

Алексей Пазюк (КОМПЭЛ)

ЛЮБОЙ ПРОТОКОЛ – ПО ПРОВОДАМ: РЕШЕНИЯ TEXAS INSTRUMENTS ДЛЯ PLC-СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ



Передача данных по сетям электропитания (PLC) – современное решение для АСКУЭ, промышленной и бытовой автоматики. PLC-решения от Texas Instruments – это гибкость и масштабируемость реализации за счет использования сигнального процессора семейства C2000 (Piccolo и Concerto) и отдельной микросхемы для предварительной обработки аналогового сигнала (AFE03x).

На сегодняшний день в системах передачи информации успешно сосуществуют различные проводные и беспроводные интерфейсы. В последнее время активно развивается отдельный сегмент передачи и сбора данных – интеллектуальные сети, предназначенные для учета энергоресурсов (Smart Grid). Такие сети позволяют обеспечить двусторонний обмен информацией между потребителем и производителем/поставщиком энергоресурсов. Это, в свою очередь, позволяет не только контролировать энергозатраты, но и оптимизировать потребление энергии за счет распределения и снижения пиковой нагрузки, локализации энергопотерь, повышения надежности и т.д.

На физическом уровне «интеллектуальные» сети строятся с использованием как стандартных проводных (UART, RS-485 и т.д) и беспроводных (ZigBee, 6LoWPAN и др.) интерфейсов, так и других интерфейсов, таких, как системы передачи данных по силовым электропроводам, системы передачи данных с использованием GSM-канала и пр. Различные способы передачи данных могут успешно использоваться в пределах одной сети. Например, для счетчиков расхода воды, газа или тепла наиболее логичным является создание автономных устройств на базе микроконтроллеров со сверхнизким энергопотреблением (серий MSP430), объединяющихся в беспроводные сети, с питанием от мощных литиевых батарей. А для счетчиков электроэнергии уместным будет решение с использованием силовой сети как для питания самих счетчиков, так и для передачи данных посредством той же сети (Power Line Communication, PLC).

Следует отметить, что PLC-модемы активно используются не только в системах

энергочета, но и в системах управления освещением, бытовой и промышленной автоматикой. Их популярность обусловлена тем, что такие решения позволяют использовать уже существующую инфраструктуру и реализовать систему передачи данных без дополнительных затрат на реализацию новых физических каналов связи, так как для передачи данных используются провода силовых сетей, а переменное сетевое напряжение выступает в качестве несущей частоты.

Тип модуляции

Для передачи данных в системах PLC используют различные типы модуляций. Наиболее распространенными

являются следующие четыре: частотная манипуляция (Frequency Shift Keying, FSK), частотная манипуляция с разнесенными частотами (Spread Frequency Shift Keying, S-FSK), двоичная фазовая манипуляция (Binary Phase Shift Keying, BPSK) и ортогональное мультиплексирование с частотным разделением каналов (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM). В таблице 1 приведено сравнение различных типов модуляций на основании двух главных критериев – эффективности использования полосы частот и сложности реализации.

В частности, при помощи OFDM можно достичь высоких скоростей, что взамен потребует дополнительных вычислительных ресурсов для реализации необходимых алгоритмов. С другой стороны, BPSK и FSK легко реализуются, но обеспечивают низкие скорости и более подвержены внешним помехам. Спектры частот, иллюстрирующие эффективность использования частотного диапазона, показаны на рисунке 1. На

Таблица 1. Сравнение эффективности и сложности реализации в зависимости от типа модуляции

Тип модуляции	Эффективность использования полосы частот	Сложность реализации
FSK	средняя	низкая
BFSK	средняя	низкая
SFSK	низкая	средняя
OFDM	высокая	высокая

