



с. 3

Для однофазных и трехфазных счетчиков:

новое семейство измерительных ИС
STPM3x от STM

с. 11

Основа бюджетного расходомера:

8-разрядный контроллер STM8L052 от STM

с. 29

Пользовательский доступ к счетчику:

NFC и Bluetooth Low Energy от STM

STMicroelectronics



Учитывая каждый милливатт

№4 (138), 2015 г.

Информационно-технический
журнал

Учредитель — ООО «КОМПЭЛ»

Издается с 2005 г.

Свидетельство о регистрации:
ПИ № ФС77-43993

Редактор:

Геннадий Каневский
vesti@compel.ru

Выпускающий редактор:

Снежана Холодова

Редакционная коллегия:

Андрей Агеноров
Евгений Звонарев
Александр Маргелов
Николай Паничкин
Борис Рудяк

Дизайн, графика, верстка:

Елена Георгадзе
Екатерина Беляева
Евгений Торочков

Распространение:

Снежана Холодова
Нина Вершинина

Электронная подписка:

www.compeljournal.ru

Распространяется бесплатно
в электронном виде

Подписано к публикации:

23 апреля 2015 г.

СОДЕРЖАНИЕ

БРЕНД НОМЕРА: *STMICROELECTRONICS*

• Для однофазных и многофазных счетчиков: новые измерительные микросхемы от ST <i>Вячеслав Гавриков</i>	3
• STM8L052 как основа для бюджетного расходомера <i>Вячеслав Гавриков</i>	11
• Импульсные источники питания ST для однофазных и трехфазных счетчиков электроэнергии <i>Роман Огнев</i>	18
• Пользовательский доступ к счетчику: NFC и Bluetooth Low Energy <i>Виктор Бугаев, Виталий Дидук, Максим Мусиенко</i>	29
• Готовые библиотеки SPIRIT1 Library для быстрой разработки радиоканала энергосчетчика <i>Александр Калачев</i>	36



life.augmented

В СЛЕДУЮЩЕМ НОМЕРЕ: ПОЛУПРОВОДНИКИ И СВАРКА

- Проектируешь сварочный аппарат? - возьми компоненты от International Rectifier
- Электролитические конденсаторы в сварочных инверторах
- Особенности построения MMA-сварочных аппаратов на базе IGBT от STMicroelectronics

Если вы хотите предложить интересную тему для статьи в следующий номер журнала – пишите на адрес vesti@compel.ru с пометкой «Тема в номер» или в рубрику «Я – автор» раздела «Разработчикам» сайта www.compel.ru.

ОТ РЕДАКТОРА



Уважаемые читатели!

Есть истины, которые кажутся банальными, но о которых, тем не менее, приходится постоянно напоминать. Одна из них — построить современную страну невозможно без современной системы энергопотребления. А такая система подразумевает не просто контроль расхода энергоресурсов, но и возможность оперативного реагирования на изменившиеся условия. Это реагирование, в свою очередь, невозможно без активного участия потребителя. Причем, участие должно происходить не просто на уровне таблички «Не забывайте гасить за собой свет и выключать воду», а должно включать планирование потребления и передачу соответствующей информации поставщику энергоресурса. Это, в свою очередь, позволит в нужное время задействовать локальные источники энергии, в том числе — возобновляемые (ветер, солнечный свет), а также экономно распределять по времени суток моменты включения многопотребляющих электрических устройств.

Именно с этой целью в мире активно внедряются сети интеллектуального энергопотребления **Smart Grid**, в которых одновременно задействованы каналы передачи энергии и обмена информацией.

Одним из первых практических применений **Smart Grid** (сам

термин появился несколько позже) стало внедрение в 2000 году в Италии проекта **Telegestore**, объединившего 27 миллионов домов со smart-счетчиками в единую сеть с возможностью обмена информацией непосредственно по линиям электропередачи. Сама концепция также была придумана в Европе. Логично, что крупнейший европейский производитель полупроводников **STMicroelectronics** стал одним из мировых флагманов внедрения на рынок наборов ИС для этих целей.

Чипсеты **STMicro** для современных интеллектуальных электросетей стоят на трех китах. Первый — семейство измерительных микросхем для одно- и трехфазных счетчиков электроэнергии **STPM**. Семейство обширное, постоянно пополняющееся изданиями с новыми функциями. Второй — линейки бюджетных 8-битных микроконтроллеров с расширенной периферией, предназначенных, в основном, для функций управления и передачи информации (ведь основные вычислительные функции уже взяла на себя микросхема **STPM**). Примером сочетания контроллера и вычислительной микросхемы служит набор **STM8L052 + STPM32** для однофазного счетчика, позиционирующийся самой компанией в качестве базового.

А вот третьим китом являются беспроводные технологии. Передача информации непосред-

ственно по электросети — технология экономичная, но объем передаваемых таким образом данных ограничен, и на качество передачи сильно влияют электромагнитные помехи. **STMicro** предлагает микроконтроллеры с беспроводной периферией, а также микросхемы памяти **EEPROM** с возможностью беспроводного считывания данных по протоколам **NFC/RFID** — например, линейка **M24LR** и **M24SR**.

В этом номере журнала мы расскажем о новейших решениях **STMicroelectronics** в области современных счетчиков расходимых ресурсов и интеллектуального энергопотребления. Рекомендую разработчикам в этой области обращаться за консультациями и образцами продукции к инженерам компании КОМПЭЛ.

С уважением,
Геннадий Каневский

Вячеслав Гавриков (г. Смоленск)

ДЛЯ ОДНОФАЗНЫХ И МНОГОФАЗНЫХ СЧЕТЧИКОВ: НОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ ОТ ST



Новое семейство специализированных измерительных микросхем STPM3x производства компании STMicroelectronics предназначено для создания счетчиков потребляемой электроэнергии в однофазных и многофазных сетях. Метрологические характеристики STPM3x отвечают самым жестким требованиям отечественных и международных стандартов. ST предлагает для новых микросхем демонстрационные наборы, отладочные платы и специальное ПО.

Начиная разговор о приборах учета электрической энергии, необходимо в первую очередь упомянуть о существующих реалиях рынка потребления электричества. Тарифная политика в последние десять лет направлена в сторону обеспечения полной окупаемости произведенной энергии. А это, в свою очередь, требует создания современной системы учета потребляемой и вырабатываемой электроэнергии.

В соответствии с постановлением правительства РФ от 4 мая 2012 г. № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии», система учета предусматривает несколько категорий субъектов рынка (таблица 1) [1]. Для каждого субъекта выдвигаются вполне конкретные требования к приборам учета.

При этом принимаются вполне конкретные меры по принуждению индивидуальных потребителей к установлению приборов учета. Так, например, при отсутствии счетчика оплата по потреблению формируется по установленным нормам, исходя из числа проживающих лиц. Практика показывает, что в этом случае полученные значения оказываются выше, чем реальные показания при наличии прибора учета.

Анализируя требования постановления от 4 мая 2012 г. № 442 к типам счетчиков, можно отметить, что предполагается использование счетчиков активной и реактивной энергии различных классов точности. Рынок приборов учета электрической энергии является растущим и потенциально привлекательным для производителей.

Компания STMicroelectronics предлагает специализированные ИС для создания электросчетчиков, а также множество готовых решений, позволяющих значительно упростить процесс разработки новых приборов учета. При этом характеристики создаваемых образцов будут значительно превосходить требования, указанные в нормативных документах.

Нормативные документы для счетчиков электроэнергии

Постановление от 4 мая 2012 г. № 442 прямо указывает на необходимость соответствия счетчиков электрической энергии требованиям действующих ГОСТов. Среди них можно выделить четыре основных стандарта, которые применимы для большинства бытовых и промышленных счетчиков (до 600 В).

- ГОСТ 31818.11-2012 (МЭК 62052-11:2003) «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Общие требования. Испытания и условия испытаний. Часть 11. Счетчики электрической энергии».

- ГОСТ 31819.21-2012 (МЭК 62053-21:2003) «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 21. Статические счетчики активной энергии классов точности 1 и 2».

- ГОСТ 31819.22-2012 (МЭК 62053-22:2003). «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 22. Статические счетчики активной энергии классов точности 0,2S и 0,5S».

- ГОСТ 31819.23-2012 (МЭК 62053-23:2003) «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 23. Статические счетчики реактивной энергии».

Не имеет смысла пересказывать содержание данных стандартов, стоит лишь дать им краткую характеристику.

ГОСТ 31818.11-2012 является общим. Его требования применимы ко всем приборам учета (статическим и электро-механическим, внутренней и внешней установки), используемым в сетях пере-

Таблица 1. Особенности приборов учета для различных категорий потребителей

Субъект рынка электроэнергии	Напряжение, кВ	Класс точности прибора учета
Граждане (индивидуальные приборы учета)	—	2,0 и выше
Многоквартирные дома (общедомовые приборы учета)	—	1,0 и выше
Потребители с потребляемой мощностью менее 670 кВт	<35	1,0 и выше
Потребители с потребляемой мощностью менее 670 кВт	>110	0,5S и выше
Потребители с потребляемой мощностью более 670 кВт	—	0,5S и выше, хранение почасовых показаний за 120 дней
Потребители с потребляемой мощностью более 670 кВт (счетчик реактивной мощности)	—	2 и выше
Производители электрической энергии	—	0,5S и выше, хранение почасовых показаний за 120 дней

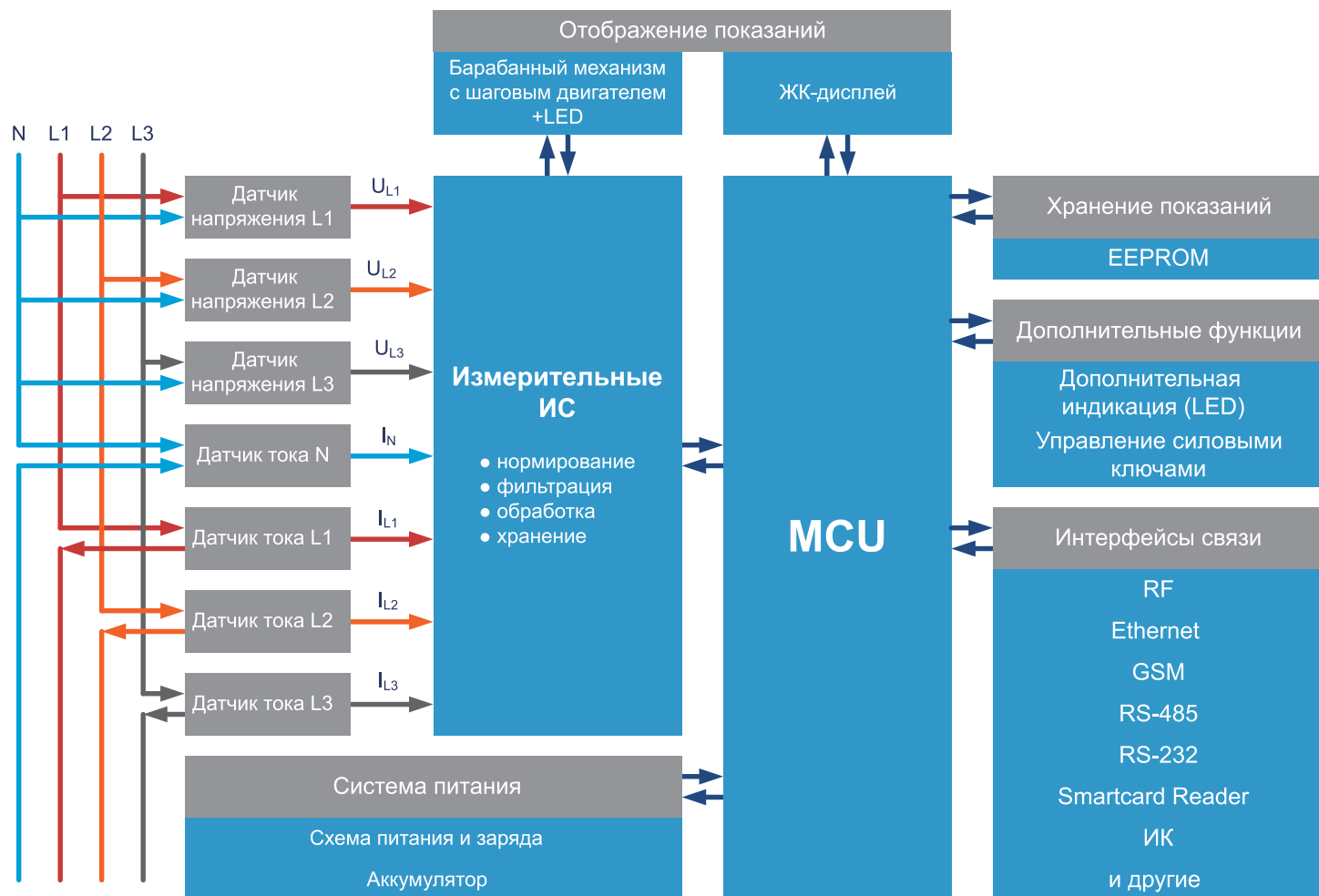


Рис. 1. Функциональная схема интеллектуального счетчика электроэнергии

менного тока 50 или 60 Гц при напряжении до 600 В. Стандарт дает основные определения и характеристики счетчиков, устанавливает требования к типам и условиям испытаний [2].

Среди основных характеристик электрических счетчиков можно выделить:

Стартовый ток (чувствительность), $I_{ст}$ — наименьшее значение тока, при

котором начинается непрерывная регистрация показаний.

Базовый ток, I_b — значение среднеквадратичного тока, являющееся исходным для установления требований к счетчику с непосредственным включением.

Номинальный ток, $I_{ном}$ — значение среднеквадратичного тока, являющееся

исходным для установления требований к счетчику, работающему от трансформатора.

Максимальный ток, $I_{макс}$ — наибольшее значение среднеквадратичного тока, при котором счетчик удовлетворяет требованиям точности. Значение максимального тока обычно выбирается кратным базовому току, но не должно

Таблица 2. Характеристики наиболее распространенных датчиков тока

Характеристика	Шунт	Трансформатор тока	Датчик Холла	Катушка Роговского
Линейность АЧХ и ФЧХ	++	0	-	++
Широкий диапазон измерений (5 декад)	0	0	+	++
Широкая полоса пропускания	+	0	0	++
Отсутствие насыщения постоянным током	++	-	-	++
Низкий температурный коэффициент	0	+	-	++
Высокий уровень изоляции	-	++	0	++
Низкая потребляемая мощность	-	+	0	++
Диапазон выходного напряжения	++	++	-	0
Стоимость	++	0	-	+
Вес	+	-	+	++
Гибкость размеров и формы датчика	-	-	+	++

Обозначения:

"-" — низкие показатели
 "0" — средние показатели
 "+" — хорошо
 "++" — отлично

Таблица 3. Специализированные ИС измерения параметров потребления от ST

Наименование	Измеряемые параметры	Тип датчиков тока	Число каналов измерения	Точность измерения активной мощности ном., %
STPM01	Мощность, мгновенные и среднеквадратичные значения токов и напряжений	Шунт, трансформатор тока, катушка Роговского	2	0,1
STPM10	Мощность, мгновенные и среднеквадратичные значения токов и напряжений	Шунт, трансформатор тока	2	0,1
STPM11	Активная мощность	Шунт, трансформатор тока, катушка Роговского	2	0,1
STPM12			2	0,1
STPM13			3	0,1
STPM14			3	0,1
STPM32	Мощность, мгновенные и среднеквадратичные значения токов и напряжений, SAG, SWELL, ZC	Шунт, трансформатор тока, катушка Роговского	2	0,1
STPM33			3	0,1
STPM34			4	0,1
STPMC1	Мощность, мгновенные и среднеквадратичные значения токов и напряжений	Шунт, трансформатор тока, катушка Роговского	5	0,1
STPMS1	—	—	2	—
STPMS2	—	—	2	—

быть менее 30 А для счетчиков с непосредственным включением.

