс окисления в этом случае проводится в печи, в которой нагрев осуществляется с помощью мощных галогеновых ИК-ламп, т. е. высокоэнергетические фотоны используются как источник термической и оптической активации. Такой вариант быстрого термического процесса реализован в высокотемпературной печи для быстрого термического окисления SiC модели AS-One 100 HT производства ANNEALSYS (Франция).

Такая печь обеспечивает очень быстрый нагрев образца ($100\text{--}200^\circ\text{C}/\text{с}$) до температуры $\sim 1200^\circ\text{C}$. Рабочая камера может быстро продуваться и заполняться необходимыми технологическими газами при низком потреблении этих газов.

Эксперименты по окислению, произведенные в таких печах в режимах быстрого термического окисления и быстрого термического отжига в различных средах, позволили получить скорости роста пленок в диапазоне $3\div 6$ нм/мин, т. е. скорость роста окисной пленки на карбиде кремния приближается к скорости роста окисла на кремнии.

Кроме собственно скорости роста окисной пленки для приборных применений (в особенности в МОП-транзисторах) важно знать и уметь получать и другие параметры окисной пленки: пористость, электрическая прочность, плотность состояний, наличие электрически активных центров на границе раздела.

До сих пор наиболее эффективным методом для пассивации ловушек на границе раздела SiC/SiO₂ и удаления углерода из пленки считается метод нитрирования. Нитрирование структур SiC/SiO₂, либо в процессе роста окисла, либо в процессе отжига после окисления можно проводить и в обычном (классическом) технологическом процессе (окисление в кварцевых печах с резистивным нагревом), но применение быстрого термического процесса, когда используются высокоэнергетические фотоны, позволяет получать пленки высокого качества за существенно меньшее время [6]. Комбинируя преимущества быстрого технологического процесса окисления и отжига с использованием различных сочетаний азот- и кислород-содержащих газов можно получать структуры

SiC/SiO₂ с хорошими свойствами границы раздела и за время на порядок меньшее, чем при классическом термическом окислении.

Наиболее существенным недостатком быстрого термического процесса (окисления и отжига) является невозможность проводить групповую обработку пластин и обеспечивать воспроизводимость параметров процесса. Кроме того, исследование процессов быстрого термического окисления и отжига проводилось на достаточно тонких слоях (десятки нанометров), что недостаточно для многих приборных применений.

Применение технологии быстрого термического окисления и отжига, основанной на фотонной активации технологических процессов, позволяет получать окисные и оксинитридные пленки на поверхности карбида высокого качества и с большими скоростями роста, а коммерчески доступное оборудование дает возможность проводить лабораторные исследования по термическому окислению карбида кремния. Однако для промышленного применения этой технологии требуется более производительное оборудование и исследования быстрых термических процессов применительно к конкретному производству карбид кремниевых приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы технологии кремниевых интегральных схем: окисление, диффузия, эпитаксия / под ред. Р. Бургера и Р. Донована ; пер. с англ.. - М.: Из-во М.: Мир., 1969.
2. Baliga B. J. Silicon Carbide Power Devices. - World Scientific, 2005.
3. Silicon Carbide. Materials, Processing and Applications in Electronic Devices / Edited by Moumita Mukherjee, Published by InTech, 2011.
4. Constant A., Camara N., Godignon P., Berthou M., Camessel J., Decams J.-M. Rapid and efficient oxidation process of SiC by in-situ multiple RTP steps. Silicon Carbide and Related Materials – 2009, Materials Science Forum Vols. 645-648 (2010) – pp. 817-820.
5. Рембеза С. И. Рябинина И.А., Тимохин Д.П. Термическое окисление SiC. Химия твердого тела и современные микро и нанотехнологии // VII Международная конференция. – Кисловодск – Ставрополь: СевКавГТУ, 2007. – С.212-216.
6. Das M. K. Recent advances in (0001) 4H-SiC MOS Devices Technology. Silicon Carbide and Related Materials - 2003, Materials Science Forum. – Vols 457-460 (2004).– pp. 1275-1280.

НИКИТАНОВ С.В., ЕВИШЕВ А.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования параметров повышающего преобразователя напряжения, работающего с солнечными батареями. На основе типовой схемы применения микросхемы SPV1040 был сконструирован экспериментальный макет преобразователя и проведены его измерения. Конвертер адекватно работает пока напряжение солнечной панели выше 2 В, а при использовании двух солнечных панелей мощностью 5 мВт можно производить зарядку трех никель-металл-гидридных аккумуляторов с напряжением 3,7 В.

Ключевые слова: конвертер, солнечный, элемент, батарея, микросхема, интеллектуальный, алгоритм, эффективность, макет, напряжение, мощность, аккумулятор, зарядка.