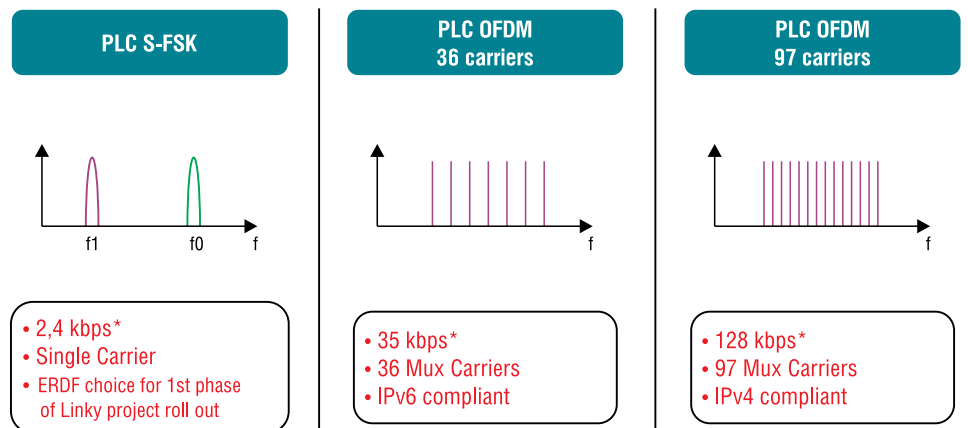


Рис. 1. Сравнение спектров различных типов модуляции

Таблица 2. Регуляторные инструкции

Регион	Инструкция	Диапазон частот, кГц	Примечания
Европа	CENELEC	3...95	A — для поставщиков электроэнергии
		95...125	B — для пользовательских приложений
		125...140	C — для пользовательских приложений
		140...148,5	D — для пользовательских приложений
США	FCC	10...490	—
Япония	ARIB	10...450	—
Китай	EPRI	3...500 (3...90)	—

сегодняшний день намечается тенденция к использованию OFDM с PSK.

OFDM-модуляция основана на многочастотном алгоритме Discrete Multi Tone (DMT), который был разработан и запатентован специалистами из Amati Communications (ныне Internet Access group, подразделение Texas Instruments) в начале 1990-х.

Алгоритм DMT построен по принципу разделения всего диапазона частот, используемого для обмена данными, на несколько участков шириной по 4,3125 кГц, которые используются для независимой передачи данных. При передаче данных информация распределяется между независимыми каналами пропорционально их пропускной способности. При приеме выполняется демультимплексирование каналов и восстановление исходного информационного потока. Для повышения качества связи

передатчик, исходя из уровня помех в частотном диапазоне участка, выбирает подходящую модуляционную схему и скорость передачи. На каналах с малым уровнем шумов часто используются алгоритмы QAM 64, а на более зашумленных каналах — более простые алгоритмы, например QPSK. Кроме того, некоторые из поднесущих частот можно отключать, если в этих частотных диапазонах имеются импульсные помехи.

К достоинствам OFDM можно отнести высокую скорость передачи данных и способность отстраиваться от помех в линии. Еще одним достоинством алгоритма OFDM является наличие для него стандартов ITU и ANSI. Недостатком метода является невозможность избирательной адаптации пропускной способности элементарных каналов к частотным характеристикам линии. Элементарные частотные кана-

лы OFDM разделяются заградительными интервалами. При увеличении числа элементарных частотных каналов пропорционально увеличивается ширина частотного интервала, который не может быть использован непосредственно для передачи данных.

Стандарты и частоты

При разработке PLC-систем необходимо также учитывать дополнительные требования по соответствию существующим стандартам (IEC61 334, PRIME, G3) или местным регуляторным требованиям (CENELEC, FCC, ARIB). Ниже в таблице 2 приведены требования по использованию частот в основных регионах. Европейский стандарт для узкополосной низкочастотной передачи данных по PLC-каналам определяет четыре основные сетки частот. Для сетей Cenelec A, B, D уровень протокола определяется стандартами или патентами. Для сетки Cenelec C определен доступ по стандарту CSMA (Carrier Sense Multiple Access — множественный доступ с контролем несущей).

Обзор решений TI для PLC

Учитывая разнообразные требования для реализации систем на базе PLC, Texas Instruments предлагает решения как для реализации стандартных

