

DCSK-МОДЕМЫ ДЛЯ PLC-СВЯЗИ: СТАНДАРТЫ, ПРОИЗВОДИТЕЛИ, КОМПОНЕНТЫ

ВИКТОР ОХРИМЕНКО, техн. консультант, НПФ VD MAIS

В статье рассмотрены особенности спецификаций HomePlug C&C, используемых в узкополосной технологии передачи данных по электросети. В основе спецификаций, продвигаемых альянсом HomePlug Powerline Alliance, лежит метод модуляции сигнала с расширением спектра, получившей название «дифференциальная кодовая манипуляция». Потенциальные возможности этого вида модуляции сигнала обещают в ближайшем будущем увеличить скорость передачи данных до 150...500 Кбит/с.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы системы узкополосной передачи данных по электросети с использованием модуляции с расширением спектра вида DCSK (Differential Code Shift Keying — дифференциальная кодовая манипуляция) получают все более широкое распространение, что вызвано высокой эффективностью этого метода при работе в условиях плохо защищенных от помех линий электропередач. В основе спецификаций HomePlug C&C лежит метод DCSK-модуляции [1—7].

HOMEPLUG C&C

Модуляция вида DCSK относится к классу модуляции сигналов с расширением спектра (spread spectrum — SS). В предлагаемых решениях, созданных на базе DCSK-модуляции, реализованы протоколы физического уровня PHY (Physical Layer Protocol) и уровня передачи данных DLL (Data Link Layers). В настоящее время PLC-технология с использованием этого вида модуляции поддерживается двумя компаниями (Yitran Communications Ltd. и Renesas Technology), являющимися разработчиками и производителями PLC-модемов и PLC-микроконтроллеров.

Технология передачи данных с расширением спектра имеет ряд преимуществ. Это, во-первых, возможность выделения сигнала даже при отрицательном соотношении сигнал/помеха (т.е. при уровне помех большем, чем уровень сигнала), а, во-вторых, меньшая восприимчивость к узкополосным и импульсным помехам, а также к искажениям, вызванным многолучевым распространением и отражением сигнала, изменениями сопротивления нагрузки и пропаданием сигнала. Наличие этих преимуществ объясняет, почему модуляция с расширением спектра получи-

ла широкое распространение в технологии передачи данных в устройствах космической и военной техники.

Благодаря своим преимуществам, DCSK-модуляция положена в основу спецификаций HomePlug C&C. На уровне PHY используется предложенная компанией Yitran модуляция сигнала типа DCSK. Этот способ модуляции был запатентован (US Patent No.6,064,695) компанией Yitran еще в 2000 г. [4]. В зависимости от используемого рабочего диапазона частот, в соответствии с действующими региональными стандартами в спецификациях HomePlug C&C предусмотрены следующие скорости передачи данных: 7,5/5,0/2,5/1,25/0,625 Кбит/с (см. табл. 1). В Японии используется стандарт ARIB (Association of Radio Industries and Businesses), в США — FCC (Federal Communications Commission), в Европе — CENELEC (Commission Européenne de Normalisation Électrique).

Еще одно из преимуществ — DCSK-сигнал имеет почти постоянную огибающую модулированного сигнала, что позволяет уменьшить соотношение пиковой мощности к ее среднему значению (Peak-to-Average Ratio — PAR) и тем самым снизить требования к линейности усилителя, а также рассеиваемую выходным каскадом мощность и упростить его реализацию. Кроме того, возможность использования при модуляции вида DCSK полосы частот, расположенной далеко от границ разрешенного диапазона, избавляет от необходимости применения фильтров высоких порядков. В общем случае все эти преимущества позволяют снизить стоимость PLC-оборудования.

Суть DCSK-метода заключается в скачкообразной перестройке несущей частоты, а расширение спектра осуществляется благодаря использованию метода линейной частотной модуляции

(Chirp Spread Spectrum — CSS). DCSK-символ, передаваемый в диапазоне частот 20...40 кГц, можно представить во временной области радиоимпульсом определенной длительности с частотой заполнения, изменяющейся по линейному закону (например, в диапазоне 20...40 кГц). Принцип кодирования данных при модуляции DCSK объясняет следующий пример. Если DCSK-символ используется для кодирования 6 разрядов, то двоичному значению 000000 соответствует символ, начинающийся с частоты 20 кГц и заканчивающийся частотой 40 кГц (см. рис. 1а), а значению 100000 — символ, в котором частота вначале изменяется с 30 до 40 кГц, а затем с 20 до 30 кГц (см. рис. 1б). Таким образом, при методе кодирования 6 бит/символ (DCSK6) существуют 64 возможных варианта радиоимпульсов (символов) в заданной полосе частот (в рассматриваемом случае 20...40 кГц).