NIKITANOV S.V., EVISHEV A.V.

A RESEARCH OF SOLAR BATTERY STEP-UP CONVERTER PARAMETERS

Abstract. The article presents the results of solar battery step-up converter parameters research. An experimental layout of the converter has been designed and measured, using SPV1040 application circuit. Thus the converter operates correctly until the solar panel voltage is above 2 V, and the using of two 5 mW solar batteries allows charging of three Ni-mH battery with a voltage 3.7V.

Keywords: converter, solar element, battery, chip, smart, algorithm, efficiency, layout, voltage, power, battery, charger.

Проблема сокращения запасов углеводородов на нашей планете давно известна, и настанет момент, когда потребность в альтернативных источниках энергии может приобрести колоссальные масштабы по всему миру. В отдельных странах, таких как США и Канада особое внимание отводится солнечной энергетике, а в нашей стране уже работают заводы по производству солнечных панелей [1-2].

Известно, что в летнее время на земную поверхность попадает значительно большее количество солнечной энергии, чем в зимнее. Также известно, что количество солнечной энергии, падающее на единицу земной поверхности, зависит от широты местности и угла падения солнечных лучей. Таким образом, месячная сумма прямой радиации на горизонтальную поверхность существенно различается не только от сезона к сезону, но и по широте. Например, в г. Саранск (54° с.ш.) - 676,1 МДж/м² в июле против 53,6 МДж/м² в декабре, а в г. Якутск (62° с.ш.) - 594,2 МДж/м² в июле против 6,5 МДж/м² в декабре [1].

Поэтому использование солнечных элементов питания наиболее оправдано в летнее время преимущественно для южных районов России.

Развитие солнечной энергетики привело к появлению высокоэффективных солнечных элементов и новой элементной базы. Уже существуют солнечные установки, которые в летнее время могут полностью обеспечить суточной электроэнергией небольшой дом. Работа установок основана на преобразовании мощности солнечной батареи в энергию, запасенную в аккумуляторах, и преобразовании последней в мощность переменного тока, сбрасываемого в сеть 220 В частотой 50 Гц. Преобразование мощности солнечной батареи в энергию, запасенную в аккумуляторе, выполняет повышающий преобразователь напряжения (ППН).

Существует множество ППН для солнечных батарей разной мощности и рассчитанных на работу с разными аккумуляторами. Одним из них является микросхема SPV1040 фирмы ST Microelectronics [2]. Это интеллектуальный ППН, предназначенный для заряда компактных никель-металл-гидридных или литий-ионных аккумуляторов с напряжением 1,25 и 3,7 В, соответственно. Основное преимущество данной микросхемы перед аналогами, например, перед микросхемами MAX866 и TPS61200 заключается в особом интеллектуальном алгоритме работы. Он позволяет передать наибольшую мощность от солнечной батареи в нагрузку при изменении освещенности и температуры, с чем и достигается максимальная эффективность преобразования 95%.

Схема включения микросхемы построена на основе классической схемы ППН (рисунок 1).

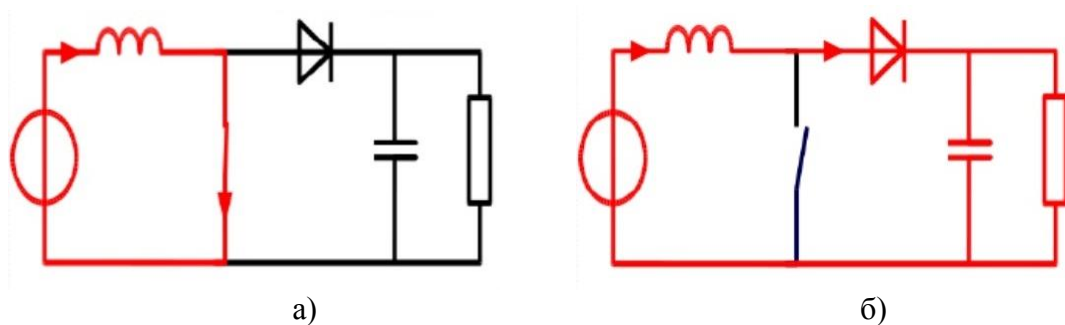


Рис. 1. Принцип работы ППН:
а – ключ открыт; б – ключ закрыт

В микросхеме используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) для регулировки среднего значения выходного напряжения и мощности на нагрузке. Длительность включенного состояния интегрированного в микросхему ключа или скважность импульсов может меняться в соответствии с изменением уровня напряжения солнечной батареи. Кроме этого в микросхеме предусмотрен режим запуска в случае разряда аккумулятора до 0,8 В, при котором ток на выход протекает через внутренний диод, и напряжение на выходе

повторяет напряжение на входе микросхемы. Также микросхема имеет защиту от перегрузки, от смены полярности солнечной батареи и от превышения температуры.