Номинальное напряжение, Уном — значение среднеквадратичного напряжения, являющееся исходным при установлении требований к счетчику.

Установленный диапазон измерений — совокупность значений измеряемой величины, для которой погрешность счетчика должна находиться в установленных пределах.

Номинальная частота — значение частоты, являющееся исходным при установлении требований к счетчику. Стандарт определяет две возможные номинальные частоты 50 и 60 Гц.

К метрологическим параметрам счетчика также относят **класс точности** и **погрешность**.

Значения номинальных напряжений и базовых токов стандартны, и указаны в данном ГОСТе.

Частные требования к статическим счетчикам электроэнергии описаны в остальных перечисленных стандартах. Так, например, ГОСТ 31819.21-2012 распространяется на статические (электронные) счетчики ватт-часов классов точности 1 и 2, предназначенных для измерения электрической активной энергии в сетях переменного тока частотой 50 или 60 Гц и напряжением менее 600 В. В стандарте содержатся требования двух типов [3].

• **Электрические требования ГОСТ 31819.21-2012** характеризуют потребляемую мощность; влияние кратковременных перегрузок по току; влияние саморазогрева; условия испытаний на напряжением переменного тока.

• **Требования к точности ГОСТ 31819.21-2012** задают пределы погрешности, вызванные изменением тока и

другими влияющими факторами; условия проверки начального запуска, стартового тока и отсутствия самохода; постоянную счетчика; условия проверки счетчика; метод интерпретации результатов испытаний.

Аналогичные требования содержат и ГОСТ 31819.22-2012 для статических счетчиков активной энергии классов точности 0,2S и 0,5S и ГОСТ 31819.23-2012 для счетчиков реактивной мощности [4, 5].

Анализируя требования перечисленных ГОСТов, можно отметить, что наиболее жесткие требования к точности предъявляются приборам класса 0,2S при измерении токов в диапазоне $0,05 I_{ном} \leq I \leq I_{макс}$ (динамический диапазон 20) при чисто активной нагрузке. В этом случае точность должна быть не ниже $\pm 0,2\%$.

В современных счетчиках энергии для непосредственных измерений используются специализированные ИС. Компания STMicroelectronics производит более десятка подобных микросхем, которые обеспечивают точность, отвечающую требованиям ГОСТ 31819.22-2012 для приборов класса точности 0,2S. При этом кроме самих специализированных ИС, STMicroelectronics предлагает референсные решения, имеющие простую функциональную структуру.

Общая функциональная схема

Функциональная схема электрического прибора учета содержит несколько обязательных блоков (рисунок 1).

Сердцем любого счетчика является измерительная часть, которая представлена специализированной ИС и датчиками токов и напряжений (рисунок 1). Датчиками напряжения в

большинстве случаев выступают резистивные делители. Они служат для согласования уровня измеряемого напряжения сети и допустимых входных напряжений ИС. Для измерения уровня протекающих токов используют различные датчики: датчики Холла, катушки Роговского, трансформаторы тока и шунты.

Для отображения показаний применяют как барабанный механизм, так и ЖК-дисплей. Если используется последний, то необходимо наличие управляющего микроконтроллера.

В настоящее время микроконтроллер является неотъемлемой частью интеллектуального счетчика. Компания STMicroelectronics для этих целей предлагает использовать как высокопроизводительные 32-битные семейства **STM32F** и **STM32L**, так и бюджетные 8-битные микроконтроллеры **STM8**.

Кроме управления ЖК-дисплеем, контроллер обеспечивает мониторинг системы питания, запись показаний в EEPROM, передачу сервисной информации и показаний измерений по одному из интерфейсов связи, получение настроечных данных, выполнение дополнительных функций индикации и управления.

Как видно из функциональной схемы, только измерительная часть отвечает за показатели точности прибора в целом. Таким образом, правильный выбор датчиков тока и специализированных ИС является необходимым (но не достаточным) условием достижения требуемой точности. На величину погрешности измерений могут влиять и сопутствующие факторы (неверная разводка платы, неоптимальный выбор параметров измерений и так далее).

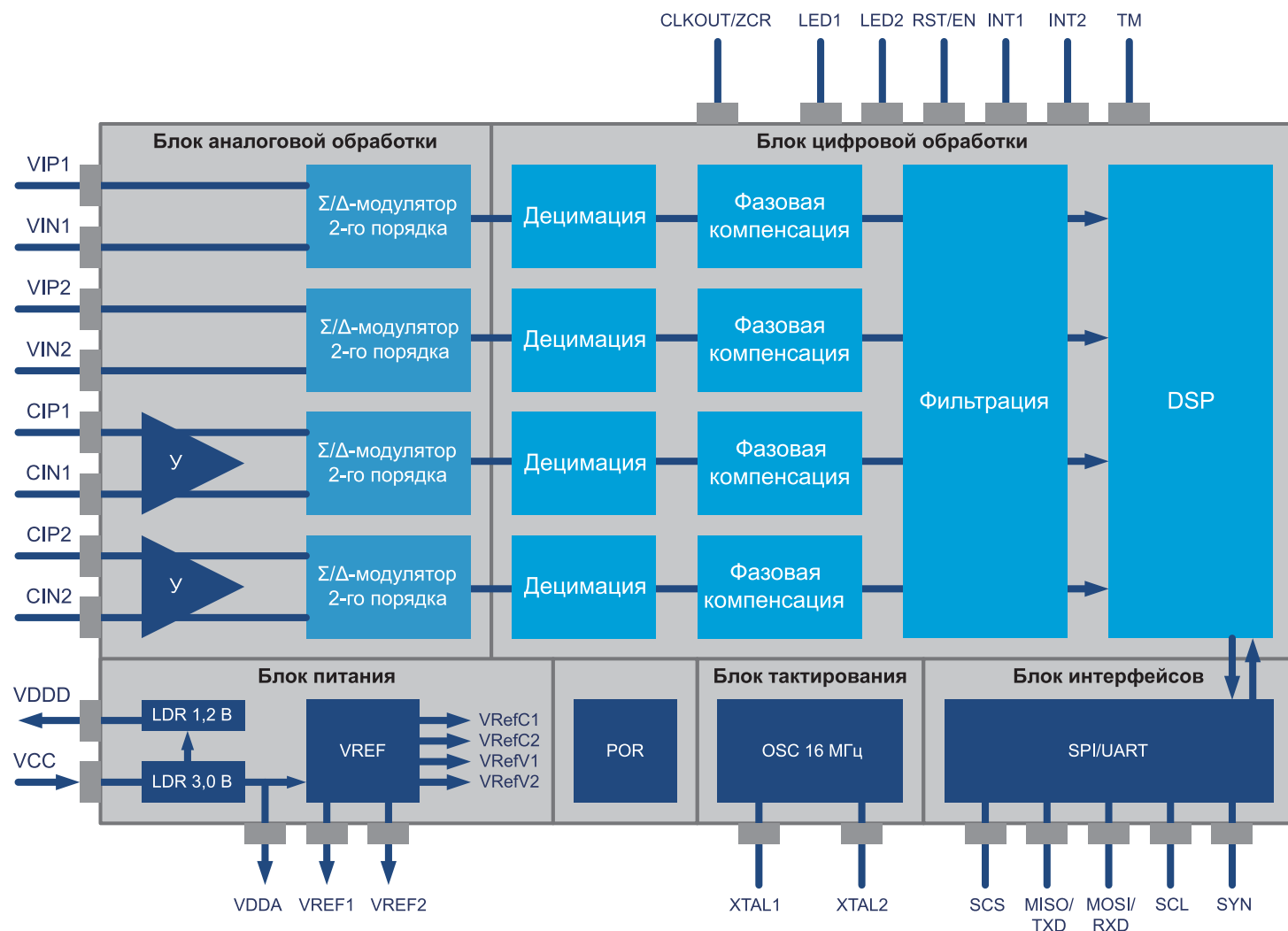


Рис. 2. Структурная схема STPM34

Выбор датчиков тока проводится с учетом метрологических, экономических и габаритных показателей (таблица 2) [6].

Решающее влияние на точность оказывает тип выбранной измерительной ИС. Компания STMicroelectronics предлагает широкий выбор подобных микросхем.

Специализированные измерительные ИС от ST

Номенклатура специализированных измерительных микросхем производства STMicroelectronics содержит более десятка этих изделий (таблица 3). Каждая из этих ИС обеспечивает точность измерений 0,1%, что соответствует требованиям точности даже для приборов учета класса 0,2S. При этом динамический диапазон измерений составляет 1000:1, что превосходит требования стандартов.

Приведенные ИС отличаются типом поддерживаемых датчиков тока, перечнем измеряемых параметров, динамическим диапазоном измерения, типом выходных сигналов, корпусами.

Семейства STPM1x и STPM01 идеально подходят для построения бюд-

жетных счетчиков энергии для индивидуальных потребителей и общедомовых приборов учета.

Связку STPMC1 + STPM1/STPM2 применяют для создания многофазных счетчиков.

Микросхемы семейства STPM3x представляют сложные аналого-цифровые системы, предназначенные для создания точных приборов учета потребляемой активной и реактивной мощности. Кроме измерения мгновенных и среднеквадратичных значений токов и напряжений. К дополнительным преимуществам STPM3x относится возможность определения перенапряжений (SWELL), провалов напряжений (SAG), перегрузок по току, утечек тока. В качестве датчиков тока STPM3x могут использовать шунты, трансформаторы тока, катушки Роговского.

В состав семейства STPM3x входят три представителя: двухканальная ИС STPM32 (один канал для тока и один — для напряжения), трехканальная STPM33 (два канала для тока и один — для напряжения) и четырехканальная STPM34 (два канала для тока, два — для напряжения). Они подходят

для создания однофазных и многофазных счетчиков как активной, так и реактивной мощности.

В настоящее время именно микросхемы STPM3x являются наиболее современными и совершенными среди специализированных изделий STMicroelectronics для счетчиков электроэнергии.

Преимущества нового семейства измерительных ИС STPM3x

Благодаря ряду нововведений и улучшений, STPM3x превосходит семейство STPMx по целому ряду показателей [7]:

- точность измерений 0,1% достигается при динамическом диапазоне измерений 1:5000 (у STPMx только 1:1000);
- полоса пропускания увеличена до 4 кГц (0,8 кГц у STPMx);
- число каналов измерения достигает четырех (STPM34): два для тока и два для напряжения (у STPMx максимум два: один для тока и один для напряжения);
- возможность измерения как активной, так и реактивной мощности, мгновенных и среднеквадратичных значений токов и напряжений;

- возможность определения перенапряжений (SWELL), провалов напряжений (SAG), перегрузок по току, утечек тока;

- наличие интерфейсов связи с микроконтроллером по SPI/UART.

Такие улучшения характеристик стали возможны благодаря качественному улучшению структуры ИС, которую необходимо рассмотреть более подробно.

Особенности структуры микросхем семейства STPM3x

Рассмотрим в качестве примера структуру STPM34. Эта микросхема содержит три основных части: аналоговую (блок аналоговой обработки, система питания, блок тактирования), цифровую (блок цифровой обработки, блок интерфейсов), интерфейсную (блок интерфейсов SPI/UART) (рисунок 2).

В общем виде процесс измерений и обработки данных достаточно линеен. Входные сигналы токов и напряжений проходят сначала аналоговую обработку, потом оцифровываются и обрабатываются методами ЦОС.

Каждый из структурных блоков имеет свои особенности, которые следует рассмотреть отдельно.

Особенности аналоговой части микросхем STPM3x

Аналоговая часть микросхем STPM3x состоит из нескольких блоков: системы питания и начального сброса (Power On Reset, POR), системы аналоговой обработки входных сигналов (Analog Front End, AFE), системы тактирования.

Система питания обеспечивает питание всех блоков, входящих в состав микросхем. Напряжение питания 3,3 В подается на вывод Vcc, остальные необходимые уровни формируются следующими регуляторами:

- регулятор +3,0 В с низким собственным падением напряжения;
 - регулятор +1,2 В;
 - два опорных источника 1,18 В.
- Эти уровни дополнительно буферизируются и преобразуются в четыре напряжения питания аналоговых узлов микросхемы (VREFC1, VREFV1, VREFC2, VREFV2).

Интегрированные регуляторы доступны и для внешних цепей через дополнительные выводы VDDA (3,0 В), VDDD (1,2 В), REF1 и REF2 (1,18 В).

Система первоначального сброса (POR) обеспечивает задержку включения цифровой части микросхемы на 750 мкс. Кроме того, при падении напряжения питания ниже 2,5 В POR заставляет работу ИС.

Система тактирования использует внешний тактовый сигнал частотой 16 МГц. Допустимо использование как кварцевого резонатора, так и генератора.



Рис. 3. Построение однофазного счетчика электроэнергии на базе STPM32



Рис. 4. Построение однофазного счетчика электроэнергии на базе STPM33

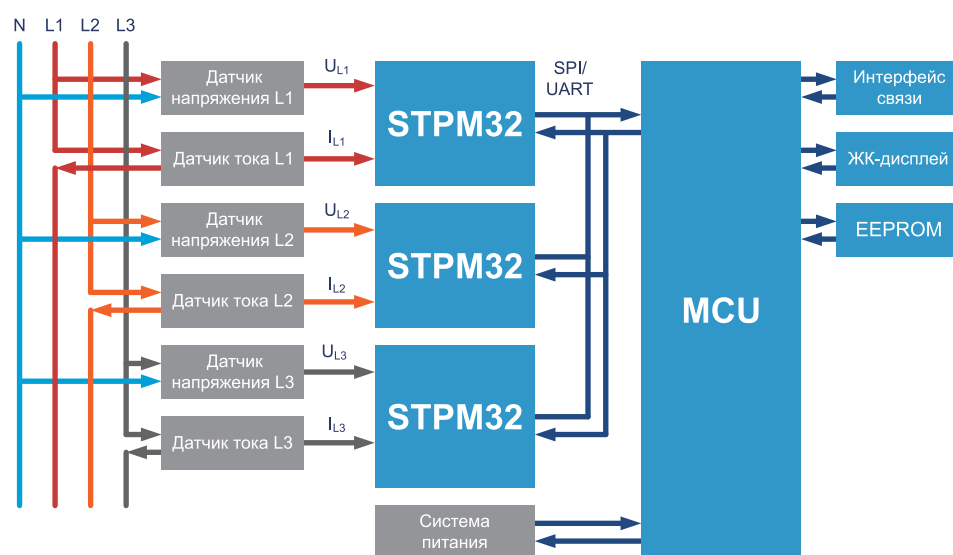


Рис. 5. Построение трехфазного счетчика электроэнергии на базе STPM32

Система тактирования выполняет две основные функции: задержку старта после разрешения от POR для получения плавного запуска и формирование необходимых тактовых сигналов аналоговой и цифровой части ИС.

Система аналоговой обработки входных сигналов AFE в ИС STPM34 обеспечивает обработку дифференциальных сигналов с входных каналов: VIP1-VIN1, VIP2-VIN2 (сигналы напряжения) и IIP1-IIN1, IIP2-IIN2 (сигналы тока).