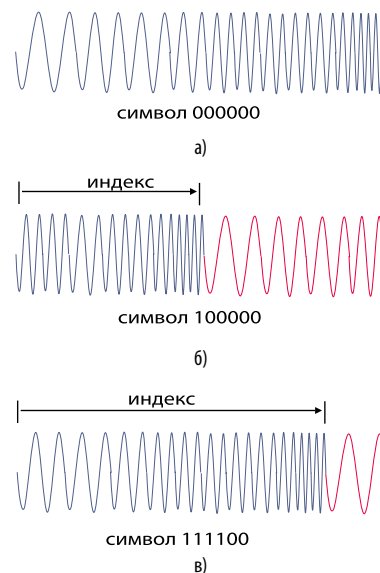


Рис. 1. Принцип кодирования в DCSK-методе: символ 000000 (а), символ 100000 (б), символ 111100 (в)

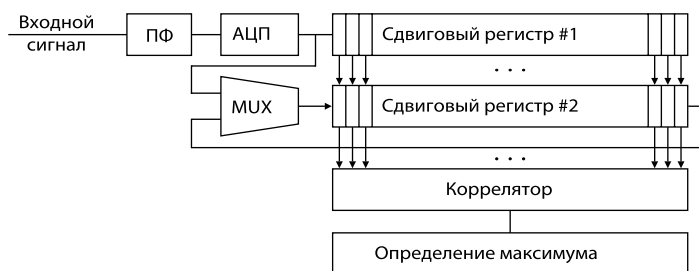


Рис. 2. Структура коррелятора

При использовании всего диапазона частот 9...95 кГц (CENELEC A) возможно повторение передачи одного и того же набора данных в полосе частот 18...44, 38...63 и 58...89 кГц, что обеспечивает хорошую помехоустойчивость и высокую надежность этого метода [3, 4].

Кроме того, в спецификациях HomePlug C&C предусмотрены и другие дополнительные меры увеличения надежности передачи данных в сети. В режиме работы RM (Robust Mode) применяется модуляция DCSK4, при которой используется метод кодирования 4 бит/символ, в режиме ERM (Extremely Robust Mode) для повышения достоверности выполняется четырехкратная пересылка данных. В полосе FCC длительность символов выбрана равной 800 мкс, а диапазон изменения частоты заполнения символа составляет 100...400 кГц. Скорость передачи данных определяется из простых соотношений. Например, для режимов работы DCSK4 и DCSK6 скорость передачи соответственно равна:

$$V_{DCSK4} = \frac{4 \text{ (бит/символ)}}{0,0008 \text{ (с/символ)}} = 5000 \text{ бит/с;}$$

$$V_{DCSK6} = \frac{6 \text{ (бит/символ)}}{0,0008 \text{ (с/символ)}} = 7500 \text{ бит/с.}$$

Поскольку в режиме ERM выполняется четырехкратное повторение данных, скорость соответственно снижается:

$$V_{ERM} = \frac{V_{DCSK4}}{4} = 1250 \text{ бит/с.}$$

Передачик DCSK-модема содержит следующие основные блоки:

- кодер;
- блок перемежения, распределяющий поток двоичных данных между символами для защиты данных от импульсных помех;
- модулятор;
- формирователь преамбулы и сигнала синхронизации;

- цифровой фильтр;
- ЦАП;
- усилитель мощности;
- устройство согласования с линией.

В передатчике поток данных информационной последовательности разбивается на группы по 4 или 6 бит в зависимости от используемого режима работы и, соответственно, вида модуляции. Для каждой из групп данных формируется DCSK-символ. В начале каждого кадра данных передается сигнал синхронизации (преамбула).