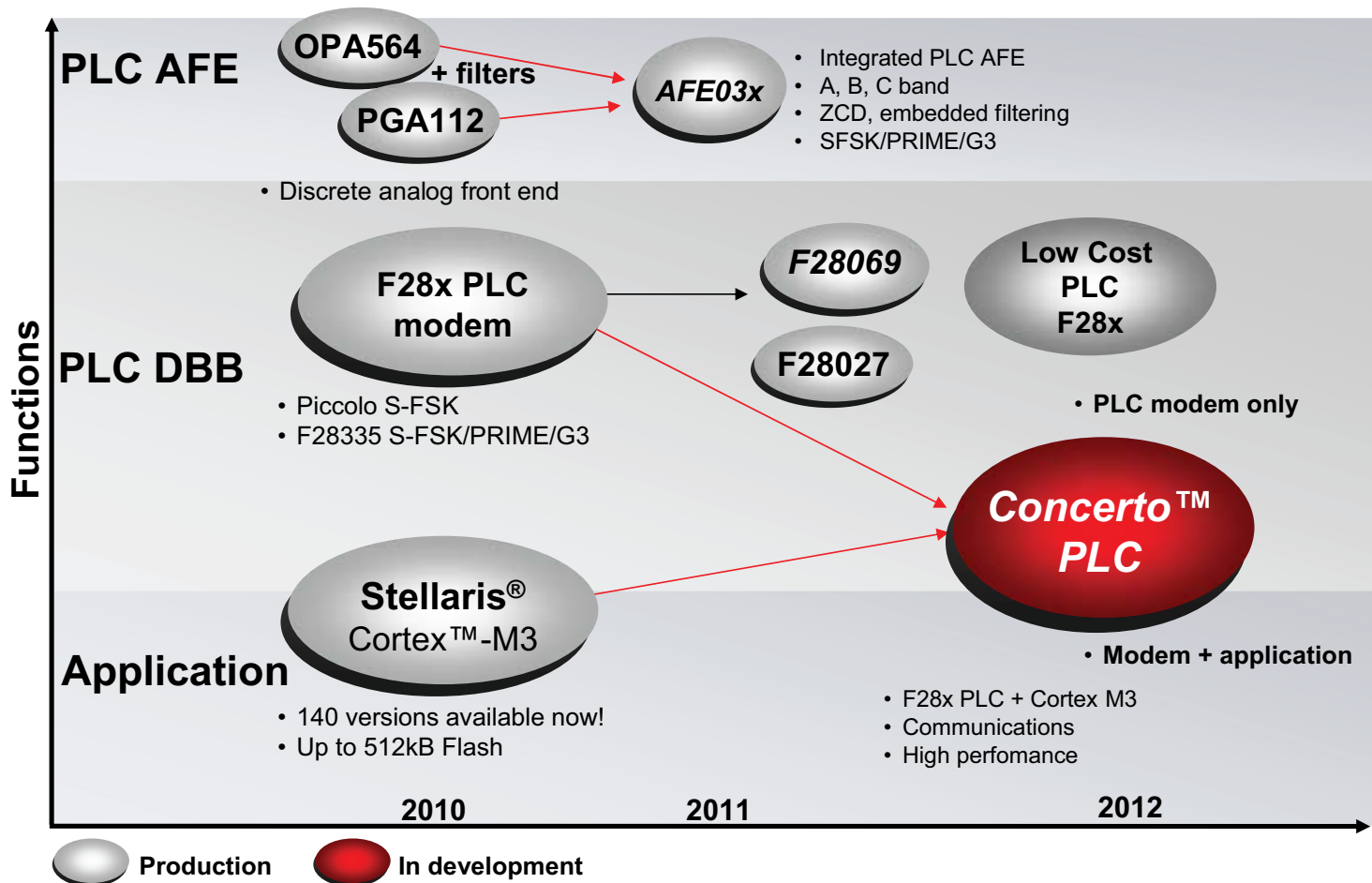


Рис. 2. Развитие линейки PLC-модемов

Таблица 3. Решения TI для реализации различных стандартов

Стандарт	Тип модуляции	Диапазон частот, кГц	Скорость обмена данными, кБод	Целевой процессор	Аналоговая подсистема
IEC 61334 (G1)	SFSK	60...76	1,2...2,4	F28027	AFE030/AFE031
PRIME	OFDM	42...90	21...128	F28069/F28M35x	AFE031
ERDF G3	OFDM	35...90	5,6...45	F28069/F28M35x	AFE031
P1901.2/G3 FCC	OFDM	35...450	34...234	F28M35x	AFE03x
PLCLite (патент TI)	OFDM	42...90	2,4...21	F28035/F28027	AFE031
FlexOFDM (патент TI)	OFDM	<10...FCC*	2,4...128	F28069/F28M35x	AFE031

* – ограничен местными регуляторными требованиями.