Схема включения микросхемы SPV1040, на основе которой был сконструирован макет ППН, приведена на рисунке 2.

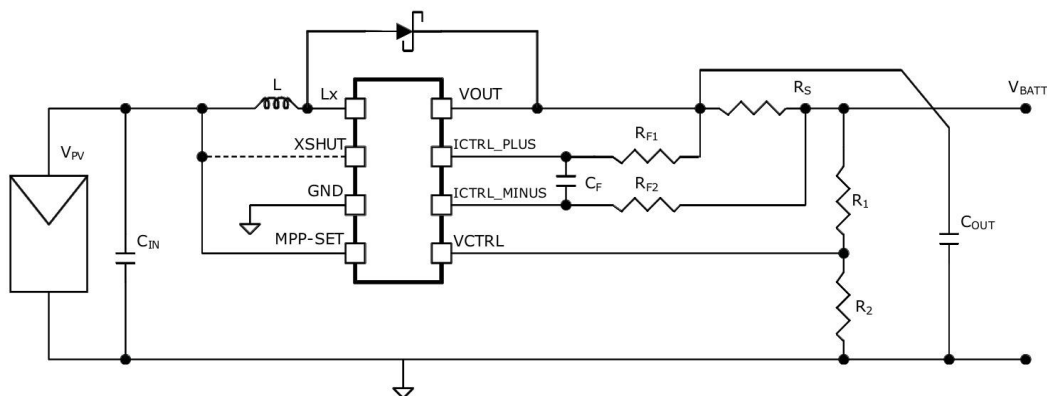


Рис. 2. Схема включения микросхемы SPV1040

Схема содержит элементы обратной связи, с помощью которых микросхема контролирует выходное напряжение и выходной ток. Микросхема работает в нескольких режимах: запуск, плавный старт, слежение за точкой максимальной мощности, экономичный режим и режим сна. Питание осуществляется выходным напряжением, которое смещает синхронный р-канальный MOSFET транзистор, а при выходном напряжении от 0,8 до 2 В интегрированный п-канальный MOSFET ключ работает с фиксированной скважностью импульсов и среднее напряжение на выходе не меняется. Режим слежения за точкой максимальной мощности включается при выходном напряжении от 2 В. Максимальный ток, который микросхема способна пропускать через себя при использовании солнечных батарей с напряжением не более 5 В может достигать 1,8 А. Выходной ток протекает через внутренний диод р-канального MOSFET транзистора, а максимальный выходной ток определяется токовым резистором R_S (рисунок 2) по соотношению $I_{OUT} = 50 \text{ мВ} / R_S$.

Когда напряжение аккумулятора достигает зарядного напряжения, а напряжение на выводе MPPT-SET падает ниже 450 мВ, микросхема уменьшает скважность импульсов до 10% и переходит из режима слежения в экономичный режим. В этом случае период повторения импульса включенного состояния в 2-16 раз больше периода самого импульса.

В исходную схему между выводами солнечной батареи был добавлен делитель напряжения с потенциометром, задающим потенциал на входе MPPT-SET для регулировки зарядного напряжения. Также был удален диод Шоттки между входом LX и выходом VOUT, который необходимо включать, если зарядное напряжение выше 4,8 В. Диод Шоттки,

включенный параллельно встроенному р-канальному MOSFET транзистору, уменьшает падение напряжения между входом и выходом с 0,7 до 0,3 В когда транзистор закрыт.

Проводилось исследование работы макета ППН с двумя солнечными батареями мощностью 5 мВт. Результаты измерений показали, что в условиях непрямого солнечного света в дневное зимнее время при напряжении двух последовательно соединенных солнечных батарей 3,2 В выходное напряжение ППН можно регулировать с 2 до 5,2 В. Это позволяет осуществлять зарядку трех никель-металл-гидридных или одного литий-ионного аккумулятора с напряжением 3,7 В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев А.А. Косвенные методы расчета характеристик солнечной радиации // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле. – 2013. – № 1. – С. 130-135.
2. SPV1040 - High efficiency solar battery charger with embedded MPPT / Product datasheet: DocID18080, Rev 5. - STMicroelectronics. – 2013. – 15 p.

НИКИТАНОВ К.В.

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ

Аннотация. В статье приводится описание устройств питания для малогабаритных светодиодных источников освещения. Приводятся общие технические требования к малогабаритным светодиодным источникам освещения, а также основные электрические параметры устройств питания. Схемы электрические принципиальные и расчёт элементов схем устройства питания на основе ИМС TPS92010.

Ключевые слова: устройство питания, малогабаритный светодиодный источник освещения, диммер, корректор фазы, гальваническая изоляция нагрузки.

NIKITANOV K.V.