DCSK-приемник содержит коррелятор, который используется как согласованный фильтр для выделения символов в процессе сравнения с шаблоном. Принимаемый сигнал (рис. 16) преобразуется с использованием 10-разрядного АЦП (2048 выб./символ) и сравнивается с цифровым представлением базового символа (шаблона), который хранится в памяти приемника, чтобы определить относительный временной сдвиг (так называемый индекс) принятого символа по отношению к шаблону (см. рис. 1а). Затем из соответствующей таблицы с использованием найденного индекса определяется двоичное представление символа.

В [4] приведена предлагаемая структурная схема коррелятора (см. рис. 2). Очень упрощенно принцип его работы описан ниже. В корреляторе реализованы два режима работы: синхронизации (в котором выполняется поиск преамбулы) и распознавания символов. Преамбула содержит четыре DCSK-символа (1111). В режиме синхронизации сигнал с выхода АЦП через мультиплексор поступает на вход сдвигового регистра 2, в котором осуществляется потактовый сдвиг. Одновременно с выхода этого регистра данные передаются на вход собственно коррелятора. В простейшем случае (при одноразрядном АЦП) в корреляторе выполняется побитовое сложение по модулю 2 (логи-

ческая операция XOR). Первым операндом являются данные с выхода сдвигового регистра 2, вторым — шаблон. В результате анализа на каждом такте сдвига информации с выхода коррелятора определяется максимальное число совпадений содержимого всех разрядов операндов. В режиме распознавания символов вначале данные с выхода АЦП поступают в регистр 1 до его полного заполнения, а затем переписываются в буферный регистр 2. При помощи мультиплексора выход регистра 2 в этом случае подключается к его входу, и формируется кольцевой сдвиговой регистр, в котором осуществляется поразрядный сдвиг принятого символа. Путем анализа информации на выходе коррелятора определяется индекс сдвига принятого символа относительно шаблона. В действительности все значительно сложнее, уже хотя бы потому, что сам термин DCSK расшифровывается как дифференциальная кодовая манипуляция, и в приемнике необходимо определять относительный индекс сдвига соседних символов в последовательном потоке данных.

В спецификациях HomePlug C&C регламентируются следующие характеристики физического уровня: динамический диапазон сигнала не менее 90 дБ; чувствительность не хуже 1 мВ; при частоте появления ошибочных бит (Bit Error Rate — BER) равной 0,01 в линии допускаются периодические импульсные помехи, искажающие до 40% сигнала, а также аддитивный белый шум с гауссовским распределением (Additive White Gaussian Noise — AWGN) с уровнем на 5 дБ выше уровня полезного сигнала [3, 7].

ПРОИЗВОДИТЕЛИ

Израильская компания Yitran Communications (до ноября 2004 г. — ITRAN Communications Ltd.) была основана в 1996 г. и является одним из лидеров разработки компонентов для PLC-модемов (www.yitran.com). С 2009 г. для замены разработанного ранее PLC-модема IT800 израильская компания Yitran Communications предлагает новую микросхему IT700 (HomePlug C&C) [5]. Структурная схема PLC-модема IT700 приведена на рисунке 3.

Модем IT700 содержит усовершенствованное процессорное ядро 8051, флэш-память объемом 256 Кбайт, 16-Кбайт память типа RAM, 24 линии ввода/вывода общего назначения

Таблица 1. Скорость передачи данных (HomePlug C&C)

Режим работы	Вид модуляции	Наименование	Стандарт	
			ARIB/FCC	CENELEC
SM (Standard Mode)	DCSK6	Скорость передачи, Кбит/с	7,5	—
RM (Robust Mode)	DCSK4		5,0	2,5
ERM (Extremely Robust Mode)	DCSK4 (с повторением кода)		1,25	0,625

(GPIO), а также PHY-интерфейс и приемопередатчики линии. Связь с внешними устройствами осуществляется через интерфейсы UART, SPI, I²C и JTAG. Интерфейс I²C используется для загрузки параметров конфигурации с внешней памяти типа EEPROM. PLC-модем IT700 поддерживает работу в частотных диапазонах, выделенных соответствующими организациями по стандартизации для высокочастотной связи по электросети в США, Японии и странах Европы. Благодаря применению модуляции типа DCSK, а также использованию встроенных средств обработки сигнала работа модема обеспечивается при динамическом диапазоне сигнала 85 дБ. Чувствительность приемника не хуже 1 мВ (от пика до пика). Напряжение питания 3,3 В. Предусмотрен встроенный стабилизатор напряжением 1,8 В. Микросхема IT700 выпускается в корпусе типа 56-QFN и имеет размеры 7×7 мм.