(PRIME и G3), так и собственных протоколов (FlexOFDM) (таблица 3).

Отличительной особенностью решений, предлагаемых TI, являются гибкость и масштабируемость реализации. Оба этих принципа обеспечиваются за счет полной программируемости и модифицируемости для требований конкретной задачи.

Гибкость обеспечивается за счет использования схемной архитектуры, основанной на использовании двух микросхем: сигнального процессора семейства C2000 (Piccolo и Concerto) и отдельной микросхемы для предварительной обработки аналогового сигнала (AFE03x). Такой подход гарантирует полную программируемость решения за счет использования процессоров F28x (MAC и PHY) и обеспечивает возможность работы как в режиме S-FSK, так и в режиме низкочастотной узкополосной OFDM-модуляции для стандартов PRIME, G3 и FlexOFDM. Развитие номенклатуры TI для решения задач PLC показано на рисунке 2.

На рисунке 3 показана блок-диаграмма решения для PLC-модема, предлагаемого TI. Основными узлами такого решения являются микроконтроллер, выполняющий функцию цифровой обработки сигнала, аналоговая система, преобразующая цифровые данные в аналоговый сигнал для последующего приема и передачи по силовой линии, и схема согласования. Ниже рассмотрим каждый из блоков в отдельности.

Блок цифровой обработки информации (DSP)

Блок цифровой обработки информации, как правило, реализуется на сигнальных процессорах (DSP) семейства C2000 (таблица 3). Контроллеры семейства Piccolo™ позволяют достичь хорошего соотношения производительности и стоимости, обеспечивая при этом гибкость в реализации множества существующих протоколов.

Микроконтроллеры TMS320F280xx Piccolo™ основаны на высокопроизводительном ядре C28x™ и работают на тактовой частоте 40...90 МГц, имеют до 256 кбайт Flash-памяти, 100 кбайт ОЗУ и 1 кбайт OTP ROM. Микроконтролл

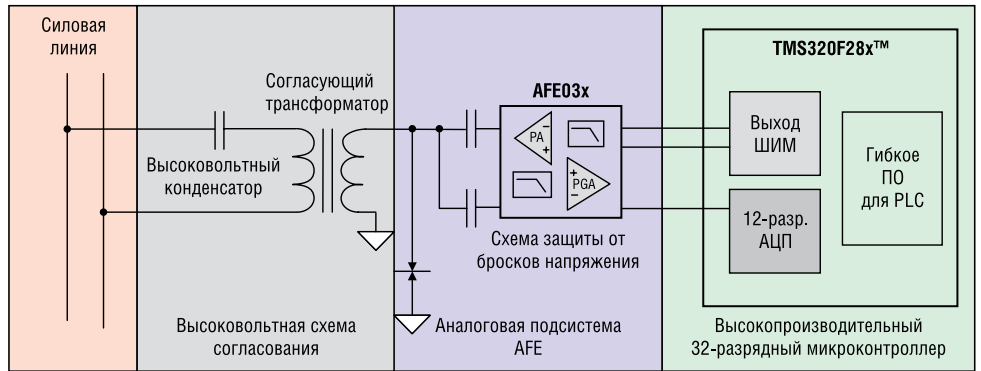


Рис. 3. Блок-диаграмма PLC-модема

еры имеют аппаратный умножитель-аккумулятор, который может работать в режимах 16x16, 32x32 или вдвоенном – 16x16 разрядов. Для ускорения выполнения сложных алгоритмов в линейке F2806x имеются: сопроцессор для операций с плавающей точкой одинарной точности (FPU); программируемый ускоритель алгоритмов управления (CLA); блок алгоритмов Витерби, комплексной арифметики и вычисления CRC (VCU). Эффективности выполнения программ способствуют быстрый ответ на прерывания и их обработка, унифицированная модель памяти, оптимизация кода как для C/C++, так и для ассемблера, и совместимость с кодом предыдущих семейств C28x. Для тактирования микроконтроллера можно использовать два внутренних генератора, встроенный кварцевый генератор/вход внешнего тактирования с поддержкой динамического коэффициента умножения ФАПЧ. Надежность работы системы тактирования обеспечивается сторожевым таймером (WDT) и схемой обнаружения пропадания тактового сигнала. Данное семейство обладает широким набором периферийных модулей (рис. 4): 32-разрядные таймеры CPU; модули расширенных ШИМ (ePWM), модули ШИМ с высоким разрешением (HRPWM), входы захвата (eCAP) и входы захвата с высоким разрешением (HRCAP); квадратурный энкодер (eQEP); 12-разрядный АЦП с производительностью 3 MSPS и схемой устройства выборки и хранения; коммуникационные модули SCI (UART), SPI, I2C, eCAN, USB 2.0.