Допустимый размах входного сигнала на дифференциальных каналах напряжения (VIPx-VIN1x) — фиксирован, и не должен превышать ± 300 мВ.

Токовые каналы снабжены дополнительными входными программируемыми усилителями. Они выполнены по схеме с автокоррекцией прерыванием. Использование такой схемы позволяет минимизировать влияние напряжения

смещения, но ухудшает частотные характеристики.

Для используемых усилителей доступны программируемые коэффициенты усиления 2, 4, 8, 16, которые определяют диапазоны входных дифференциальных сигналов ± 300 , ± 150 , ± 75 или $\pm 37,5$ мВ.

Усиленные сигналы поступают на сигма-дельта-модулятор второго порядка. Модулятор содержит два интегратора, компаратор, сумматоры, ЦАП и блоки обратной связи.

При оцифровке используется техника смешивания с псевдослучайным сигналом. Это позволяет устранить корреляцию сигналов модуляторов и воздействие несущих частот.

Выходной компаратор выполняет функцию однобитного АЦП. При этом аналоговые сигналы преобразуются в поток однобитных данных с частотой выборки 4 МГц.

Таблица 4. Демонстрационные платы STPM3x

Наименование демонстрационного набора	Описание
EVALSTPM32	Демонстрационный набор однофазного счетчика на базе STPM32 и шунтового датчика тока
EVALSTPM33	Демонстрационный набор однофазного счетчика на базе STPM33, одного шунтового и одного трансформаторного датчиков тока
EVALSTPM34	Демонстрационный набор двухфазного счетчика на базе STPM34 и двух трансформаторных датчиков тока
EVALSTPM3X-3PH	Демонстрационный набор трехфазного счетчика на базе микросхем STPM34 и STPM33, трех трансформаторных датчиков тока и управляющего контроллера STM8S903K3
STEVAL-IPE023V1	Плата USB-отладчика/программатора для семейства STPM3x

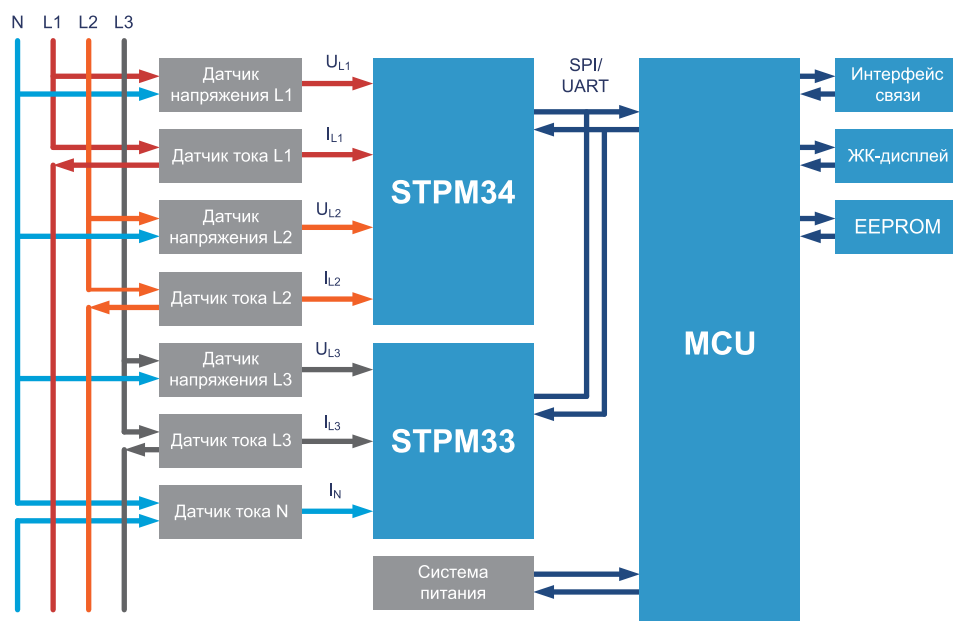


Рис. 6. Построение трехфазного счетчика электроэнергии на базе STPM33 и STPM34

Сформированные цифровые потоки значений тока и напряжения поступают в блок цифровой обработки.

Особенности цифровой части микросхем STPM3x

Цифровая часть STPM3x содержит несколько основных блоков цифровой обработки входных потоков (*Digital front end, DFE*), фазовой компенсации, децимации, цифровые фильтры, блоки калибровки, цифровой сигнальный процессор (DSP).

Блоки цифровой обработки входных потоков (DFE) необходимы для синхронизации поступающих битовых потоков сигналов токов и напряжений.

Блок фазовой компенсации (*Phase compensation*) позволяет вносить фазовые сдвиги во входные сигналы.

Блок децимации (*Decimation block*) преобразует битовые потоки 4 МГц в потоки 24-битных данных с частотой 7,8125 кГц.

Блок цифровых фильтров включает:

- фильтр ВЧ (DC cancelation filter), который устраняет постоянную составляющую из цифровых потоков сигналов токов и напряжений;

- интегратор для катушек Роговского (*Rogowski coil Integrator*);

- базовый фильтр основной частоты (*Fundamental harmonic component filter*). Это НЧ-фильтр, используемый для определения периода момента перехода через ноль, фазо-частотных характеристик и значений активной и реактивной мощности;

- реактивный избирательный фильтр гармонических составляющих (*Harmonic content selection for reactive energy*) используется для определения реактивной мощности.

Цифровой сигнальный процессор (DSP) выполняет окончательную обработку сигналов и определяет искомые параметры потребления:

- значение активной мощности в диапазоне частот 0 Гц (4 Гц)...3,6 кГц;
- значение активной мощности в номинальном диапазоне частот 45...65 Гц;
- реактивную мощность на основной частоте и во всем частотном диапазоне;
- полную мощность, рассчитанную по среднеквадратичным значениям токов и напряжений;
- полную мощность, рассчитанную векторным методом;

- вспомогательные величины: среднеквадратичные значения токов и напряжений, период, момент пересечения нуля, фазовую задержку, перенапряжения (SWELL), провалы напряжения (SAG), утечки тока (при замере тока нулевой фазы).

Результирующие расчетные значения могут быть считаны по одному из возможных интерфейсов связи

Интерфейсы обмена данными с STPM3x

Для считывания результатов вычисления, а так же для программирования режимов работы в STPM3x предусмотрены два совмещенных последовательных интерфейса: четырехвыводной SPI и двухвыводной UART.

Эти интерфейсы используют одни и те же выводы, а потому не могут использоваться одновременно.

Выбор активного интерфейса происходит автоматически при подаче питания или при активации микросхемы с помощью вывода EN. Если при включении микросхемы вывод SCS подтянут к земле, то активным становится SPI. Если на SCS поддерживается высокий уровень сигнала, то выбирается UART. После этого функция выбора интерфейса блокируется, чтобы избежать случайных переключений.

Говоря о протоколе взаимодействия, стоит отметить, что используются пятибайтовые послылки: 4 байта данных + 1 CRC (опционально).

Еще одна интересная особенность заключается в том, что вывод SCS после закрепления выбранного интерфейса выполняет функцию выбора кристалла. Это позволяет использовать параллельное включение микросхем в один канал связи, что важно при построении многофазных счетчиков.

Примеры построения счетчиков на базе STPM3x

Семейство STPM3x включает три микросхемы: **STPM32** (один канал для тока и один для напряжения), **STPM33** (два канала для тока и один — для напряжения), **STPM34** (два канала для

тока и два — для напряжения). Такое разнообразие позволяет реализовывать разные варианты как однофазных, так и многофазных счетчиков.

Для построения бюджетных однофазных счетчиков идеально подходит STPM32 (рисунок 3). ИС позволяет измерять ток и напряжение одной фазы, этого вполне достаточно в самом простом случае. При необходимости, интерфейс между STPM32 и микроконтроллером может быть гальванически развязан.

Приведенный вариант не измеряет ток нулевого провода. По этой причине нет возможности определять токи утечки. Такого недостатка лишена схема на базе STPM33 (рисунок 4). Эта ИС имеет дополнительный канал измерения тока, который используется для измерения тока нулевого провода.

Многофазный счетчик может быть реализован с помощью трех STPM32 (рисунок 5). При этом ток нулевого провода не измеряется.

Многофазный счетчик с возможностью определения токов утечки строится с использованием пары микросхем STPM33 и STPM34 (рисунок 6).

При разработке счетчика электроэнергии необходимо помнить, что наличие высокоточной измерительной микросхемы и отличных токовых датчиков не гарантирует приемлемых результатов. Негативное влияние на точность могут оказать ошибки при разводке печатной платы, неверно проведенная калибровка, наличие магнитных полей, отсутствие экранирования и так далее [8, 9]. Для того чтобы быстро и без проблем ознакомиться с возможностями STPM3x и на его основе разрабатывать собственные счетчики, логично использовать готовые демонстрационные наборы и сопутствующее ПО STMicroelectronics.

Фирменные демонстрационные наборы и программное обеспечение для работы с STPM3x

Компания STMicroelectronics предлагает три демонстрационных платы для ознакомления с семейством STPM3x, а также референсную плату трехфазного счетчика с микроконтроллером **STM8S903K3** (таблица 4).

Демонстрационные платы **EVALSTPM34**, **EVALSTPM33** и **EVALSTPM32** предназначены для работы в двухфазной сети. Внешне платы имеют весьма схожий вид (рисунок 7). Они отличаются типом используемой ИС и составом датчиков тока [10].

Среди особенностей демонстрационных плат стоит отметить:

- высокую точность измерений 0,2%;
- наличие разъема подключения USB-программатора **STEVAL-IPE023V1** для отладки с помощью ПК;



Рис. 7. Внешний вид демонстрационных плат EVALSTPM3x на примере EVALSTPM33

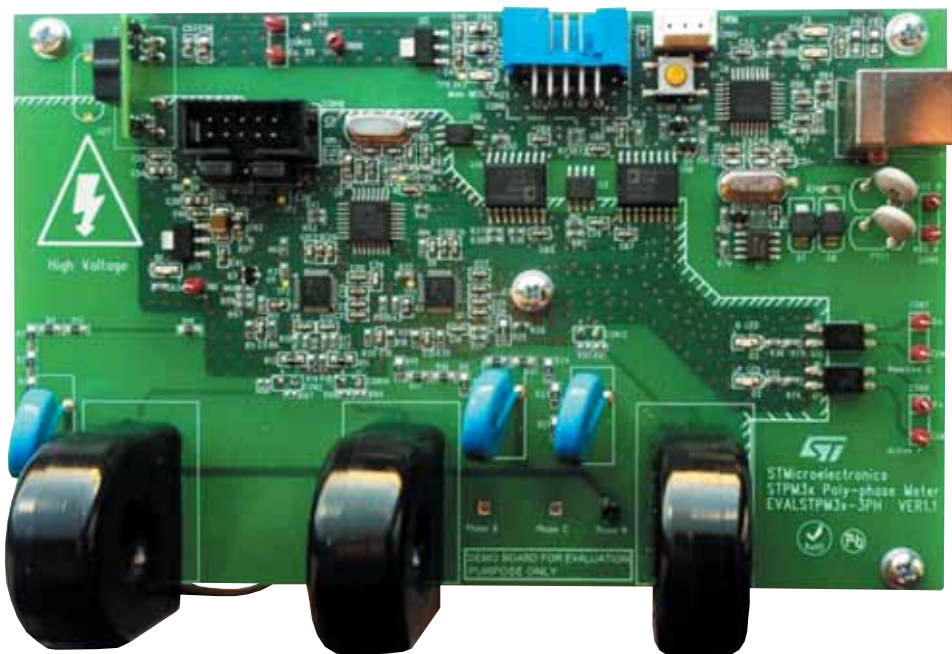


Рис. 8. Внешний вид референсной платы EVALSTPM3X-3PH

- гальванически развязанный **RS-232-UART**;
- возможность выбора интерфейса связи (переключателем);
- два программируемых светодиода;
- питание от внешнего источника или от **STEVAL-IPE023V1**;
- совместимость со стандартом по помехозащищенности IEC61000.

Для работы с демонстрационными платами логично использовать бесплатное фирменное ПО (**STPM3xEvalSoft**), позволяющее взаимодействовать с измерительными ИС с помощью ПК. Для этой цели необходим специальный USB-программатор/отладчик **STEVAL-IPE023V1**.

Предлагаемое ПО имеет удобный интерфейс (GUI) и дает возможность использовать готовые предустановки для различных типов ИС, вручную конфигурировать регистры, проводить автоматическую процедуру калибровки, сохранять данные измерений на ПК и так далее [11].

Несколько другой подход к разработке собственного счетчика реализуется с помощью использования референсного многофазного счетчика **EVALSTPM3X-3PH** (рисунок 8). Он включает в себя две измерительные ИС (**STPM33** и **STPM34**), три трансформатора тока, микроконтроллер **STM8S903**. Микроконтроллер осуществляет настройку

ИС, чтение показаний измерений, общение по коммуникационным интерфейсам, управление светодиодами.

Особенностями EVALSTPM3X-3PH являются:

- высокая точность измерений 0,2%;
- номинальное среднеквадратичное значение напряжения сети 140...300 В;
- номинальное среднеквадратичное значение тока 5/100 А;
- частота сети 50/60 Гц;
- наличие коннектора для подключения от STEVAL-IPE023V1;
- питание от USB;
- коннектор для прямой связи с STPM33/34 по SPI/UART;
- коннектор SWIM для программирования микроконтроллера STM8S903;
- два программируемых светодиода;
- совместимость со стандартом по помехозащищенности IEC61000.

Заключение

STPM3x являются наиболее совершенными измерителями потребляемого электричества в Номенклатуре изделий STMicroelectronics. Данные ИС позволяют строить однофазные и многофазные счетчики, отвечающие самым жестким требованиям международных стандартов.

Среди ключевых особенностей STPM3x можно отметить:

- высокую точность измерений 0,1% при динамическом диапазоне измерений 1:5000;
- широкую полосу пропускания 4 кГц;
- до четырех каналов измерения (STPM34);
- поддержку различных датчиков тока (трансформаторы тока, шунты, катушки Роговского);
- возможность измерения не только активной, но и реактивной мощности, мгновенных и среднеквадратичных значений токов и напряжений;
- возможность определения перенапряжений (SWELL), провалов напряжений (SAG), перегрузок по току, утечек тока;
- связь с микроконтроллером по одному из интерфейсов SPI/UART.

Разработка собственных счетчиков на базе STPM3x значительно упрощается благодаря демонстрационным наборам, референсным платам, сопутствующему программному обеспечению.

Литература

1. Постановление правительства Российской Федерации от 4 мая 2012 г. № 442 «О функционировании рознич-

ных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».

2. ГОСТ 31818.11-2012 (МЭК 62052-11:2003) «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Общие требования. Испытания и условия испытаний. Часть 11. Счетчики электрической энергии».

3. ГОСТ 31819.21-2012 (МЭК 62053-21:2003) «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 21. Статические счетчики активной энергии классов точности 1 и 2».

4. ГОСТ 31819.22-2012 (МЭК 62053-22:2003) «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 22. Статические счетчики активной энергии классов точности 0,2S и 0,5S».

5. ГОСТ 31819.23-2012 (МЭК 62053-23:2003) «Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Частные требования. Часть 23. Статические счетчики реактивной энергии».

6. AN3306. Application note. Current sensing in metering applications using a Pulse current sensor and ST metering devices. Rev.1. ST Microelectronics, 2010.

7. DS10272. Datasheet. STPM32, STPM33, STPM34. ASSP for metering applications with up to four independent 24-bit 2nd order sigma-delta ADCs, 4 MHz OSF and 2 embedded PGLNA. Rev.2. ST Microelectronics, 2014.