В реализованном в модеме IT700 протоколе передачи канального DLL-уровня поддерживаются:

- до 1023 логических сетей и до 2047 узлов сети;
- обслуживание передачи данных с подтверждением и без подтверждения доставки данных;
- механизм повторной передачи;
- автоматический выбор режима работы в соответствии с параметрами канала;
- фрагментация и повторная компоновка больших пакетов данных;
- метод сетевого доступа CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance — коллективный доступ с контролем несущей и устранением коллизий).

Предполагается, что модем IT700 будет выпускаться в двух вариантах.

В т.н. версии Protocol Controller Architecture предусматривается поддержка сетевого протокола Yitran's Y-Net. В модемах этой версии программный код сетевого протокола будет прошиваться во флэш-памяти. В этом варианте для обмена данными между хост-процессором и модемом на аппаратном уровне используется интерфейс UART, а на программном — простой набор команд. В этом режиме работы пользователь не будет иметь доступа к незадействованным ресурсам микроконтроллера (блокам памяти, портам ввода/вывода периферийным устройствам и т.д.). Таким образом, IT700 представляется хост-процессору только как модем.

В версии Open Solution Architecture возможно применение в пользовательских приложениях всех периферийных устройств модема IT700 (таймеров, контроллера прерываний,

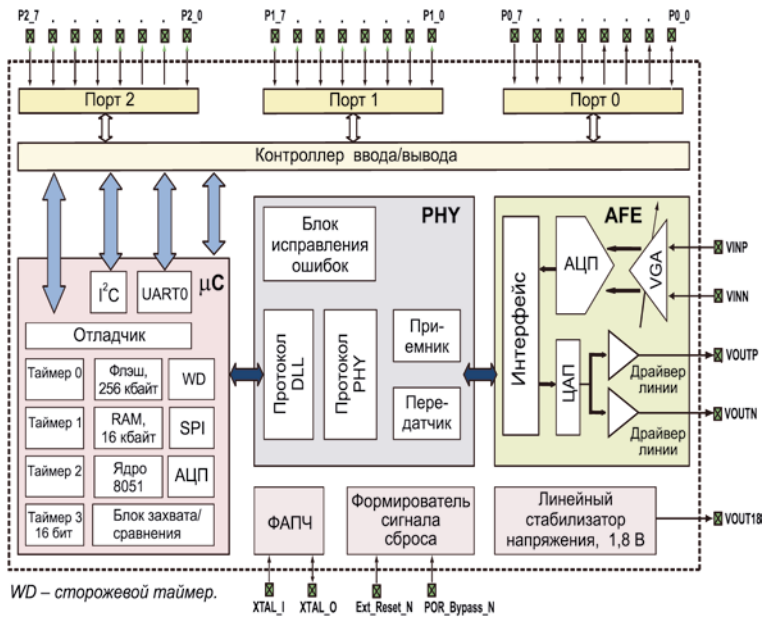


Рис. 3. Структурная схема модема IT700

АЦП/ЦАП, коммуникационных интерфейсов, блоков памяти, портов ввода/вывода общего назначения и т.д.). В этом случае модем является полностью автономным устройством, и внешний хост-процессор не требуется. Использование интерфейса прикладного программирования (API) предоставляет возможность простой интеграции программного кода приложения с кодом протокола сетевого уровня.

Компания Renesas выпускает однокристалльный PLC-микроконтроллер M16C/6S, включающий 16-разрядное процессорное ядро M16C/60 и PLC-модем I800 с аналоговым интерфейсом (Analog Front End — AFE). Структурная схема IMC M16C/6S и вариант ее подключения к линии электросети приведены на рисунке 4 [6].

Основные параметры процессорного ядра (CPU) M16C/60 даны в таблице 2. PLC-модем IT800, разработанный

компанией Yitran Communications, выполнен в соответствии со спецификациями HomePlug C&C и полностью удовлетворяет требованиям стандартов FCC part 15, ARIB и CENELEC. Результаты тестирования модема — зависимость частоты появления ошибочных кадров (FER) от затухания в линии и отношения сигнал/помеха приведены на рисунке 5 [7].