HIGH-PERFORMANCE DRIVERS FOR LEDS

Abstract. The article provides a manual of drivers for compact LEDs. Particularly, the author considers LEDs' general technical specifications as well as drivers' electrical characteristics. The article also includes electrical circuit schemes and a calculation of the circuit elements of LED drivers based on IC TPS92010.

Key words: driver, LED, dimmer, valley-fill circuit, loading isol.

Сегментация сфер применения светодиодов в освещении по диапазону используемых мощностей и специфике приложений используется многими компаниями, в том числе и компанией Texas Instruments (TI), для классификации своих решений в области питания светодиодов. Эта классификация не включает в себя некоторые специальные применения - такие, как медицинская техника, портативные устройства и транспортная светотехника, которые требуют отдельного рассмотрения.

Отметим для каждого сегмента характерные особенности, которые нужно учитывать при разработке драйвера - так, например, в приложениях внутреннего освещения в частном секторе чаще всего речь идет о компактных светильниках с небольшими мощностями (до 25 Вт) и световым потоком до 3000 лм. Сегмент коммерческого освещения характеризуется диапазоном мощностей 15...75 Вт и световым потоком до 10000 лм.

Уличное и промышленное освещение требует наиболее мощных светильников (до 250 Вт), обеспечивающих световые потоки порядка 2500...30000 лм, в зависимости от типа светильника.

Также есть ряд критериев, необходимых почти во всех применениях:

- невысокая стоимость драйвера при серийном производстве;

- высокая электрическая эффективность (потери в драйвере приведут к увеличению размеров устройства и снизят экономичность светильника);

- надежность (в большинстве случаев светодиодная техника позиционируется как необслуживаемая);

- корректор коэффициента мощности (ККМ) (в соответствии с действующими стандартами).

Следует также учитывать достаточно большой номенклатурный диапазон светодиодных светильников, предназначенных для прямой замены ламп накаливания и компактных люминесцентных ламп, то есть так называемые светодиодные лампы с цоколем E27. Такая светодиодная лампа вкручивается в стандартный патрон лампы накаливания [1, с.25-32].

Семейства драйверов, предлагаемых TI, позволяют решать достаточно широкий спектр задач, возникающих при проектировании светодиодной техники: от портативной техники до уличного прожекторного освещения.

В данной статье представлен вариант разработки малогабаритного устройства питания (УП) светодиодов с применением ИМС TPS92010 фирмы Texas Instruments. Устройство питания ориентировано на те области применения, которые будут востребованы в актуальных для российского рынка областях применения и помогут полностью раскрыть потенциал светодиодов как перспективных источников света.

При разработке малогабаритного УП светодиодов, включая светодиодные лампы возникает проблема отвода тепла, выделяющегося в малом объеме, так как перегрев светодиодов нежелателен. Источником тепла в светодиодном светильнике, кроме самих светодиодов является устройство питания. К УП предъявляются жесткие требования [2, с.18-21]:

- гальваническая изоляция светодиодов от сети,
- высокий КПД,
- малые габариты, обеспечивающие возможность встраивания в корпус лампы,
- низкая себестоимость в массовом производстве.

Если светодиоды размещать на печатной плате с алюминиевым основанием, то вполне возможна реализация УП без гальванической развязки. Производители печатных плат на алюминиевом основании гарантируют электрическую прочность на уровне 1,5-3,0 кВ. Однако на практике это не всегда так. В этой связи, предпочтение следует отдавать УП с гальванической изоляцией, но и не следует забывать об УП без гальванической развязки, если обеспечивается необходимый уровень электрической прочности материала.

Исходя из общих требований к УП для светодиодных светильников, а также учитывая особенности их применения сферах жилищно-коммунального хозяйства, быта, промышленных предприятий технические требования к устройствам питания светодиодных ламп можно представить следующим образом:

- рабочий диапазон напряжения питания: 90-260 В (переменное);
- световой поток: 400 лм, 800 лм, 1200 лм;
- ток питания светодиодов: 325-350 мА.

Принципиальная электрическая схема УП на основе ИМС TPS92010, выполненного согласно схемотехнике понижающего преобразователя с гальванической изоляцией нагрузки представлена на рисунке 1. Рассмотрим ключевые моменты схемотехники данного решения. Это УП построено по стандартной обратноточковой (flyback) схеме, наиболее эффективной в низком диапазоне мощностей. Использование одного трансформатора, высоковольтного (500...600 В) MOSFET-транзистора и одного диода на выходе является в данном применении относительно недорогой конфигурацией. Входной фильтр базируется на стандартном дросселе и двух конденсаторах, обеспечивая разработку соответствие классу «В» по электромагнитной совместимости в соответствии с стандартом FCC. Ток нагрузки измеряется на резисторе R17, уровень усиливается усилителем на микросхеме DA1 и подается на вывод 3 микросхемы TPS92010 через оптопару. В соответствии с этим сигналом контроллер TPS92010 осуществляет управление работой транзистора VT1. Цепь контроля димминга [3, с.26-32] состоит из двух частей: триггер (транзисторы VT2, VT3), детектирующий диммирование во входной цепи, и усилитель (VT4), корректирующий отпирающее напряжение для уменьшения тока через светодиоды при работе диммера.