Внутренние стабилизаторы обеспечивают работу от одного источника питания с напряжением 3,3 В, что избавляет от необходимости применения внешней схемы, обеспечивающей последовательность подачи напряжений на блок микроконтроллера. Микросхемы выпускаются в корпусах LQFP80/LQFP100 (F28069), LQFP80/TQFP64/VQFN56 (F28035), TSSOP38/LQFP48 (F28027) и предназначены для работы в температурном диапазоне -40...125°C. В качестве примера разработки PLC-модема на базе TMS320F28069, компания TI выпускает набор TMDSPLCKIT-V3.

Для применений, требующих большего функционала и интеграции в пользовательские приложения TI предлагает двухъядерные микроконтроллеры F28x35x семейства Concerto. Эти контроллеры позволяют реализовать, например, электросчетчик и концентратор для PLC.

В ближайшее время компания TI планирует расширить линейку Piccolo микроконтроллерами, оптимизированными для работы в качестве сигнального процессора PLC-модемов. В состав такого контроллера будут входить только необходимые модули для реализации PLC, что позволит снизить его себестоимость по сравнению со стандартной серией Piccolo. Микроконтроллер будет построен на стандартном 32-разрядном CPU C28x. Микросхемы предполагается выпускать в корпусе LQFP80 для температурного диапазона -40...125 °C, в соответствии с AEC Q100, повышающие совместимость с существующими микро-