Наличие в микросхеме M16C/6S мощного вычислительного ядра позволяет использовать ее в системах и устройствах без дополнительного хост-контроллера, что, соответственно, снижает стоимость изделий, созданных с использованием PLC-микроконтроллера M16C/6S. Основные сферы применения IMC M16C/6S:

- счетчики электроэнергии;
- системы управления и уличным освещением;
- системы сигнализации;
- системы «умный дом».

Таблица 2. Основные параметры процессорного ядра M16C/60

Наименование		Значение
CPU	Число базовых инструкций	91
	Минимальное время выполнения инструкции, нс	65,1
	Адресуемое пространство памяти, Мбайт	1
	Объем встроенной памяти, Кбайт	ROM 64/96 RAM 24
Периферия	Линии ввода/вывода (GPIO)	21
	Таймеры	5 (16 бит)
	Сторожевой таймер	1
	Контроллер прерываний	28 источников (7 уровней)
	Контроллер прямого доступа к памяти, каналы	2
Интерфейсы		UART(3)/I2C
Напряжение питания, В		3,3...3,6
Ток потребления, мА		70
Диапазон рабочих температур, °C		–20...85/–40...85/–40...105
Количество выводов и тип корпуса		64-LQFP

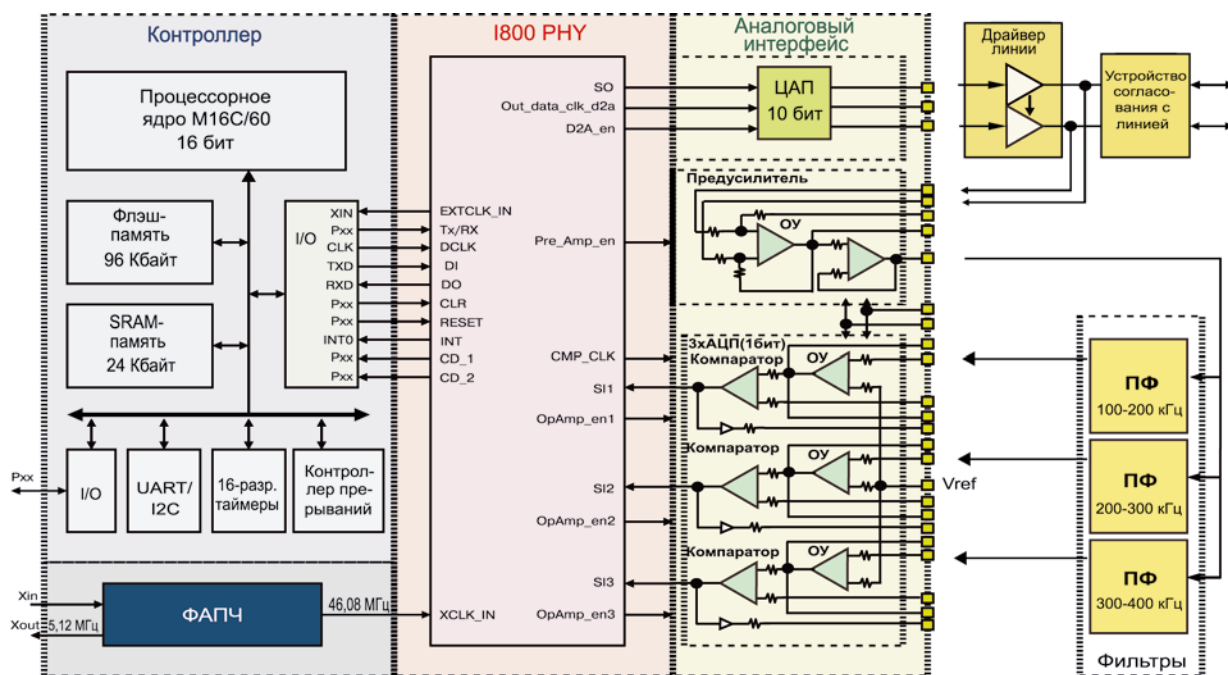


Рис. 4. Структурная схема PLC-микроконтроллера M16C/65

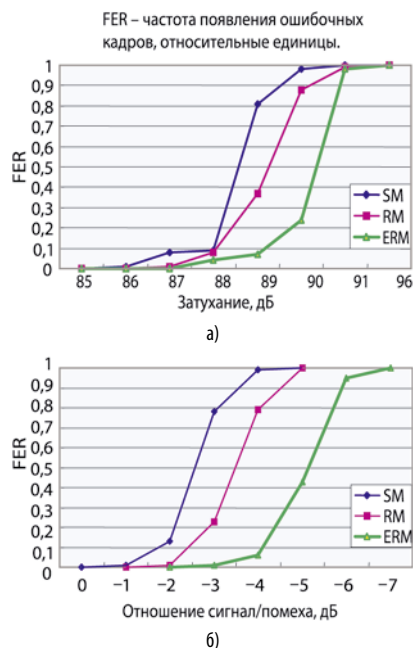


Рис. 5. Зависимость частоты появления ошибочных кадров от затухания в линии (а) и отношения сигнал/помеха (б)

Параметры модема IT700 и его потенциальная востребованность на PLC-рынке привлекают многих производителей электротехнического оборудования. Предполагается, что одним из производителей микросхем IT700 будет израильская компания Tower Semiconductor, Ltd. (www.towersemi.com), которая в 2009 г. заявила об успешном запуске серийного производства модема IT700 на базе технологии 0,18 мкм.

В октябре 2009 г. компания LS Industrial Systems (Корея) и ее дочерняя фирма Planet System Corporation совместно с компанией Yitran Communications подписали соглашение о сотрудничестве по разработке PLC-оборудования для

систем AMR/AMM/AMI с использованием модема IT700. Ожидается, что компания LS Industrial будет активно продвигать на корейском рынке PLC-оборудование, созданное на базе спецификаций HomePlug C&C PLC-модемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Широкое распространение низковольтных электрических сетей 0,2...0,4 кВ, отсутствие необходимости в дорогостоящих работах по строительству траншей и пробивке стен для прокладки кабелей стимулируют повышенный интерес