8. AN4470. Application note. The STPM3x application calibration. Rev.1. ST Microelectronics, 2014.

9. S. Ranno, Design tip. DT0039. Improving measuring accuracy and EFT immunity for STPM3x. applications. Rev.1. ST Microelectronics, 2014.

10. UM1748. User manual. EVALSTPM34, EVALSTPM33, EVALSTPM32 evaluation board. Rev.1. ST Microelectronics, 2014.

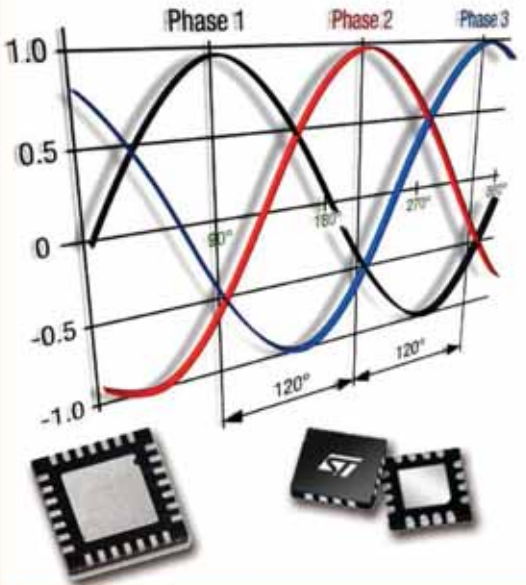
11. UM1719. User manual. The STPM3x evaluation software. Rev.1. ST Microelectronics, 2014.

12. <http://www.st.com/>



STPM3x -

новые измерители для счетчиков



- Точность: 0,1% (5000:1), 0,5% (10000:1)
- Ширина полосы: 4 кГц
- Измерение реактивной и активной мощностей
- Калибровка по одной точке
- Детектирование перегрузок по току
- Чувствительность: -3 дБ
- Малошумящие усилители
- Поддержка до 4 каналов
- Интерфейс SPI/UART

Поддержка разработчиков:

E-mail: st@compel.ru

www.compel.ru/projects-support



www.compel.ru

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

Вячеслав Гавриков (г. Смоленск)

STM8L052 КАК ОСНОВА ДЛЯ БЮДЖЕТНОГО РАСХОДОМЕРА



Что можно использовать в качестве базового микроконтроллера для простого, бюджетного, но вместе с тем — интеллектуального однофазного счетчика электроэнергии? STMicroelectronics предлагает в качестве базы для него свой восьмиразрядный микроконтроллер STM8L052, обосновывая этот выбор и подкрепляя его отладочными платами собственной разработки.

Сокращение стоимости микроконтроллеров и расширение их функциональных возможностей привело к росту интеллектуальности электронных приборов и снижению их цены. Яркий пример — развитие приборов учета электрической энергии, воды, газа. Определим перспективы использования микроконтроллеров STM8L052 в составе бюджетных бытовых расходомеров на примере счетчиков электроэнергии.

Наличие развитой системы учета является залогом прозрачности рынка электрической энергии. Ее важность подчеркивается в различных государственных документах, основным из которых является постановление правительства РФ от 4 мая 2012 года № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии» [1].

Этот документ определяет субъектов рынка электроэнергии и требования к используемым ими приборам учета. Так, для индивидуальных потребителей предполагается установка счетчиков активной мощности с классом точности не ниже 2. Для общедомовых приборов учета и для мощных потребителей (в линиях до 35 кВ и с потреблением до 670 кВт) класс точности должен быть выше 1. Для потребителей с отбором мощности выше 670 кВт требуется класс точности не ниже 0,5S с возможностью хранения почасовых показаний за 120 дней. Кроме того, для этих же потребителей при согласовании с поставщиком электроэнергии возможна установка счетчиков реактивной мощности с классом точности выше 2. Сами производители энергии при учете отданной мощности обязаны использовать счетчики класса 0,5S и выше.

Суммируя вышесказанное можно отметить, что рынок приборов учета достаточно обширен:

- одно- и многофазные счетчики;
- счетчики различных классов точности;
- счетчики активной и реактивной мощности;
- общедомовые счетчики и счетчики для индивидуальных потребителей;

сложные приборы учета с возможностью хранения данных потребления для мощных потребителей и производителей электроэнергии. Рассмотрим сегмент рынка бюджетных счетчиков. К этому типу приборов можно отнести как счетчики индивидуального потребления, так и общедомовые приборы учета. Успехи современной электроники позволяют вывести данный тип устройств на качественно новый уровень.

Всего за пару десятилетий эти устройства достаточно сильно изменились как по форме, так и по содержанию. На смену индуктивным электромеханическим счетчикам с вращающимся

диском пришли сначала электронные приборы с электромеханическим барабанным индикатором, затем на рынке появились устройства с жидкокристаллическими дисплеями. В настоящий момент наиболее современные бытовые однофазные счетчики потребляемой электроэнергии представляют собой интеллектуальные приборы, входящие в состав единой информационной системы сбора данных.

Среди преимуществ интеллектуальных электронных счетчиков электроэнергии стоит отметить:

- простоту реализации многотарифной системы;
- высокий класс точности;
- возможность измерения не только активной, но и реактивной мощности, мгновенных и среднеквадратичных значений токов и напряжений;
- возможность дистанционного снятия показаний по проводному или беспроводному интерфейсу;
- высокую степень защиты от краж электроэнергии;
- наличие дополнительных функций: определение наличия токов утечки, управление внешними силовыми выключателями.

С точки зрения потребителей, важным достоинством электронных систем учета является их малая цена. Причина этого заключается в низкой стоимости электронных компонентов по сравнению

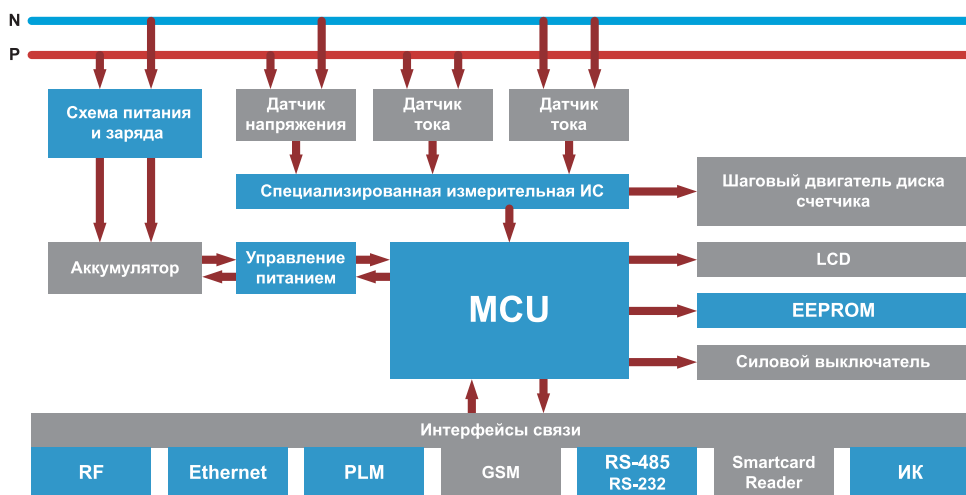


Рис. 1. Функциональная схема интеллектуального однофазного счетчика электроэнергии

Таблица 1. Специализированные ИС измерения параметров потребления производства STMicroelectronics

Наименование	Измеряемые параметры	Число каналов измерения	Номинальная точность измерения активной мощности, %	Диапазон измерений	Интерфейс	Корпус
STPM01	Мощность, мгновенные и среднеквадратичные значения токов и напряжений	2	0,1	1000:01:00	SPI	TSSOP 20
STPM10	Мощность, мгновенные и среднеквадратичные значения токов и напряжений	2	0,1	1000:01:00	SPI	TSSOP 20
STPM11	Активная мощность	2	0,1	1000:01:00	Импульсный выход	TSSOP 20
STPM12		2		1000:01:00		TSSOP 20
STPM13		2		1000:01:00		TSSOP 20
STPM14		2		1000:01:00		TSSOP 20
STPM32	Мощность, мгновенные и среднеквадратичные значения токов и напряжений	2	0,1	5000:01:00	SPI, UART	QFN-24L
STPM33		3		5000:01:00		VFQFPN 32 5x5x1.0
STPM34		4		5000:01:00		VFQFPN 32 5x5x1.0
STPMC1	Мощность, мгновенные и среднеквадратичные значения токов и напряжений	5	0,1	1000:01:00	SPI	TSSOP 20
STPMS1	—	2	—	—	SPI	VFQFPN 16 3x3x0.9
STPMS2	—	2	—	—	SPI	VFQFPN 16 4x4x1.0

со стоимостью электромеханических элементов традиционных счетчиков.

При этом сама разработка не является сверхсложной. Так, например, компания **STMicroelectronics** предлагает все необходимые ресурсы для создания данного типа приборов: от элементной базы до программных решений и даже референсных плат. В статье рассмотрены перспективы создания интеллектуальных однофазных счетчиков с использованием продукции STMicroelectronics, в том числе —

сверхбюджетных решений на базе контроллеров STM8L052.

Функциональная схема однофазного счетчика электроэнергии

Предлагаемая ST Microelectronics функциональная схема однофазного счетчика достаточно проста (рисунок 1) [2, 3].

Основными функциональными блоками электрического счетчика являются:

- датчики напряжения и токов;

- специализированная измерительная микросхема (ИС);
- микроконтроллер;
- блоки индикации (электромеханический индикатор или LCD);
- внутренняя память для хранения показаний и других данных (EEPROM);
- интерфейс связи (радиоканал, Ethernet, RS-485 и другие);
- система питания (аккумулятор, зарядное устройство, микросхемы питания).

Дадим каждой группе блоков краткую характеристику.

Датчики напряжения и токов производят преобразование входных сигналов в форму, подходящую для измерения с помощью специализированных ИС.

Датчиками тока могут выступать шунты, трансформаторы тока, датчики Холла, катушки Роговского.

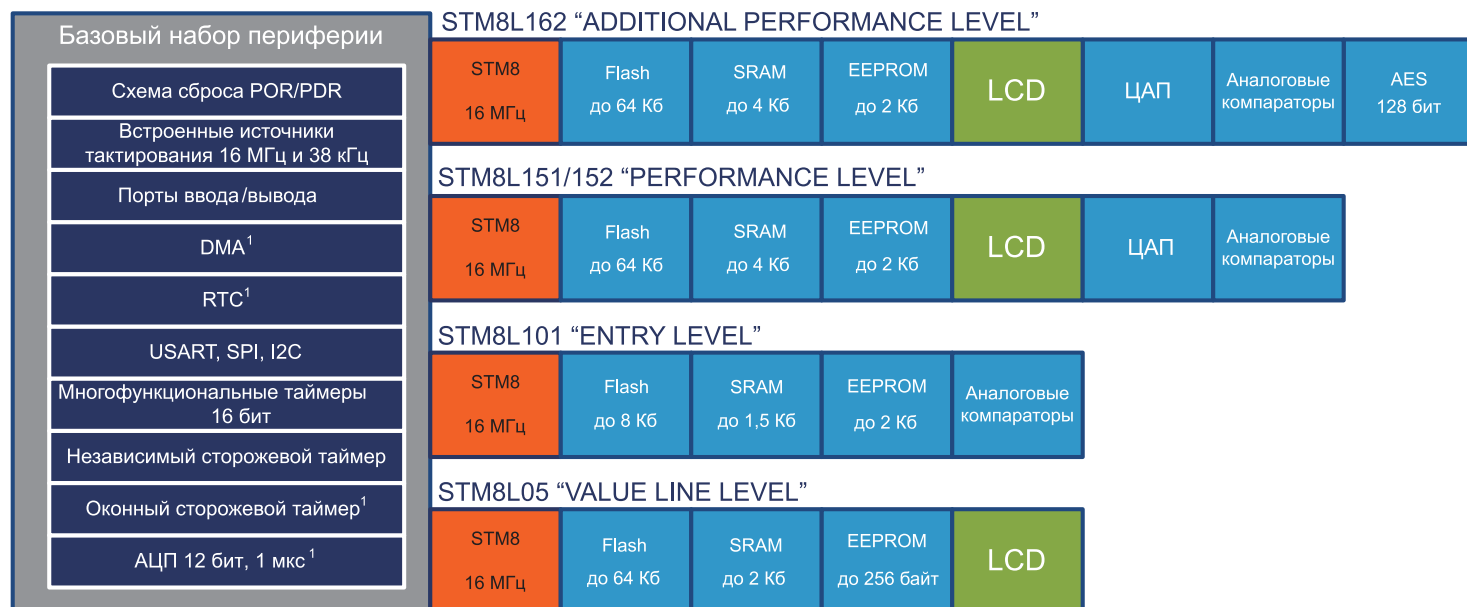
В бюджетных счетчиках они, как правило, выполнены в виде резистивных делителей.

После нормирования, сигналы токов и напряжений поступают на специализированную измерительную ИС.

Специализированная ИС производит непосредственные измерения параметров потребления и передает данные в микроконтроллер или на механический индикатор. Измеряемым параметром для бюджетных счетчиков индивидуального потребления в большинстве случаев является активная мощность.



Рис. 2. Внешний вид референсных счетчиков производства ST Microelectronics



1 – Линейка STM8L101 имеет урезанный набор периферии. Отсутствуют DMA, АЦП и оконный сторожевой таймер.

Рис. 3. Семейство микроконтроллеров STM8L

Кроме того, современные ИС имеют дополнительные возможности определения реактивной мощности, мгновенных и среднеквадратичных значений токов и напряжений, аварийных перенапряжений и провалов, перегрузок по току, утечек тока.

Компания STMicroelectronics предлагает больше десятка специализированных измерительных микросхем (таблица 1). Данные ИС отличаются количеством входов, типами поддерживаемых датчиков тока и выходных сигналов, перечнем измеряемых параметров.

Семейство **STPM1x** включает четырех представителей: **STPM11/12/13/14**. Они предназначены для построения простейших бюджетных однофазных счетчиков. Главная их функция – определение активной потребляемой мощности. При этом данные измерений могут передаваться как на электромеханический барабанный индикатор с шаговым двигателем, так и в управляющий микроконтроллер. Управление шаговым двигателем осуществляется благодаря встроенному драйверу.

Более совершенный вариант счетчика позволяют создать **STPM10** и **STPM01**. Эти микросхемы рассчитывают не только активную, но и реактивную мощность, мгновенные и среднеквадратичные значения токов и напряжений. Для отображения информации необходим микроконтроллер, который общается с ИС по стандартному SPI-интерфейсу.

Связка микросхем **STPMC1 + STPMS1/S2** не предназначена для обычных индивидуальных счетчиков и применяется, в основном, в многофазных приборах учета.

На сегодняшний день наиболее совершенным семейством измерительных ИС

Таблица 2. Демонстрационные наборы STMicroelectronics для создания однофазных счетчиков

Наименование	Описание
STEVAL-IPE012V2	Однофазный счетчик для диапазонов токов 10 А/80 А на базе контроллера STM8L152C6 и измерительной микросхемы STPM10
STEVAL-IPE012V3	Однофазный счетчик на базе контроллера STM8L152C6 и измерительной микросхемы STPM01
STEVAL-IPE020V1	Однофазный счетчик на базе контроллера STM8L152C6, измерительной микросхемы STPM10 и микросхемы памяти M24LR64

является **STPM3x** [4]. Эти микросхемы имеют расширенный динамический диапазон измерений и большую ширину частоты пропускания, при этом сохраняются высокая точность измерений до 0,1%. STPM3x требуют внешнего микроконтроллера для конфигурирования и отображения результатов измерений.