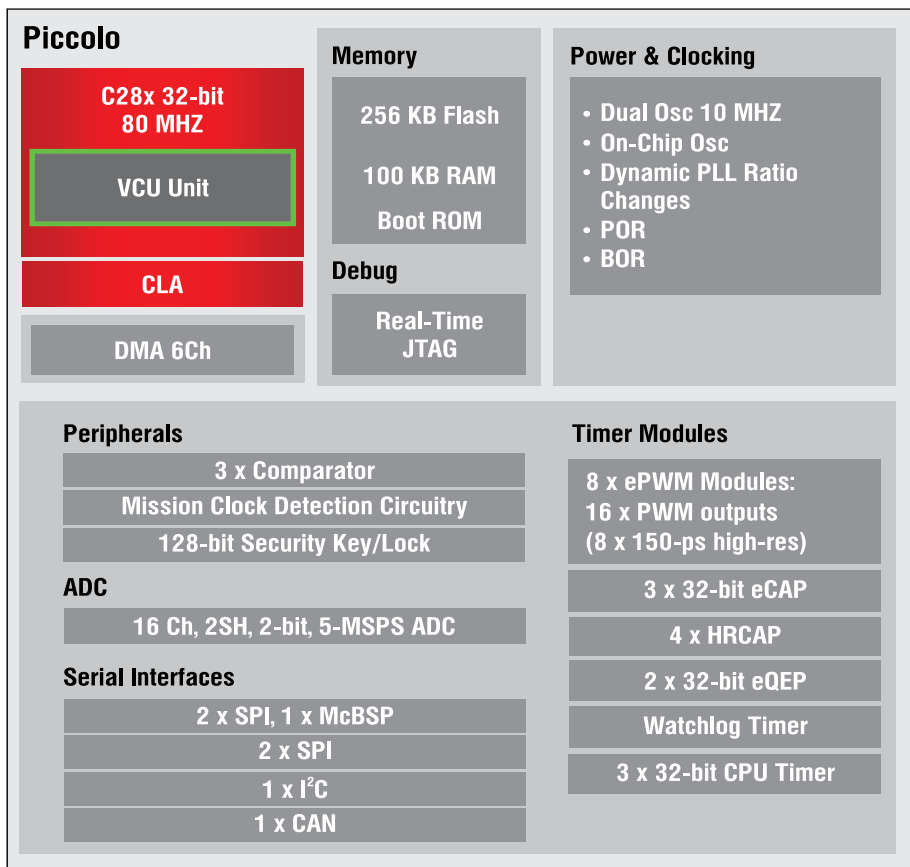


Рис. 4. Структурная схема TMS320F2806x

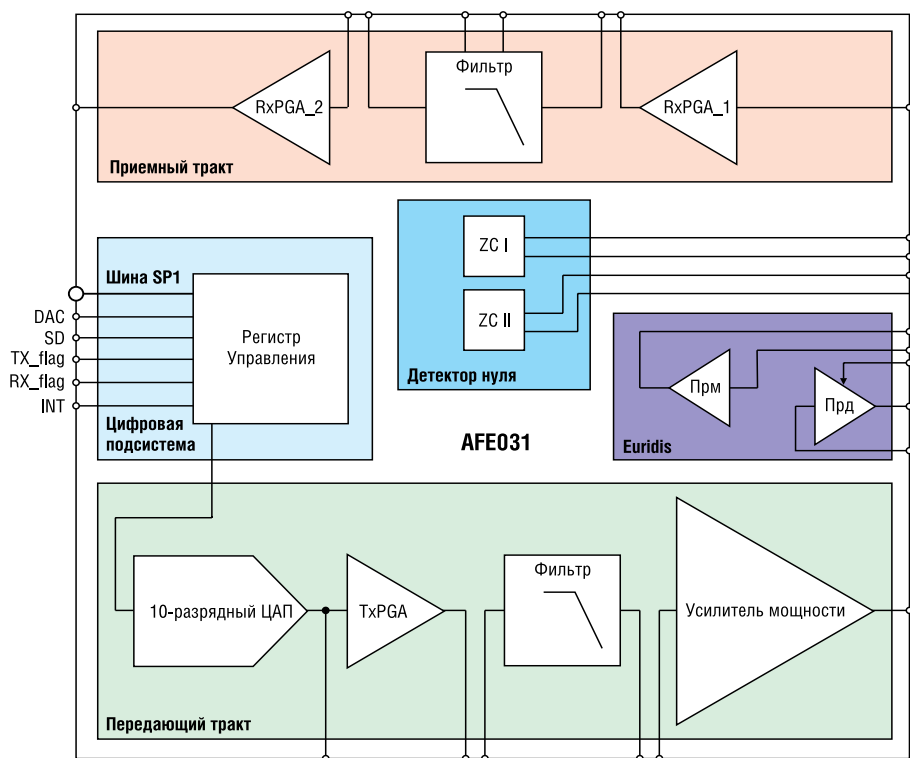


Рис. 5. Блок-диаграмма AFE031

схемами семейства Piccolo. Микроконтроллер будет поддерживать стандарты S-FSK/PRIME/G3 и OFDM в пределах сетей Cenelec B/C и будет предназначен к применению в силовых системах электромобилей (EVSE), системах освещения, солнечных электростанциях.

Аналоговая подсистема PLC-модема

В качестве интегрированного решения для реализации аналоговой части PLC-системы TI предлагаются микросхемы **AFE030** и **AFE031**, которые отличаются величиной выходной токовой нагрузки передатчика (AFE030 — ток до

1,0 А, AFE031 — ток до 15 А) и позволяют реализовать FSK-, SFSK- и OFDM-модуляцию в соответствии с требованиями CENELEC. Функциональные особенности аналогового интерфейса рассмотрим на примере AFE031 (рис. 5).

AFE031 позволяет реализовать соединение с силовой сетью как через емкостную, так и через индуктивную связь с минимальным количеством внешних элементов. Микросхема состоит из трех основных функциональных блоков: приемник, передатчик, усилитель мощности. Кроме них в микросхеме реализованы дополнительные модули: блок детектирования перехода через ноль, блок управления питанием, буфер передачи для стандартов Euridis 1 и 2. Управление всеми функциями осуществляется через четырехпроводный SPI-интерфейс.