С учётом специфики работы импульсных источников питания с ШИМ [4, с.211-220], произведён расчёт режима работы ИМС TPS92010 [5, 6], а также ряда её внешних навесных компонентов.

В качестве исходных данных для расчёта светодиодной лампы, выберем следующие:

- 1) диапазон напряжения питания: 100 – 265 В (переменное),
- 2) число последовательно включенных светодиодов: 7,
- 3) прямое падение напряжения на одном светодиоде: 3,6 В,
- 4) полное падение напряжения на светодиодах: $U_{LED}=7 \times 3,6=25,2$ В.

Начальный режим работы ИМС TPS92010:

- номинальная частота работы ШИМ: $f_{sw}=130$ кГц,
- номинальный рабочий ток светодиодов: $I_{LED(AVE)}=325$ мА,
- изменение тока светодиодов при изменении напряжения питания (обычно от 15 % до 30 % относительно $I_{LED(AVE)}$): $\Delta i=0,3 \times 325=96$ мА,

- минимальное значение КПД: 80 %.

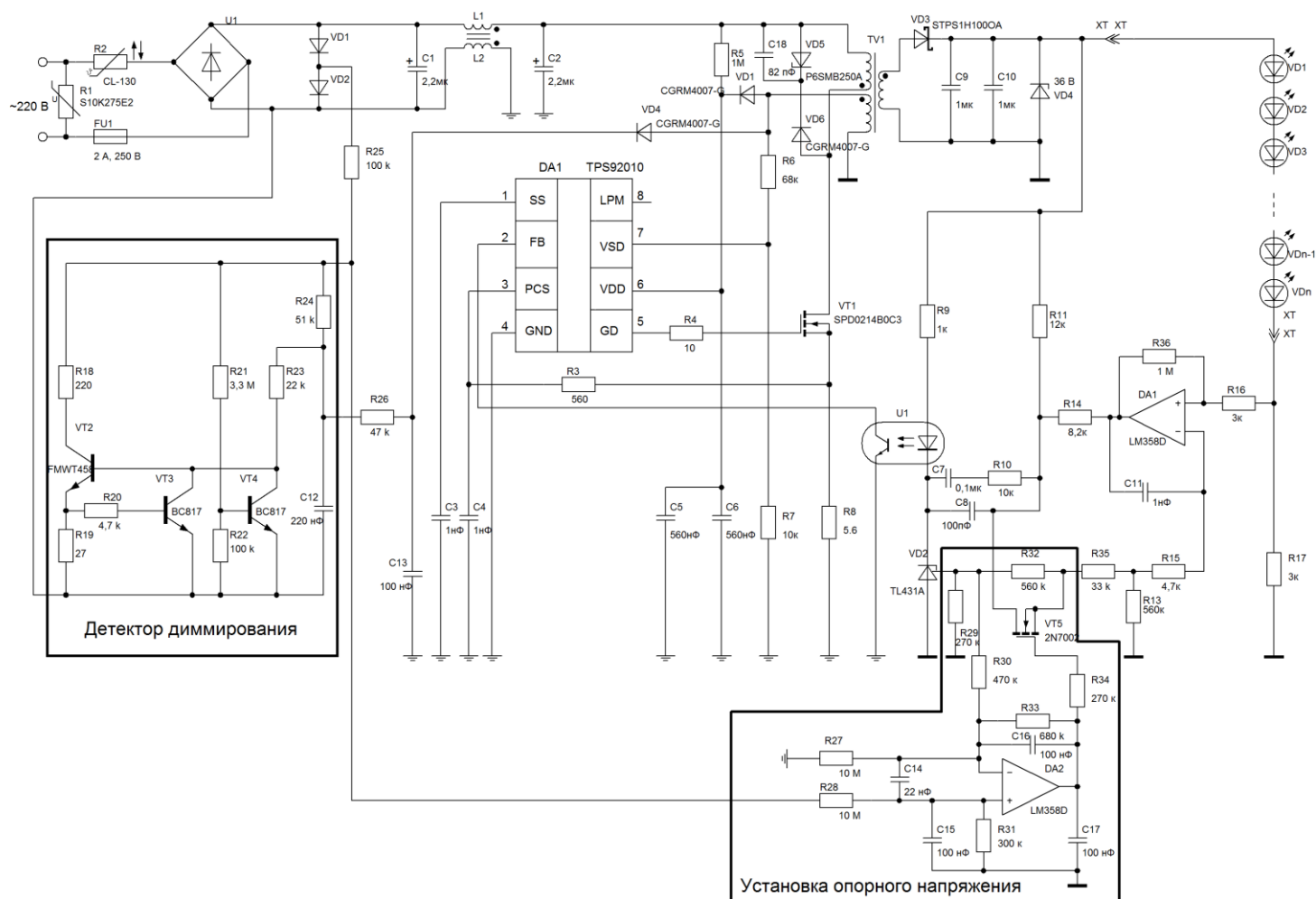


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная УП светодиодов с гальванической изоляцией нагрузки

Коэффициент заполнения импульсного выходного сигнала ШИМ:

$$D = \frac{U_{LED}}{U_{IN}} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + T_{OFF}} = t_{ON} \cdot f_{SW}, \quad (1)$$

где - U_{LED} – полное падение напряжения на светодиодах (25,2 В),

- U_{IN} – напряжение питания светодиодов (сформированное AC-DC преобразователем),
- t_{ON} – время включенного состояния транзистора VT1,
- t_{OFF} – время выключенного состояния транзистора VT1,
- f_{SW} – частота ШИМ.

С учётом КПД, коэффициент заполнения можно выразить следующим образом:

$$D = \frac{U_{LED}}{U_{IN}} \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (2)$$

где η – КПД.

На основании принципиальной электрической схемы, приведённой на рис. 1 была разработана и изготовлена экспериментальная печатная плата УП для светодиодов. Форма и размеры печатной платы выбраны исходя из размеров корпуса светодиодной лампы с цоколем E27. Для светодиодов была изготовлена печатная плата (светодиодный кластер) для размещения семи светодиодов. В дальнейшем был произведён эксперимент, в котором светодиодная лампа подключалась к питающей сети, напряжением 220 В.

Разработка топологии печатной платы УП для светодиодной лампы проводилась в свободно распространяемой САПР Sprint-Layout 5.0.