Говоря об измерительной части счетчика, стоит упомянуть, что предложения STMicroelectronics отвечают самым строгим требованиям к точности измерения. Анализ ГОСТ 31819.22-2012 показывает, что на базе этих ИС возможно построение даже приборов класса точности 0,2S, не говоря уже о менее точных бюджетных счетчиках (класс точности 2 и выше).

Микроконтроллер выполняет функции сбора данных измерений, их пересылку в EEPROM, управление ЖК-дисплеем, конфигурирование измерительной ИС, управление системой питания, передачу информации по коммуникационным интерфейсам и так далее. Тип выбранного микроконтроллера зачастую определяет степень «интеллектуальности» счетчика. Компания STMicroelectronics предлагает широчайший выбор контроллеров, различающихся производительностью и набором периферии.

Для высокоинтеллектуальных счетчиков наиболее подходящими будут производственные контроллеры **STM32F**. Для получения компромиссного решения «производительность/потребление» подойдут **STM32L**. Для сверхбюджетных малопотребляющих решений идеальными будут **STM8L**, о которых более подробно будет рассказано ниже.

Блоки индикации в современных счетчиках представлены либо ЖК-дисплеями, либо электромеханическими счетчиками. Важным достоинством большинства контроллеров STM8L является аппаратный ЖК-контроллер.

Внутренняя память EEPROM хранит показания счетчика и другие данные. Связь контроллера с EEPROM может осуществляться по одному из стандартных интерфейсов (SPI, I²C, USART). Кроме того, стоит упомянуть про уникальные микросхемы памяти **M24LR04E**, **M24LR16E** и **M24LR64E** производства STMicroelectronics, которые позволяют реализовывать беспроводной защищенный канал связи.

Интерфейс связи необходим как для ручного автоматизированного снятия показаний со счетчика (RS-232, ИК-канал), так и для включения счетчика в единую систему сбора данных (радиоканал, Ethernet и т.д.). Стоит об-

Таблица 3. Семейство микроконтроллеров STM8L с ЖК-контроллером

Наименование	Корпус	Flash, кбайт	ОЗУ, кбайт	EEPROM, байт	LCD	Количество каналов АЦП 12 бит	Количество таймеров 16-бит	Дополнительные таймеры	Интерфейсы	Ураб, В
STM8L052C6	LQFP48	32	2	256	4x28	25	3	2xWDG, IWDG, RTC, beeper	1xSPI; 1xI ² C; 1xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,8...3,6
STM8L052R8	LQFP64	64	4	256	4x28/8x24	28	4	2xWDG, IWDG, RTC, beeper	2xSPI; 1xI ² C; 3xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,8...3,6
STM8L152C4	LQFP48, UFQFPN48	16	2	1024	4x28	25	3	2xWDG, AWU, RTC, beeper	1xSPI; 1xI ² C; 1xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,65...3,6
STM8L152C6	LQFP48, UFQFPN48	32	2	1024	4x28	25	3	2xWDG, AWU, RTC, beeper	1xSPI; 1xI ² C; 1xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,65...3,6
STM8L152C8	LQFP48, UFQFPN48	64	4	2048	4x32/8x28	28	4	2xWDG, AWU, RTC, beeper	2xSPI; 1xI ² C; 3xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,65...3,6
STM8L152K4	LQFP32, UFQFPN32	16	2	1024	4x17	21	3	2xWDG, AWU, RTC, beeper	1xSPI; 1xI ² C; 1xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,65...3,6
STM8L152K6	LQFP32, UFQFPN32	32	2	1024	4x17	21	3	2xWDG, AWU, RTC, beeper	1xSPI; 1xI ² C; 1xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,65...3,6
STM8L152M8	LQFP80	64	4	2048	4x44/8x40	28	4	2xWDG, AWU, RTC, beeper	2xSPI; 1xI ² C; 3xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,65...3,6
STM8L152R6	LQFP64	32	2	1024	4x40/8x36	28	4	2xWDG, AWU, RTC, beeper	2xSPI; 1xI ² C; 3xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,65...3,6
STM8L152R8	LQFP64	64	4	2048	4x40/8x36	28	4	2xWDG, AWU, RTC, beeper	2xSPI; 1xI ² C; 3xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,65...3,6
STM8L162M8	LQFP80	64	4	2048	4x44/8x40	28	4	2xWDG, AWU, RTC, beeper	2xSPI; 1xI ² C; 3xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,65...3,6
STM8L162R8	LQFP64	64	4	2048	4x44/8x40	28	4	2xWDG, AWU, RTC, beeper	2xSPI; 1xI ² C; 3xUSART (IrDA, ISO 7816)	1,65...3,6

ратить внимание на готовые решения построения радиоканала, предлагаемые STMicroelectronics на базе модулей **SPIRIT1**.

Система питания обеспечивает бесперебойную работу счетчика даже при отсутствии напряжения в сети.

Данная функциональная схема представляет собой обобщенный вариант интеллектуального счетчика. Она может быть изменена с учетом конкретных требований. Например, для снижения стоимости следует изъять избыточные блоки

либо, наоборот, добавить необходимые узлы для расширения функционала.

Аналог приведенной схемы используется и в референсных платах счетчиков производства STMicroelectronics.

Референсные решения: пути снижения стоимости счетчиков электроэнергии

Референсные платы однофазных счетчиков STMicroelectronics могут использоваться в качестве как отладочных наборов, так и готового узла в собственных разработках [5, 6, 7]. В настоящий

момент существует три референсные платы счетчиков. Все они построены на базе микроконтроллера **STM8L152C6** (рисунок 2, таблица 2).

Инструкции по эксплуатации, принципиальные схемы, а также гербер-файлы для производства печатных плат доступны для скачивания на сайте компании STMicroelectronics.

Анализ показывает, что данные платы имеют очень схожий внешний вид и по сути отличаются специализированными измерительными ИС и интер-

Таблица 4. Сравнение функциональных возможностей STM8L152C6 и STM8L052C6

Параметр	Наименование микроконтроллера		Критичность для реализации счетчика
	STM8L052C6	STM8L152C6	
Объем Flash, кбайт	32	32	средняя
Объем ОЗУ, кбайт	2	2	средняя
Объем EEPROM, байт	256	1024	низкая
Количество каналов DMA	4	4	высокая
Количество LCD-контроллеров	4x28	4x28	высокая
Число 16-битных таймеров	3	3	высокая
WWDG/IWDG/RTC	есть/есть/есть	есть/есть/есть	высокая
SPI/I2C/USART	есть/есть/есть	есть/есть/есть	высокая
Количество каналов АЦП 12 бит	25	25	низкая
Потребление режим RUN, мкА/МГц	195 + 440 мкА	195 + 440 мкА	высокая
Потребление режим HALT, мкА	0,4	0,4	высокая
Корпус	LQFP48	LQFP48	низкая
Поддержка сенсорных кнопок	нет	16 каналов	низкая
ЦАП	нет	есть	низкая
Напряжение питания, В	1,8...3,6	1,65...3,6	средняя
Число перезаписей Flash	100	10 000	низкая
Число перезаписей EEPROM	100 000	300 000	низкая
Температурный диапазон, °C	-40...85	-40...85/105/125	низкая
Уникальный ID	нет	есть	средняя

фейсами связи. **STEVAl-IPE012V2** и **STEVAl-IPE020V1** используют микросхему **STPM10**, а в **STEVAl-IPE012V3** применяют **STPM01**. Для обмена данными с внешним миром все платы используют интерфейс IRDA, при этом есть возможность прямого считывания показаний из EEPROM по выведенному каналу I²C. Важной особенностью STEVAL-IPE020V1 является применение памяти **M24LR64** производства STMicroelectronics. Как известно, содержимое M24LR64 может быть прочитано по собственному радиоканалу. Общим для всех плат является использование микроконтроллера **STM8L152C6**.

В данных схемах отсутствуют сложные и дорогие микросхемы внешних интерфейсов (например, Ethernet или мощные радиопередатчики), в них нет сложной схемы питания и дополнительных силовых внешних элементов. Таким образом, эти референсные решения можно с уверенностью назвать бюджетными. Однако пути к дальнейшему уменьшению стоимости все же есть. Этого можно достичь путем выбора еще более дешевого микроконтроллера. Анализ показывает, что с точки зрения выбора микроконтроллера важными являются следующие требования: наличие необходимого набора периферии (LCD-контроллера, коммуникационных интерфейсов (UART, SPI, I²C), таймеров общего назначения, независимого сторожевого таймера, портов ввода-вывода, DMA-контроллера), возможность работы от батарейного питания, низкое собственное потребление.

Очевидно, что из номенклатуры микроконтроллеров производства

STMicroelectronics данные требования удовлетворяет не только STM8L152C6. С точки зрения снижения себестоимости изделий, перспективным будет использование других представителей семейства STM8L, например линейки **STM8L052**.

Обзор семейства микроконтроллеров STM8L

Это семейство представляет собой набор 8-битных микроконтроллеров, выполненных на базе ядра STM8L по технологическим нормам 130 нм.

В настоящее время семейство включает четыре основных линейки (рисунк 3).

Линейка STM8L101 — базовая в семействе. Она отличается самым скромным набором периферии, которая включает:

- два малопотребляющих компаратора;
- два 16-битных таймера;
- один 8-битный таймер с 7-битным делителем частоты;
- один независимый сторожевой таймер (IWDG);
- блок генерации для внешних звуковых устройств (например, пьезоэлементы) на 1,2 и 4 кГц;
- множество коммуникационных интерфейсов: SPI, I²C, USART;
- до 30 входов/выходов общего назначения;
- 96-битный уникальный номер.

STM8L151/152 — исторически самая первая линейка семейства STM8L. Она обладает высокой производительностью и богатой периферией, включающей:

- 12-битный АЦП 1Msps до 28 каналов;

- два 12-битных ЦАП с выходным буфером;

- модуль LCD- контроллера (только для STM8L152);

- DMA на четыре канала для ЦАП, АЦП, SPI, I²C, USART, таймеров, один канал для передачи из памяти в память;

- два малопотребляющих компаратора;

- три 16-битных двухканальных таймера с квадратурным энкодером;

- один 16-битный таймер с комбинаторными выходами для управления двигателями;

- один 8-битный таймер с 7-битным делителем частоты;

- один независимый сторожевой таймер (IWDG);

- блок генерации для внешних звуковых устройств (например, пьезоэлементы) на 1,2 и 4 кГц;

- множество коммуникационных интерфейсов: SPI, I²C, USART;

- до 67 входов/выходов общего назначения;

- до 16 каналов подключения сенсорных кнопок;

- 96-битный уникальный номер.

Линейка STM8L161/162 — производственная линейка, которая отличается от STM8L151/152 интегрированным блоком криптографии AES, позволяющим шифровать и расшифровывать данные по AES-алгоритму.

STM8L05 «Value Line» — бюджетный вариант исполнения STM8L. Данная линейка предназначена для приложений, где цена и энергопотребление являются определяющими факторами.

С точки зрения построения электрических счетчиков одним из важнейших



Рис. 4. Внешний вид демонстрационного набора STM8L-DISCOVERY

достоинств семейства STM8L является наличие встроенного LCD-контроллера, которым снабжена большая часть ее представителей (таблица 3).

Среди других преимуществ использования STM8L в составе счетчиков электричества важно отметить:

- богатый выбор коммуникационных интерфейсов (SPI, I²C, USART);
- широкий набор периферии (таймеры, часы реального времени, АЦП и так далее);
- возможность работы от батарейного питания;

- высокая производительность (до 16 MIPS);
- большой объем встроенной памяти;
- широкий диапазон напряжений питания: 1,65...3,6 В;
- малое потребление: 0,4 мкА в режиме HALT;
- гибкая система тактирования;
- широкий набор режимов пониженного потребления;
- гибкая система управления питанием.

Всеми перечисленными достоинствами обладают **STM8L052** (в составе STM8L051 нет LCD-контроллера). Кроме того, они имеют самую низкую стоимость, что может быть решающим преимуществом при построении бюджетных счетчиков энергии. Это касается не только привычных квартирных счетчиков, но и нового типа изделий — индивидуальных счетчиков потребления отдельных розеток.

Если сравнивать STM8L052 с производственной линией STM8L152, то окажется, что STM8L052 практически не уступает по большинству параметров.

Перспективы использования STM8L052 в составе счетчиков энергии

Выше были перечислены основные требования к микроконтроллерам, работающим в составе бюджетного счетчика энергии. Проведем анализ перспектив использования для этих целей STM8L052.

Для большей наглядности сделаем конкретное сравнение микросхем **STM8L152C6** и **STM8L052C6**. По сути, проверим, насколько возможной является прямая замена STM8L152C6 в референсных платах производства STMicroelectronics.

Сравнение удобно вести по отдельным выполняемым функциям с учетом важности при построении счетчика (таблица 4).

Как мы видим, функционально STM8L052C6 ничем не уступает STM8L152C6 по основным пунктам:

- по объему памяти Flash, EEPROM, ОЗУ;
- по числу каналов DMA;
- по разрешению ЖК-дисплеев;

- по составу и количеству таймеров общего назначения, оконных сторожевых и независимых сторожевых таймеров;
- по составу и количеству коммуникационных интерфейсов;
- по величине потребляемого тока;
- по возможности работы от батарейного питания.

В то же время стоит отметить, что по диапазону питающих напряжений STM8L052C6 уступает, так как работает при напряжениях питания от 1,8 В (STM8L152C6 способен работать при 1,65 В). Можно отметить и некоторое ухудшение температурных параметров, параметров перезаписи памяти.

Однако нельзя говорить, что перечисленные недостатки являются критичными, с точки зрения данного конкретного приложения ими вполне можно пренебречь. Вряд ли бытовому счетчику придется работать при температурах выше 85°C или возникнет необходимость частой перезаписи программ.

Вместе с тем, STM8L052C6 имеет существенно более низкую стоимость, а это преимущество является решающим для бюджетных приложений.

Таким образом, STM8L052C6 могут заменить STM8L152C6 даже в составе существующих референсных плат. Это значительно упрощает разработку новых счетчиков на их основе. Кроме того, к услугам инженеров и программистов предоставляется и стандартный набор средств разработки.

Использование средств разработки при создании счетчика электроэнергии

При разработке счетчика электроэнергии можно использовать готовые референсные платы описанные выше:

- STEVAL-IPE012V2 — однофазный счетчик для диапазонов токов 10 А/80 А на базе контроллера STM8L152C6 и измерительной микросхемы STPM10.
- STEVAL-IPE012V3 — однофазный счетчик на базе контроллера STM8L152C6 и измерительной микросхемы STPM01.
- STEVAL-IPE020V1 — однофазный счетчик на базе контроллера STM8L152C6, измерительной микросхемы STPM10 и микросхемы памяти M24LR64.

К каждой из плат предоставляются принципиальная схема, гербер-файлы для производства печатной платы, руководство пользователя.