Задачей приемного тракта является получение сигнала из переменной силовой сети, подавление шума и усиление информационного сигнала для последующей обработки АЦП микроконтроллера. Приемный тракт AFE031 реализован в виде двух усилителей с независимой регулировкой усиления и программируемого ФНЧ четвертого порядка. Диапазон регулировки усилителей составляет 0,25/0,5/1/2 для RxPGA1 и 1/4/16/64 для RxPGA2. Приемник позволяет детектировать сигнал 20 мкВ и, благодаря широкому выбору коэффициентов усиления, обеспечить условия для его дальнейшей передачи. Полоса пропускания приемника задается двумя внешними конденсаторами и выбором внутреннего режима посредством регистра управления.

Передающий тракт AFE031 может работать в двух режимах — ЦАП и ШИМ. Поэтому кроме традиционного усилителя мощности, фильтра передатчика и PGA в тракт входит 10-битный ЦАП. Усилитель передатчика имеет переменный коэффициент усиления 0,25/0,5/0,707/1, который задается через последовательный интерфейс. Фильтр передатчика представляет собой ФНЧ четвертого порядка с частотой среза, задаваемой через регистр управления. Частота среза передатчика может быть выбрана между двумя значениями, соответствующими CENELEC A либо CENELEC B, C и D. Режим ЦАП рекомендован для достижения лучших характеристик. В режиме ЦАП нет необходимости в использовании дополнительных элементов для соответствия требованиям CELNEC. Для программирования ЦАП используется SPI-интерфейс. Выходной усилитель мощности рассчитан на работу при напряжениях питания 7...24 В и способен обеспечить выходной ток до 1,5 А при температуре р-п-перехода в диапазоне -40...125°C. Для подключения усилителя мощности в типовом PLC-приложении достаточно только двух внешних компонентов: развязывающего

конденсатора и резистора для программирования ограничения по току.

Для получения гибкости в реализации конкретных задач все блоки микросхемы подключены к отдельным выводам, что обеспечивает возможность применения альтернативных решений для фильтрации и обработки сигнала в случае необходимости.

Для оптимизации энергопотребления каждый отдельный блок может быть отключен через последовательный интерфейс. Таким образом, в режиме приема при отключенном тракте передачи достигается мощность потребления около 15 мВт.

Средства разработки

Для начала собственной разработки PLC-системы TI предлагает ряд средств конструирования: отладочные наборы, наборы библиотек, типовые схемы. Отладочные средства представлены в виде **TMDSPLCKIT-V3** (PLC-модем), **TMDSSGI-EVML138** (концентратор).

TMDSPLCKIT-V3 представляет собой набор из двух модемов с программным обеспечением для реализации обмена данными. Модемы, входящие в набор, построены на базе микроконтроллера TMS320F28069 и аналогового блока AFE031.

TMDSSGI-EVML138 — платформа для разработки приложений для интеллектуальных сетей, включая приложения для измерения качества электроэнергии, концентраторы данных, защиты электропитания и т.д. Даная плата построена на базе процессора OMAPL138 и предусматривает возможность подключения дополнительных RF- и PLC-модулей для создания сети.

Также TI представляет данные типового проекта, включая принципиальную схему и информацию для изготовления печатной платы (рис. 6).

В качестве базы для разработки программного обеспечения предлагается среда для разработки **plcSUITE** (рис. 7). PlcSUITE представляет собой набор модулей для реализации различных протоколов (PRIME, G3 и FlexOFDM) и разработки приложений, что дает разработчику возможность получить максимум гибкости при тестировании и проектировании PLC-модемов. Использование готовых библиотек упрощает процесс реализации протоколов.

Также на сегодняшний день TI предлагает программное обеспечение для создания концентратора PLC-сетей под свои процессоры ARM9, работающие на операционной системе Linux. Данное ПО можно использовать совместно с отладочной платой TMDSSGI-EVML138 для исследования возможностей создания PLC-сети. В будущем планируется реализовать данное ПО и под другие процессоры семейства Sitara Cortex A8.