Изготовление печатной платы проводилась на основе двустороннего фольгированного текстолита типа FR-35.

Топология печатной платы – двусторонняя.

Размер печатной платы – 60 x 20 мм (широкая часть для корпуса) плюс 20 x 15 мм для цоколя (таким образом, общая длина платы УП – 80 мм).

Использованы элементы для поверхностного монтажа (чип-элементы), а также элементы для навесного монтажа.

Высота навесных компонентов не превышает 10 мм. Такое конструктивное исполнение целесообразно, так как плата УП должна располагаться внутри корпуса лампы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ромадина И. Драйверы светодиодов серии NCL30xxx от ON Semiconductor // Современная светотехника. – 2011. - № 2 (09). - С. 25-32.
2. Миронов С. Особенности построения источников питания для светодиодного оборудования // Современная светотехника. – 2011. - № 2 (09). - С. 18-21
3. Терехов Г. Димминг – способ эффективного энергосбережения или источник реальных проблем? // Современная светотехника. – 2011. - № 2 (09). - С. 26-32.
4. Маниктала С. Импульсные источники питания от А до Z: Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», СПб.: «КОРОНА-БЕК», 2008. – 256 с.
5. Техническая информация по ИМС TPS92010. Электронный ресурс. Режим доступа: www.ti.com/lit/ug/sl00430c/sl00430c.pdf/ Using the TPS92010EVM-631.
6. TI E2E™ Community. Электронный ресурс. - Режим доступа: http://e2e.ti.com/blogs_/b/smartgrid/archive/2010/06/04/ti-s-update-led-reference-design-cookbook-13-new-designs.aspx/ LED Reference Design.

БОБРОВ М.А., ГЕРАСЬКИН Е.В., ШИШОВ О. В.
ОБЩИЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЬЮТЕРОВ

Аннотация. Раскрывается понятие «Интеллектуальный датчик». Определяются тенденции развития этого понятия.

Ключевые слова: датчик, погрешности, достоверность данных, электронный паспорт.

BOBROV M.A., GERASKIN E.V., SHISHOV O. V.,
GENERAL DESIGN FEATURES OF INDUSTRIAL COMPUTERS

Abstract. The article considers the general design features of industrial computers. Particularly, a classification of industrial computers by the number of their units and the principles of their association is presented.

Keywords: sensor, errors, the accuracy of the data, the electronic passport.