Если стоит цель ознакомления с возможностями микроконтроллеров STM8L, то оптимальным вариантом будет использование демонстрационного набора **STM8L-DISCOVERY** (рисунок 4). Данный набор содержит все необходимое для начала работы: микроконтроллер STM8L152C6, ЖК-дисплей 24x4", пользовательские све-

Таблица 5. Библиотеки, актуальные при создании счетчиков и расходомеров

Библиотека	Описание
STSW-STM8016	Стандартная библиотека периферии для STM8L15x/16x/05x/AL3Lx/AL31x
STSW-STM8004	Оптимизированные примеры использования I ² C для STM8 (руководство по эксплуатации AN3281)
STSW-STM8061	Библиотека для создания радиоканала по ISO/IEC 15693 с помощью микросхем EEPROM M24LRxx (руководство по эксплуатации AN3985)
STSW-STM8056	Библиотека с примерами для работы с LCD-контроллером STM8L15x/162x (руководство по эксплуатации AN3114)
STSW-STM8057	Библиотека с примерами для работы с DMA-контроллером STM8L15x (руководство по эксплуатации AN3117)

тодиоды и кнопки, встроенный отладчик ST-Link.

Для разработки программного обеспечения компания STMicroelectronics предлагает использовать одну из доступных сред: либо ST Visual Developer с компилятором Raisonance или Cosmic, либо IAR Embedded Workbench с его собственным компилятором.

Все перечисленные среды имеют поддержку ST-Link и ST-Link/V2.

При написании ПО разумно использовать готовые библиотеки STMicroelectronics. Применительно к разработке счетчиков энергии, наиболее востребованными окажутся конкретные библиотеки (таблица 5): стандартная библиотека периферийных блоков, специализированные библиотеки для работы с ЖК-контроллером, с DMA-контроллером, I²C, библиотека для работы с памятью с радиоканалом M24LRxx.

Важно отметить, что специализированные библиотеки написаны в большинстве случаев для STM8L152. Тем не менее, для перехода на STM8L052 достаточно будет минимальных изменений кода.

Заключение

Компания STMicroelectronics предлагает весь спектр необходимых ресурсов

для создания счетчиков и расходомеров: специализированные измерительные ИС, микросхемы питания, интерфейсы, аналоговые компоненты. Кроме того, в распоряжение разработчиков предоставляются референсные платы с открытыми принципиальными схемами и файлами производства печатных плат.

Наиболее подходящими для использования в составе расходомеров являются микроконтроллеры семейства STM8L. Они отличаются низким потреблением, наличием необходимой периферии (LCD-контроллера, DMA-контроллера, коммуникационных интерфейсов и так далее), возможностью работы от батарейного питания, низкой стоимостью.

Всеми перечисленными достоинствами обладают контроллеры STM8L052, которые, при этом, имеют и рекордно низкую стоимость, что оказывается наиболее важным параметром для создания бюджетных решений.

Разработка и отладка схем на базе STM8L значительно упрощается благодаря наличию доступных сред разработки, бесплатных библиотек и дешевых демонстрационных наборов.

Литература

1. Постановление правительства Российской Федерации от 4 мая 2012 г. № 442 «О функционировании рознич-

ных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии».

2. Smart grid distribution and smart meters. ST Microelectronics, 2012.

3. E-meter single-phase combo solution. ST Microelectronics, 2010.

4. STPM32, STPM33, STPM34. Taking care of every milliwatt. ST Microelectronics, 2014.

5. User Manual. UM1524 User manual STEVAL-IPE012V2 single-phase energy meter with 80 A maximum current based on the STPM10 metering IC and STM8L152C6 MCU. Rev.1. ST Microelectronics, 2012.

6. User Manual. UM1554 User manual Single-phase energy meter with Rogowski coil sensors based on the STPM01 and STM8L MCU. Rev.1. ST Microelectronics, 2012.

7. User Manual. UM1572 User manual STEVAL-IPE020V1 ST energy meter application based on the Android platform. Rev.1. ST Microelectronics, 2012.

8. <http://www.st.com>.

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



УЛЬТРАНИЗКОЕ потребление за МИНИМАЛЬНУЮ цену



- Цена: менее 0,5\$
- Память: до 64 кбайт Flash, до 4 кбайт RAM, EEPROM
- Контроллеры: LCD и DMA
- Потребление: 350 нА с сохранением контекста SRAM
- Время пробуждения: 4 мкс
- АЦП 12 бит, таймеры 16-бит, RTC
- Интерфейсы: 3xUSART, 2xSPI, 1xI²C
- Корпус: TSSOP20, LQFP48, LQFP64

Поддержка разработчиков:
E-mail: st@compel.ru
www.compel.ru/projects-support



Компэл
www.compel.ru

Роман Огнев (г. Москва)

ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ST ДЛЯ ОДНОФАЗНЫХ И ТРЕХФАЗНЫХ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



STMicroelectronics предлагает в качестве основы для построения импульсных источников питания для однофазных и трехфазных счетчиков электроэнергии высоковольтные интегральные преобразователи серий **VIPer** и **ALTAIR**. В статье рассмотрены преимущества и особенности каждого из этих решений.

Современные счетчики электроэнергии представляют собой сложные электронные устройства, имеющие в своем составе (помимо привычных датчиков тока и напряжения) многоканальный АЦП, процессор с функцией DSP, часы реального времени, дисплей, различные типы интерфейсов для калибровки и передачи данных АСКУЭ и так далее.

Помимо стандартных требований к точности измерений в широком диапазоне рабочих напряжений и токов, все чаще к счетчикам предъявляются требования по устойчивости к попыткам влияния на их показания извне (anti-tampering).

Компания STMicroelectronics предлагает полный спектр решений для построения счетчиков электроэнергии — микроконтроллеры, память, дискретные компоненты и микросхемы для создания источников питания.

Рассмотрим несколько способов реализации источников питания для счетчиков электроэнергии.

В целом источник питания для счетчика электроэнергии — это преобразователь с широким диапазоном входных напряжений, с выходной мощностью в единицы Ватт (разработчики счетчиков стараются минимизировать этот параметр), выполненный в достаточно ограниченном объеме и имеющий одно выходное напряжение.

В этих условиях оптимальным решением является однотактный преобразователь напряжения, построенный по схеме «ШИМ-контроллер + высоковольтный транзистор».

Именно по этому пути шли разработчики источников питания, и производители электронных компонентов предлагали им соответствующую элементную базу.

Описание одного из таких решений можно встретить в источнике [1].

Развитие микросхем для преобразователей напряжения, имеющих встроенный высоковольтный транзистор, позволило уменьшить стоимость и габариты источников питания, в том числе и для счетчиков электроэнергии.

Требования к однофазному источнику питания для электросчетчиков

При выборе топологии преобразователя питания для однофазного счетчика электроэнергии приходится учитывать следующие факторы:

- относительно широкий диапазон входных напряжений;
- выходную мощность <10 Вт;
- низкую стоимость;
- малые габариты.

Наиболее оптимальной оказывается однотактная схема преобразователя, для которой требуется всего один высоковольтный ключ, и чаще всего применяется обратнотокходовая топология (*flyback*), что позволяет сократить номенклатурумоточных изделий.

Обобщенная схема источника питания однофазного счетчика приведена на рисунке 1.

Фазное напряжение и нейтраль через ЭМИ-фильтр поступают на диодный мост, на выходе которого формируется постоянное напряжение, сглаженное конденсатором. Схема управления (СУ), которая может содержать в себе генератор частоты преобразования, драйвер силового транзистора, схему ограничения тока силового транзистора, усилитель сигнала ошибки, ШИМ-модулятор и так далее, формирует импульсы на затворе ключа, и энергия, посредством трансформатора, передается во вторичные цепи. Схема обратной связи (ОС) вырабатывает сигнал рассогласования, который через гальванически развязанное устройство (в данном случае — через оптопару) передается на СУ.

Преобразователь построен по обратнотокходовой схеме, то есть энергия во вторичную обмотку передается, когда транзистор находится в закрытом состоянии, а когда транзистор открыт — происходит намагничивание сердечника, и, соответственно, накопление энергии. Топология обратнотокходовых преобразователей подробно описана, например, в [2].

В момент передачи энергии из намагниченного сердечника во вторичную

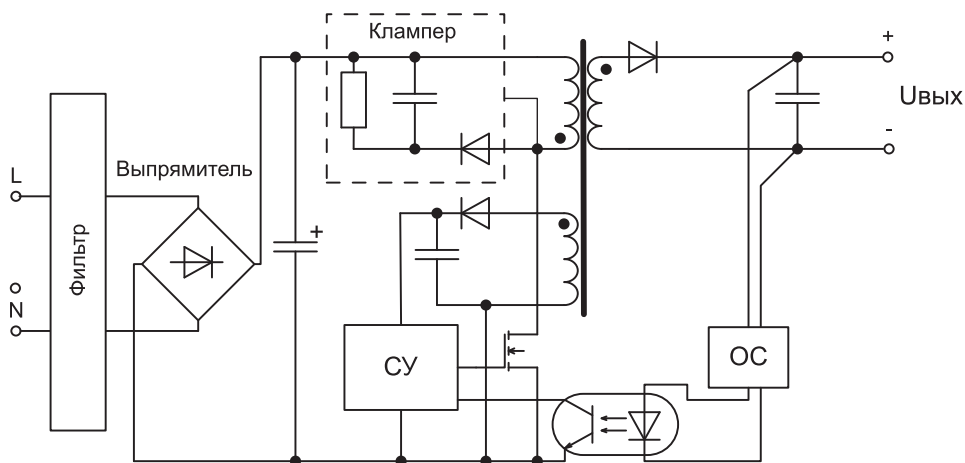
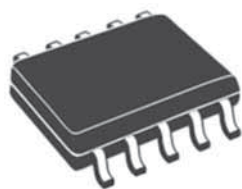


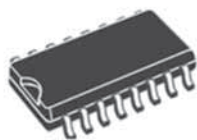
Рис. 1. Обобщенная схема источника питания однофазного счетчика

Таблица 1. Характеристики преобразователей VIPer®

Параметр	VIPer06	VIPer16	VIPer26
Макс. напряжение транзистора, В	800	800	800
Рабочая частота, кГц	-30; -60; -115	-60; -115	-60; -115
Выходная мощность, Вт	4	6	12
Корпус	DIP-7, SSO10	DIP-7, SO16	DIP-7, SO16



SSO10



SO16 narrow



DIP-7

Рис. 2. Преобразователи семейства VIPer®

обмотку на коммутирующем элементе возникает напряжение, пропорциональное выходному напряжению и коэффициенту трансформации — так называемое «отраженное» напряжение. Помимо «отраженного» напряжения, на стоке транзистора возникает выброс напряжения от индуктивности рассеивания первичной обмотки, ограничить его по амплитуде до безопасного для транзистора значения — задача кламперной схемы.

К схеме однофазного источника питания предъявляется ряд требований:

- **Диапазон входных напряжений.**

Поскольку преобразователь работает от постоянного напряжения, которое выделяется на сглаживающем конденсаторе диодного моста, необходимо определить пределы, в которых это напряжение может изменяться.

За основу возьмем однофазную сеть, напряжение в которой составляет 220 В. В расчетах нужно учитывать предельный случай, когда от сглаживающего конденсатора ток не отбирается, и он заряжается до амплитудного значения напряжения фазы.

Для надежной работы устройства принято выбирать верхнее значение напряжения выше, чем стандартное отклонение в 10%: счетчик электроэнергии может использоваться в сетях с далеко не идеальными характеристиками.

Выберем верхнее значение напряжения сети 265 В.

Несложный расчет показывает, что постоянное напряжение на конденсаторе будет составлять 373 В.

Минимальное напряжение функционирования устройства определяется

техническим заданием, однако счетчик, особенно если он имеет дополнительные функции вроде оценки качества электроэнергии, должен оставаться «в строю» даже при очень значительных провалах питания.

Часто нижнюю границу входного диапазона таких устройств устанавливают на уровне 80 В AC. Соответственно, выпрямленное напряжение на входе преобразователя составит 100 В.

В итоге преобразователь напряжения в составе однофазного счетчика электроэнергии должен обеспечивать гарантированное питание нагрузки в диапазоне 100...373 В DC.

- **Входные цепи.** Сетевой фильтр на входе устройства — неотъемлемая часть любого импульсного источника питания. Он, во-первых, защищает схему от воздействия помех со стороны сети, во-вторых, препятствует эмиссии помехи от преобразователя в сеть. Кроме того, в его составе содержатся ограничители напряжения, задача которых — принять на себя энергию импульсов помех, которые могут повредить компоненты источника питания.

Диодный мост обеспечивает выпрямление переменного напряжения, рассчитывается на высокое входное напряжение и должен выдерживать зарядный ток сглаживающего конденсатора.

Электrolитический конденсатор на выходе диодного моста сглаживает пульсации сетевого напряжения с частотой 100 Гц и одновременно является источником напряжения для работы преобразователя. Через него протекают импульсные токи частотой в десятки сотни килогерц. Помимо того, что его нужно подбирать с соответствующим рейтингом по напряжению (в нашем случае — не менее 400 В), желательно использовать LoESR-серии, разработанные специально для импульсных источников питания, как, например [3]. Необходимо также, чтобы среднеквадратический ток через конденсатор не превышал значений, указанных производителем.

Значение емкости входного конденсатора выбирается из требований к уровню пульсаций и устойчивости к провалам сетевого напряжения. Для оценки можно пользоваться правилом «1,5...2 мкФ/Вт выходной мощности».

- **Силовой транзистор.** К силовому транзистору прикладывается сумма напряжений — постоянное выпрямленное напряжение питания и отраженное напряжение (в момент, когда транзистор заперт, и происходит передача накопленной сердечником энергии в нагрузку). Величина отраженного напряжения определяется в процессе разработки, для оценочных расчетов можно взять значение 100 В.

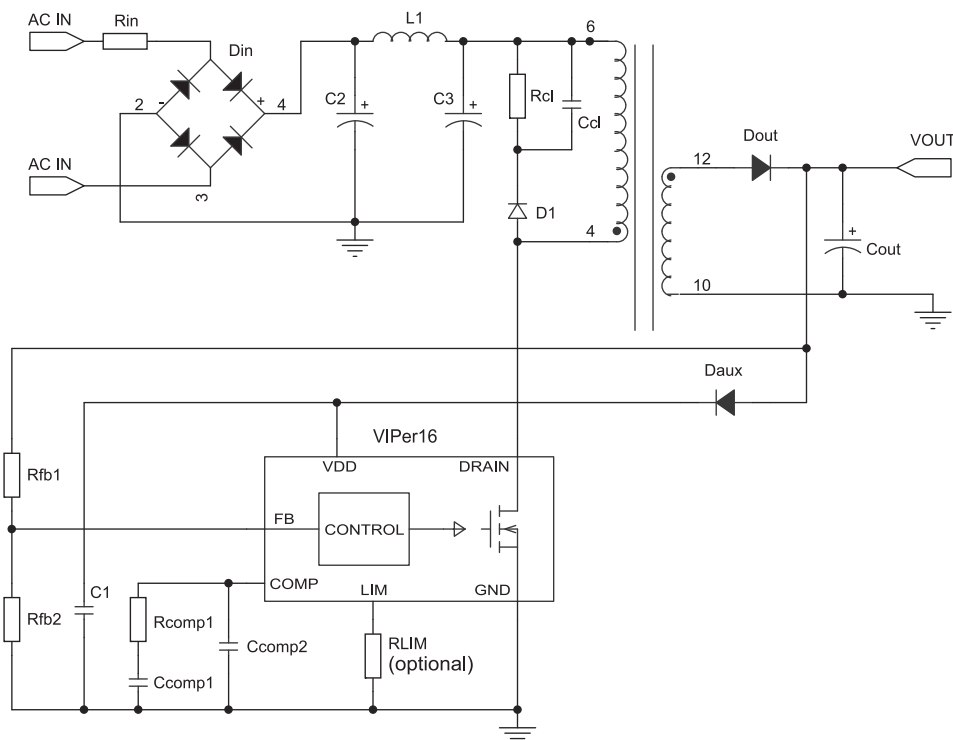


Рис. 3. Неизолированный обратноходовой преобразователь на VIPer06

Следовательно, к транзистору будет прикладываться напряжение $373 + 100 = 473$ В.