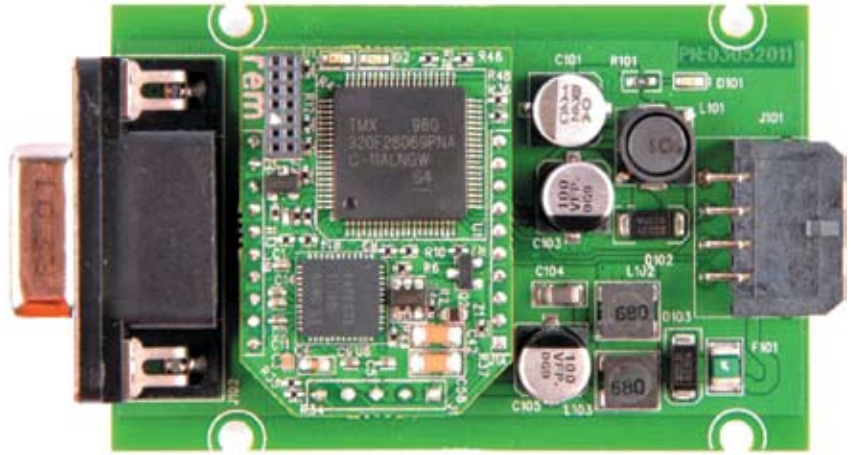


Рис. 6. Пример типового PLC-дизайна

plcSUITE™ Software Frame

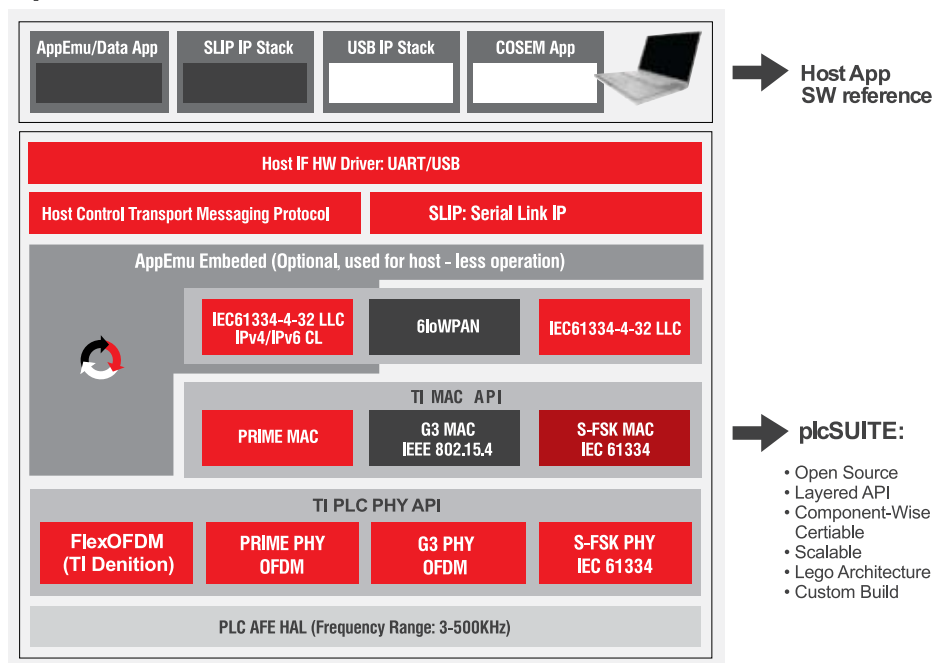


Рис. 7. Состав среды разработки plcSUITE

Заключение

Компания Texas Instruments предоставляет комплексное решение от микросхем до ПО для реализации PLC-сетей в системах управления и сбора информации. Благодаря своей гибкости, такое решение позволяет реализовать систему для любого типа протокола и удовлетворяет возможным требованиям регуляторных инструкций.

Компания КОМПЭЛ является официальным дистрибьютором Texas Instruments и может обеспечить разработчиков как самими процессорами и аналоговыми микросхемами, так и средствами разработки для реализации собственных PLC-проектов.

Литература

1. TMS320F28069 Piccolo Microcontroller. <http://focus.ti.com/docs/prod/folders/print/tms320f28069.html>.

2. TMS320F28069 Piccolo Microcontroller. Datasheet. <http://www.ti.com/lit/gpn/tms320f28069>.

3. AFE031. Powerline Communications Analog Front End. Datasheet. <http://www.ti.com/lit/gpn/afe031>.

4. C2000 Power Line Modem Developer's Kit. <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/tmdsplckit-v3.html>

5. Андрей Самоделов. Концерт для счетчика и сети: PLC-модемы компании Texas Instruments // Новости Электроники №7/2011.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: analog.vesti@compel.ru