Еще недавно первые энтузиасты применения средств вычислительной техники в промышленности брали за основу материнские платы обычных офисных компьютеров и просто помещали их в специальные корпуса. С течением времени, однако, выработались вполне определенные черты, которыми отличаются современные компьютеры для промышленного использования. Попробуем отметить конструктивные отличия, которые характерны для большинства компьютеров в промышленном исполнении:

- фактически все промышленные компьютеры используют разработки, позволяющие установленной электронике выжить в условиях цеха;
- внешний вид промышленных компьютеров далек от изысканных дизайнерских решений – главное это функциональность;
- более тяжелая металлическая конструкция.
- применение известного форм-фактора корпуса для монтажа в окружающую обстановку или оборудование;
- дополнительное воздушное охлаждение с использованием воздушного фильтра;
- альтернативные методы охлаждения, такие как принудительная вентиляция, охлаждение жидкостями и используя тепловыделение корпуса;
- поддержка большого числа слотов расширения, в том числе и устаревших;
- защита от радиопомех;
- усовершенствованная защита от пыли, водных брызг или даже возможность погружения в воду;
- прорезиненные разъемные соединения;

- более надежное управление;
- более качественное электропитание;
- контроль доступа к портам ввода-вывода и к питанию при помощи блокировки дверцы корпуса;
- наличие сторожевого таймера, который автоматически перегружает систему при зависании программного обеспечения.

Поскольку надежность всего устройства напрямую зависит от надежности каждого из компонентов (плат, соединений, корпуса, источников питания, системы теплоотвода и т. д.), разработка и выбор каждого из этих компонентов должны быть произведены с особой тщательностью и вниманием к деталям.

Запросы пользователей относительно функциональности и надежности системы управления, построенной на базе компьютерных технологий, часто требуют особых усилий разработчиков и специфических инженерных решений для их реализации.

Фундаментом для создания процессорных модулей и модульных компьютерных систем служат современные микро- и нанoeлектронные технологии. Выпуск микропроцессоров с технологией 180, 90 и 65 нм позволил создать по-настоящему компактные встраиваемые модульные системы. Современные технологии обеспечивают возможности создания законченного компьютера, сетевых коммуникационных средств, средств связи с периферийными объектами на одной плате модуля и даже в микромодуле (кристалле).

Развитие модульной технологии создания промышленных систем управления и микроэлектроники привело к появлению таких изделий, как одноплатные модули (англ. COM – Computer-On-Module, «компьютер на модуле») или одноплатные компьютеры (SBC – Single Board Computer) и SOM (System-On-Module, «система на модуле»).

Компактный компьютер на модуле COM содержит все необходимые компоненты с интерфейсами для встраивания в систему, а система на модуле SOM является функционально полной и законченной системой с развитыми системными и сетевыми интерфейсами связи в модуле.

Одноплатный компьютерный модуль COM представляет собой плату, на которой установлены:

- центральный процессор;
- чипсет;
- память;
- некоторый набор дополнительных контроллеров (зависит от типа COM);
- разъёмы, через которые к модулю подключаются платы приложения или несущая плата.

Кроме тех элементов, что имеются на COM, на модуле SOM дополнительно устанавливаются:

- функциональные узлы, требуемые системой управления, например линейка процессоров DSP, преобразователи АЦП/ЦАП, преобразователи нестандартных сигналов, цепи гальванической развязки или оптоэлектронные преобразователи, необходимое количество портов стандартных промышленных интерфейсов, таких как RS-232, RS-485, CAN и др.;
- первичные цепи питания всей системы (как процессора, так и периферии);
- оконечные каскады интерфейсов, такие как трансформаторы сетей Ethernet, те или иные реализации интерфейсов с мониторами;
- индикаторы, кнопки управления, специфические разъёмы и прочие конструктивные элементы, подобранные для каждого конкретного исполнения системы, и др.

В основе построения COM и SOM используют современные микропроцессоры разных типов, главным требованием к которым было и остаётся низкое энергопотребление.

Если функциональной насыщенности одноплатного варианта на основе COM или SOM модуле не хватает, то к ним подключают дополнительные модули. При этом должен быть реализован тот или иной способ их конструктивного объединения в единое целое. Проводимая на основе этих признаков классификация промышленных компьютеров представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Классификация промышленных компьютеров по количеству, входящих в него модулей, и принципов их объединения

Конструктивное объединение компьютерных модулей в единое целое осуществляется по двум основным принципам – использование магистрально-модульных и стековых систем.

Для построения магистрально-модульной системы применяются платы компьютерных модулей, которые устанавливаются в шасси с объединительной платой (кросс-платой). Объединительная плата (англ. backplane) является монтажной или печатной платой, на которой

расположено несколько различных слотов (до 20 и более) и разведена объединительная шина. Офисные персональные компьютеры так же используют объединительную плату с платами расширения. В то время как материнская плата офисного ПК может выполнять функции объединительной платы, объединительная плата промышленного компьютера – выполнять функции материнской платы не может. На объединительной плате отсутствуют вычислительные элементы. Центральный процессор расположен на плате расширения, которую можно легко заменить.