Кроме того, кламперная схема, ограничивающая выброс напряжения от индуктивности рассеивания, рассчитывается на несколько большее значение, чем отраженное напряжение, чтобы не рассеивать полезную мощность. Таким образом, переключающий транзистор должен иметь рабочее напряжение не менее 550...650 В.

• **Схема управления.** Одна из задач данной схемы — способностью гарантированно стартовать во всем диапазоне питающих напряжений. Для работы ШИМ-контроллера и других компонентов требуется относительно низкое напряжение (до 20 В), стартовые цепи запитываются через резистор или управляемый источник тока, на них гасится избыток напряжения. После старта источника питания, когда СУ запитывается от вспомогательной обмотки трансформатора, стартовые цепи должны отключаться, чтобы избежать значительного рассеивания на них мощности.

• **Мощные изделия.** Трансформатор для недорогого обратноходового преобразователя малой мощности строится чаще всего на распространенных ферритовых компонентах и стандартных каркасах для намотки. Они обладают невысокой стоимостью, технологичны и доступны в различных форм-факторах. Для большинства электронных устройств подобные трансформаторы являются оптимальными.

Источник питания для однофазных счетчиков электроэнергии на микросхемах VIPer®

Реализация всех функций, которыми должна обладать схема управления даже такого относительно простого источника питания для счетчика электроэнергии, подразумевает разработку сразу нескольких схемотехнических узлов:

- схемы старта, желательно отключаемой, для повышения КПД;
- пороговой схемы контроля питания, которая не позволяет работать при слишком низком напряжении, чтобы не допустить перехода силового транзистора в линейный режим;
- генератора;
- ШИМ-модулятора;
- драйвера затвора силового транзистора;
- схемы защиты от перегрева (опционально).

Большинство ШИМ-контроллеров имеет вышеуказанные узлы в своей функциональной схеме, что позволяет строить на их основе источники питания для самых разных приложений. При этом обеспечивается значительная гибкость решения, разработчик мо-

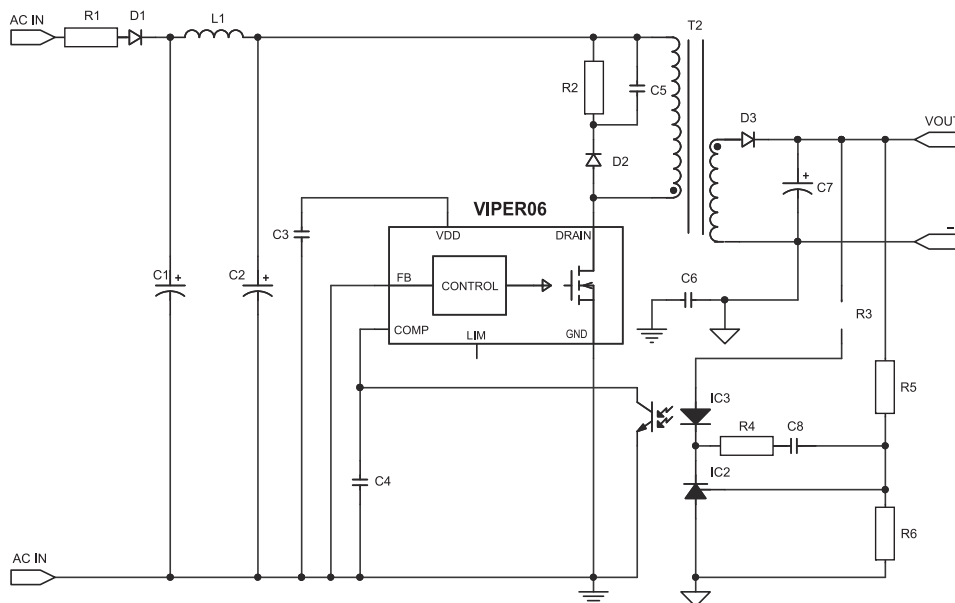


Рис. 4. Изолированный обратноходовой преобразователь на VIPer06

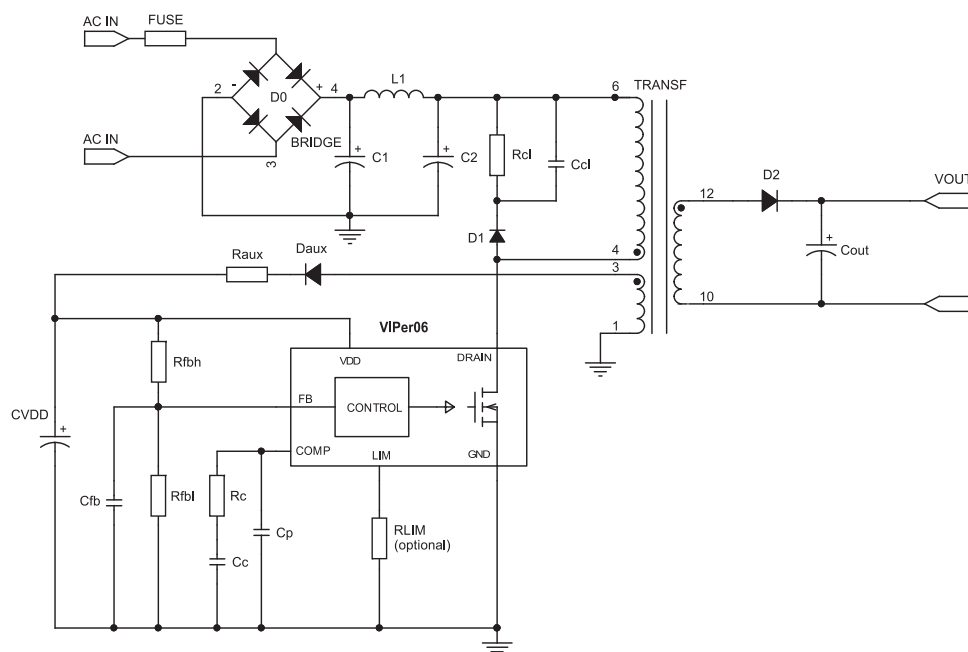


Рис. 5. Изолированный обратноходовой преобразователь с обратной связью через вспомогательную обмотку

жет устанавливать такие параметры как максимальный ток транзистора, частота преобразования, максимальный рабочий цикл и так далее. Обратной стороной медали является избыточность данной схемы для простых источников, и, как следствие — большое число электронных компонентов.

Поэтому появление микросхем интегральных преобразователей, совмещающих в одном корпусе полнофункциональный ШИМ-контроллер и силовой транзистор, при минимальном наборе внешних компонентов, было воспринято разработчиками с воодушевлением.

При этом такие преобразователи, как правило, работают на одной фиксированной частоте, и возможности подстраивать другие параметры у них ограниче-

ны. Но для простых источников питания того набора характеристик, которыми обладает интегральный преобразователь, оказывается вполне достаточно.

Заметное место среди интегральных преобразователей занимает семейство VIPer® — продукт компании STMicroelectronics.

Микросхема содержит в одном корпусе все необходимое для построения высоковольтного AC/DC-преобразователя, а именно — ШИМ-контроллер и высоковольтный (700 В — семейство VIPer®, 800 В — семейство VIPer®plus) транзистор.

Помимо более высоковольтного транзистора, микросхемы серии VIPer®plus отличаются меньшим собственным потреблением [3].

Таблица 2. Параметры трехфазного источника питания на основе VIPer26

Параметр	Значение
Диапазон входного напряжения, В	86...305
Частота питающей сети, Гц	45...66
Изоляция между входом и выходом	Есть, 4 кВ
Выходные напряжения/ток, В/мА	$12 \pm 10\%/1$ А (выход 3,3 В не нагружен); $3,3 \pm 4\%/100$ мА
Полная выходная мощность, Вт	12
Назначение	Источник питания счетчика электроэнергии; вспомогательный источник питания
Коррекция коэффициента мощности	Нет
Топология, элементная база	Обратноходовой, VIPer26LD

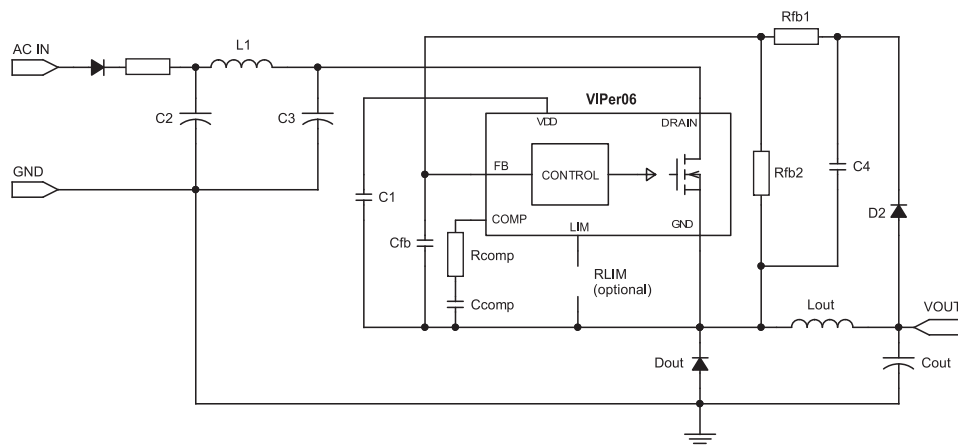


Рис. 6. Неизолированный преобразователь с топологией Виск-конвертера

Преобразователи напряжения VIPer имеют следующие ключевые параметры:

- силовая секция, построенная на лавиностойчивом транзисторе;

- ШИМ с коррекцией фронтов для уменьшения электромагнитной эмиссии;

- частота преобразования: 30, 60 или 115 кГц, в зависимости от модели;

- широкий диапазон мощностей, в зависимости от модели;
- малая потребляемая мощность в режиме ожидания;
- регулируемое ограничение тока;
- регулируемая и точная защита от перенапряжения;
- встроенный «мягкий старт»;
- безопасный автоматический рестарт после сбоев;
- термозащита с гистерезисом.

Требованиям, которые были сформулированы для источника питания однофазного счетчика электроэнергии, хорошо соответствуют модели VIPer06, VIPer16, VIPer26.

Характеристики преобразователей приведены в таблице 1

Интегральный преобразователь доступен в корпусах **DIP-7** и **SO-16**, внешний вид показан на рисунке 2.

Микросхемы VIPer06/16/26 позволяют строить преобразователи по обратноходовой топологии, как с гальванической развязкой, так и без нее, с прямым подключением цепей обратной связи к ШИМ-контроллеру. Кроме того, на микросхемах данного семейства реализуются понижающие преобразователи с топологией Виск-конвертера (рисунки 3...6).

Как пример построения реального источника питания, можно использовать UM0984 — решение от ST [3]. В качестве микросхемы-преобразователя в данном примере используется VIPer26, его параметры приведены в таблице 2.

Принципиальная электрическая схема источника питания приведена на рисунке 7.

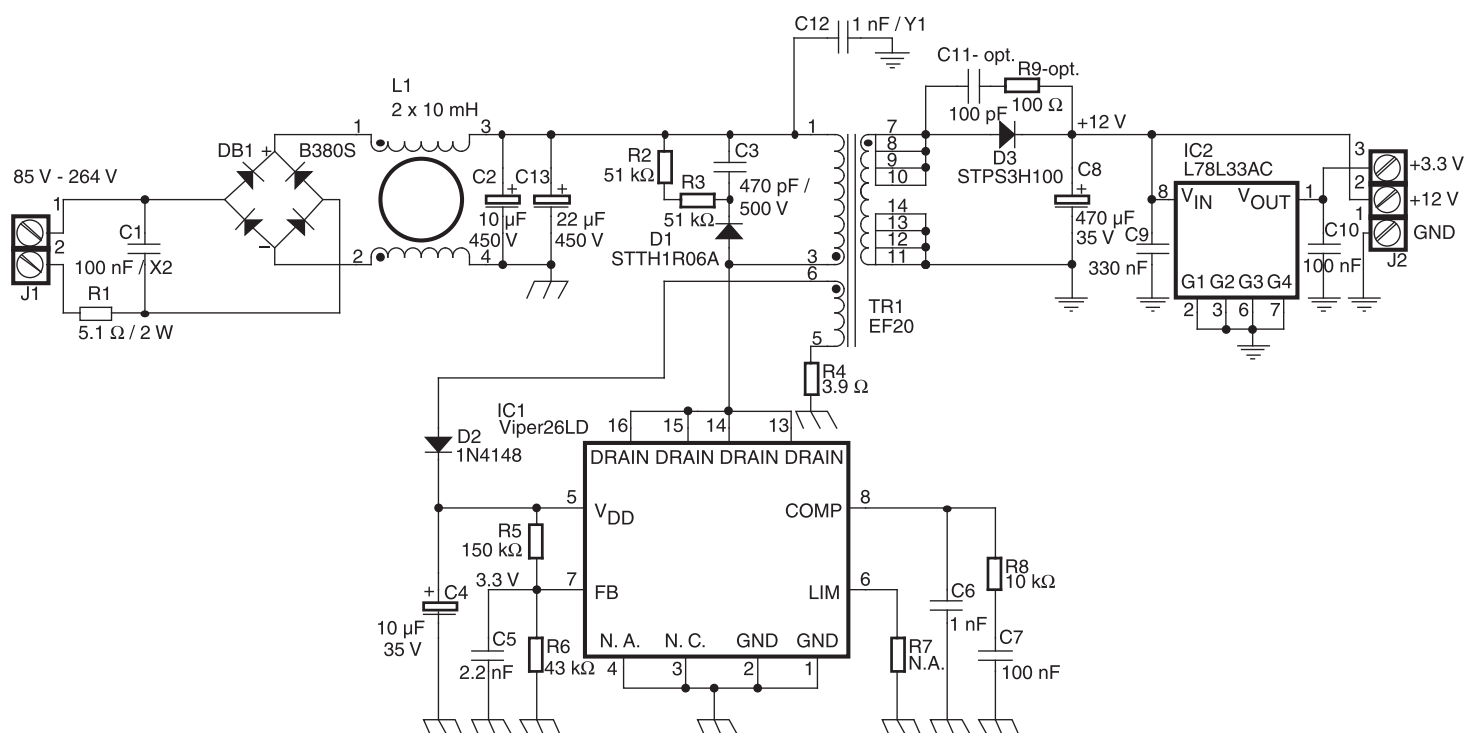


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема ИП

Резистор R1 ограничивает бросок тока через диодный мост DB1 во время заряда конденсаторов C2, C13. C1 и L1 образуют входной фильтр. Цепочка R2, R3, C3, D1 — «кламперная» схема — ограничивает выбросы напряжения от индуктивности рассеивания первичной обмотки трансформатора TR1. Напряжение обратной связи снимается со вспомогательной обмотки. Это же напряжение, выделяющееся на конденсаторе C4, используется для питания ШИМ-контроллера. Резисторы R5 и R6 задают напряжение стабилизации на вспомогательной обмотке, что определяет уровень напряжения на выходе источника питания. При таком способе построения обратной связи важно обеспечить хороший коэффициент связи между обмотками, чтобы уменьшить неустойчивость выходного напряжения в зависимости от тока нагрузки. Резистор R4 также предназначен для улучшения выходной характеристики источника, с его помощью подавляются короткие импульсы, проникающие во вспомогательную обмотку через паразитную межобмоточную емкость.