к этим сетям как к среде передачи данных. Фактически, сеть может быть развернута на любом участке, где имеются линии электропитания. Особенно привлекательна PLC-технология при создании разветвленных автоматизированных интеллектуальных сетей (smart grids) для сбора показаний счетчиков расхода энергоносителей, а также домашних компьютерных сетей и сетей в небольших офисах.

Открытость продвигаемых спецификаций HomePlug C&C, потенциальные возможности взаимодействия систем, построенных на базе DCSK, в других сетях и перспектива значительного увеличения в ближайшем будущем скорости передачи данных делает DCSK-модуляцию конкурентоспособной альтернативой другим видам модуляции.

В сентябре 2009 г. компания Yitran Communications анонсировала новый PLC-модем DCSK Turbo IT900, поддерживающий скорость передачи данных до 500 Кбит/с, что значительно больше, чем обеспечивают выпущенные ранее микросхемы IT800/IT700 (7,5 Кбит/с).

Столь высокая скорость передачи (например, в два раза больше, чем в ZigBee 802.15.4) обеспечивается благодаря методу модуляции DCSK Turbo. Модем IT900 предназначен для применения в устройствах AMR/AMM/AMI-сетей, а также в средствах домашней автоматизации. Возможно также его взаимодействие с устройствами, имеющимися в существующих сетях, в которых уже применяются IT800/IT700. Новый модем полностью удовлетворяет требованиям существующих стандартов (FCC, ARIB и CENELEC).

Более полную информацию об узкополосной PLC-технологии, существующих стандартах и PLC-модемах можно найти в [1–7].

ЛИТЕРАТУРА

1. State-of-the-art Technologies & Protocols.D2.1/part 4. — OPEN Meter, 2009// www.openmeter.com.
2. HomePlug Command & Control (C&C). Overview. White Paper. — HomePlug Powerline Alliance, 2008//www.homeplug.org.
3. Kevin Jones & Christos Aslanidis. DCSK Technology vs. OFDM Concepts for PLC Smart Metering. — Renesas, March 2009//<http://eu.renesas.com>.
4. United States Patent. Patent Number 6,064,695. May 16, 2000.
5. IT700PowerlineCommunicationModem. AdvancedInformation.ProductBriefProprietary Information. — Yitran Communication, 2008// www.yitran.com.
6. M16C/6S group. Single-chip 16-bit CMOS microcomputer. Rev.5.00. — Renesas, 2009// <http://eu.renesas.com>.
7. Introduction to PLC micro-controller, M16C/6S. A 16-bit MCU equipped with a PLC modem circuit. — Renesas Technology Corp., 2009//www.renesas.com.