Объединительные платы бывают двух типов: пассивные и активные. *Пассивные объединительные платы* вообще не содержат никакой электроники, все находится на конструктивно одинаковых модулях (процессорных и картах расширения). Подобная конструкция позволяет модернизировать промышленный компьютер и расширять его возможности без существенных затрат. Высокая стоимость подобных решений для промышленных компьютеров не позволяет использовать эти решения в офисных или домашних компьютерах. Однако для систем промышленной автоматизации это решение очень популярно. Эти решения так же встречаются в некоторых мощных серверах. Примерами таких систем могут служить наиболее распространённые системы форматов CompactPCI, VME, AdvancedTCA, MicroPC. Защищенное исполнение в таких системах достигается путём применения защищенных шасси.

Активные объединительные платы содержат схемы управления шиной и множество других компонентов. На большинстве таких плат содержится вся электроника обычной системной платы, нет только процессорного модуля. Активные объединительные платы более сложные, соответственно у них больший риск выхода из строя.

Решения с объединительной панелью и требуемым набором модулей отличают гибкость, производительность, высокая надёжность, широкий диапазон рабочих температур, защищённость от вибрации, пыли и влаги, из-за чего они находят применение во многих системах автоматизации в промышленности, медицине, науке, военном деле и т. д.

Жесткие условия эксплуатации систем, собранных из нескольких модулей, требуют их установки внутри корпуса для защиты от внешних механических, электромагнитных и климатических воздействий. При этом промышленный компьютер представляет собой законченное конструктивное решение. Кроме обычных корпусов, крейтов, шасси существуют изделия, которые позиционируются как *платформы для построения расширяемого встраиваемого защищенного компьютера* для жёстких условий эксплуатации. Понятие «платформа» подразумевает наличие в комплексном исполнении средств обеспечения основной функциональности – процессорного модуля, модуля источника питания и той или иной объединительной панели, а также корпуса (шасси). Все остальные модули (модуль

видеопроцессора, коммуникационные и навигационные модули) являются опциональными, как и модули расширения, разработанные заказчиком. Главное – это соответствие модулей расширения стандарту (форм-фактору) и изготовление интерфейсного кабеля для вывода интерфейсов с модулей расширения на лицевую панель.

Грамотное проектирование и создание таких платформ существенно упрощает проектирование и обслуживанию систем, повышает их ресурс и надёжность.

Стековые системы не используют объединительную плату. Соединение модулей осуществляется путём подсоединения модулей друг к другу через стековые разъёмы, на которые выведена объединительная шина. Получается своеобразный многослойный «бутерброд», слои которого объединяются разъемами, ответные части которого находятся на соседних платах и обращены друг к другу. Стековым системам принадлежат, в первую очередь, модули, соответствующие спецификациям PC/104, PC/104-Plus, PCI-104, PCI/104-Express, COM/104, а также EPIC, EBX, 3,5", ETX и модули, выполненные по ряду спецификаций SFF-SIG (Small Form Factor Special Interest Group). Другим вариантом соединения между собой модулей, собранных в стек, выступает применение для этих целей плоских кабелей.

При необходимости стековые системы устанавливаются в корпус. Для вывода основных выходных интерфейсов к стандартным разъёмам на лицевой панели корпуса могут применяться кабели. Однако практика соединения модулей между собой, модулей с интерфейсными разъёмами на панели корпуса с помощью кабелей потенциально небезопасна и неудобна. Наличие кабельной разводки внутри корпуса ухудшает теплоотвод, снижает устойчивость к помехам, вибрациям и ударам, а также увеличивает электромагнитное излучение, что приводит к уменьшению надёжности всей системы. Поэтому стараются применять другое решение – внешние интерфейсы, собранные в стековых разъёмах, выводят на лицевую панель корпуса с помощью недорогого и простого терминального модуля с набором стандартных интерфейсных разъёмов. Так делается, например, в стандарте форм-фактора COM/104.

Стековые системы устанавливаются в корпуса весьма ограниченного размера. В таких корпусах лицевой панелью является одна из сторон корпуса, на которую выведены необходимые интерфейсные разъёмы. Такая конструкция обеспечивает компактное расположение интерфейсных разъёмов и позволяет производить установку корпуса в нишу без доступа к его задней и боковым стенкам. Защита от пыли и/или влаги обеспечивается за счёт применения герметизированных интерфейсных разъёмов. Одним из достоинств таких защищённых систем является возможность их функционального расширения. Ведь в данном случае в стек можно устанавливать любые модули расширения соответствующего форм-фактора, в том числе и самостоятельно разработанные заказчиком специализированные модули; всё, что необходимо в

данном случае, – это переработка только одной детали корпуса – лицевой панели, а всё остальное будет без изменений.