С помощью R7 можно регулировать уровень ограничения тока через силовой транзистор преобразователя и тем самым влиять на максимальную выходную мощность источника питания и его ток короткого замыкания.

Напряжение +3,3 В на выходе получается с помощью линейного стабилизатора DA2, такое решение эффективно с точки зрения цены, но неэффективно с точки зрения КПД, поэтому может применяться только для небольших токов. Если необходимо обеспечить более высокий ток нагрузки по цепи +3,3 В, то

Таблица 3. Параметры трехфазного источника питания на основе VIPer17

Параметр	Значение
Диапазон входного напряжения, В	90...440, 3 фазы с нейтралью
Частота питающей сети, Гц	50
Изоляция между входом и выходом	Есть
Выходное напряжение / ток, В/мА	5/100
Полная выходная мощность, Вт	0,5
Назначение	Источник питания счетчика электроэнергии; вспомогательный источник питания
Пульсации выходного напряжения, мВ (p-p)	<100
Коррекция коэффициента мощности	Нет
Топология, элементная база	Обратноходовой, VIPer17HN, STD4NK60Z

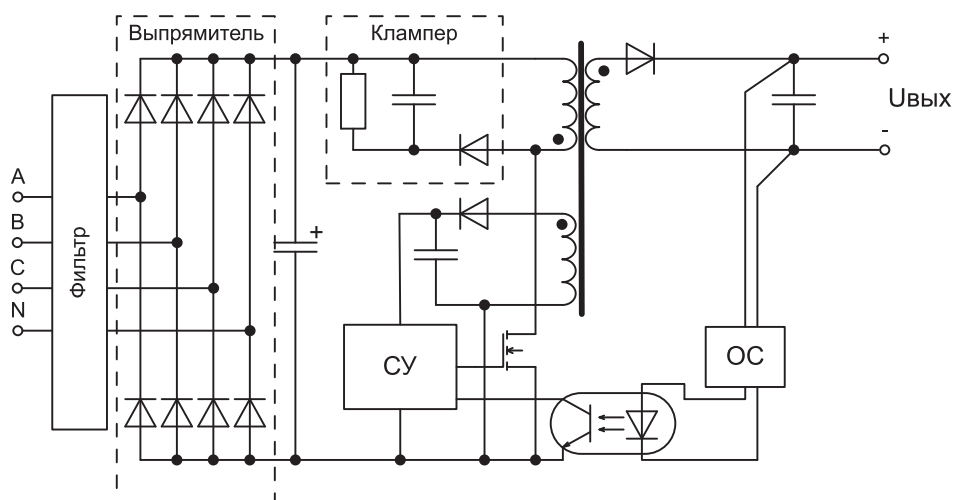


Рис. 8. Структурная схема трехфазного источника питания

лучше использовать дополнительную обмотку или вместо линейного стабилизатора — импульсный понижающий

DC/DC-преобразователь, что в некоторых случаях получается дешевле и эффективнее.

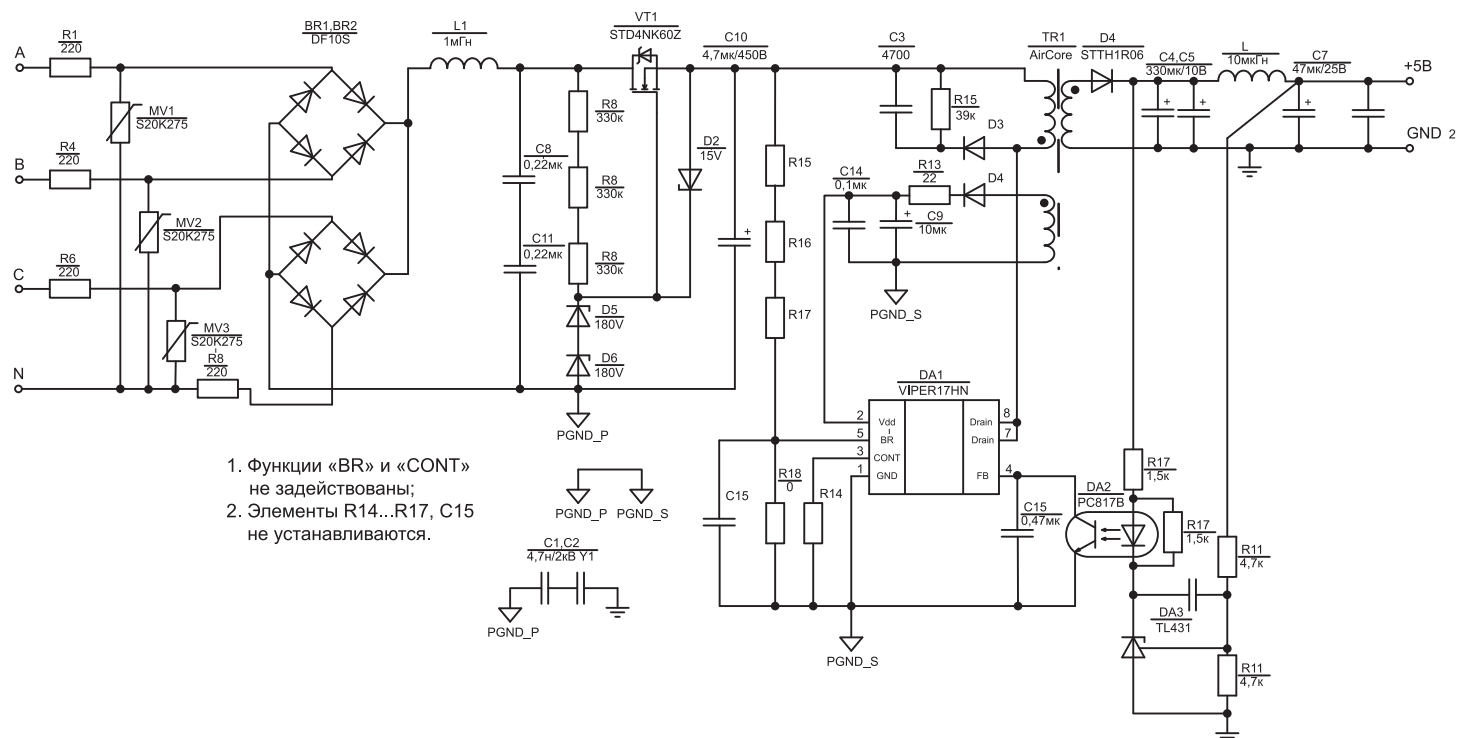


Рис. 9. Схема трехфазного источника питания на основе VIPer17

Таблица 4. Параметры источника питания на основе ALTAIR04-900

Параметр	Значение
Минимальное рабочее напряжение, В	90
Максимальное рабочее напряжение, В	до 440
Рабочая частота, Гц	50±3
Прочность изоляции, вход/выход, кВ	>2,7
Номинальные выходные напряжения	5 В/70 мА (ном.), 1 А (макс.); 3,3 В/30 мА (ном.), 150 мА (макс.); 12 В/2 мА (ном.), 100 мА (макс.); 5 В_ISO/2 мА (ном.), 100 мА (макс.)
Выходная мощность, Вт	1 (ном.); 7,5 (макс.)
Выходные пульсации, В (p-p)	<0,100

Источник питания обеспечивает широкий диапазон входных напряжений 85...305 В, что добавляет уверенности разработчику и позволяет счетчику электроэнергии функционировать даже во время нештатных ситуаций, происходящих в электрических сетях.

Требования к трехфазному источнику питания для электросчетчиков

Основные требования к трехфазным источникам питания похожи на требования к источникам однофазным, но есть и некоторые ключевые отличия. В первую очередь это касается диапазона входных напряжений, который получается значительно более широким, чем в случае с однофазным питанием.

Ширина диапазона входных напряжений обусловлена, с одной стороны, достаточно высоким фазным напряжением трехфазной сети. В России и странах Европы номинальное фазное напряжение составляет 0,4 кВ, соответственно, с учетом двадцатипроцентного

запаса, выпрямленное напряжение на сглаживающем конденсаторе может достигать 680 В. С другой стороны, источник должен обеспечивать питание счетчика в случае пропадания нейтрали или двух из трех фаз, а также во время существенных провалов напряжения. Типовая нижняя граница диапазона входных напряжений для ИП данного класса может опускаться до 100 В.

Обобщенная схема источника питания трехфазного счетчика приведена на рисунке 8.

Как видно из схемы, структура источника практически не изменилась, за исключением входных цепей, которые теперь содержат трехфазный диодный мост.

Перечислим требования к трехфазному источнику питания:

• Диапазон входных напряжений.

За основу возьмем трехфазную сеть, фазное напряжение в которой составляет 380 В, линейное (между любой из фаз и нейтралью) – 220 В.

Постоянное напряжение на конденсаторе будет составлять 537 В, а с учетом отклонения 20% в плюс – 645 В.

При пропадании двух фаз или при питании счетчика от однофазного источника 220 В на конденсаторе выделится выпрямленное напряжение 311 В.

Нижнюю границу входного диапазона таких устройств также примем на уровне 80 В АС, соответственно, выпрямленное напряжение на входе преобразователя составит 100 В.

В итоге преобразователь напряжения в составе трехфазного счетчика электроэнергии должен обеспечивать гарантированное питание нагрузки в диапазоне 100...645 В постоянного тока!

• **Входные цепи.** Широкий диапазон входных напряжений в соотношении 7:1 оказывает существенное влияние на схемотехнику источника питания.

Диодный мост, через который в процессе работы протекают токи величиной в единицы миллиампер, в момент включения может испытывать значительную импульсную нагрузку из-за зарядки сглаживающего конденсатора. Диоды должны быть рассчитаны на этот ток, кроме того нужно принять меры для ограничения зарядного тока до безопасного уровня.

Номенклатура электролитических конденсаторов для импульсных источников питания различных производителей, как правило, заканчивается на моделях на напряжение 450 В [4]. Конденсаторы включаются последовательно, при этом используются параллельные резисторы, выравнивающие токи утечки.

• **Силовой транзистор.** Поскольку входное напряжение в случае трех-

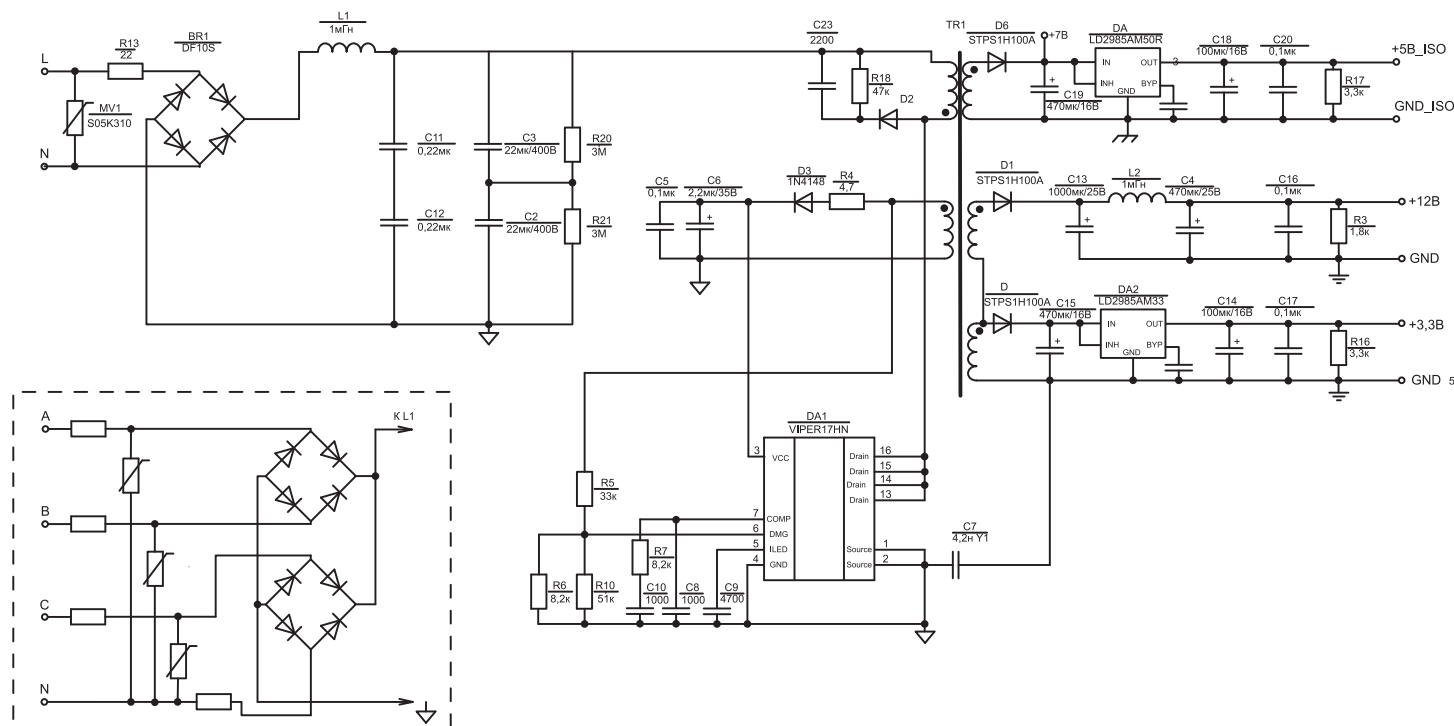


Рис. 10. Источник питания на основе ALTAIR04-900

фазного источника питания может быть значительно выше, то и транзистор обязан быть более высоковольтным.

К транзистору будет прикладываться напряжение $645 + 100 = 745$ В.

С учетом запаса для кламперной схемы определяем, что переключающий транзистор должен иметь рабочее напряжение не менее 850...900 В.

Высоковольтные диоды и транзисторы, как правило, обладают небольшим быстродействием, поэтому частота переключения данного преобразователя лежит в диапазоне 50...150 кГц.

• **Схема управления.** Схема управления трехфазного преобразователя принципиально не отличается от схемы управления однофазного преобразователя, но стартовые цепи должны быть способны штатно функционировать при более высоких значениях напряжения питания.

• **Моточные изделия.** Моточные изделия трехфазных преобразователей практически не отличаются от аналогов в однофазных схемах, но разработчику следует учитывать больший диапазон входных напряжений, что отражается на значениях индуктивностей обмоток трансформаторов. Кроме того, к счетчикам электроэнергии (трехфазным — в большей степени) все чаще применяются нетипичные требования по устойчивости к внешним воздействиям, которые могут повлиять на показания прибора. Требования по устойчивости электросчетчика к подмене показаний, или anti-tampering, часто являются обязательными.

Такие способы тамперинга как манипуляция с нейтралью, байпассы и прочие обнаруживаются и фиксируются процессором устройства.

А вот воздействие постоянным сильным магнитным полем способно свести на нет работу устройства, причем данный способ весьма прост в реализации. Дело в том, что сильное постоянное магнитное поле (индукцией порядка 0,5 Тл) способно вызвать насыщение магнитопровода трансформатора в источнике

питания, в результате чего его индуктивность резко падает, схема управления переходит в режим защиты по току, напряжение на выходе источника питания опускается ниже критических значений — счетчик не может выполнять свою функцию.

Самый простой способ противостоять данному воздействию — осуществить магнитное экранирование устройства. Однако магнитный экран дорог, имеет значительную материалоемкость и достаточно сложную конструкцию.

Некоторые разработчики используют магнитные материалы в сердечниках трансформатора с высоким значением насыщения [5], что позволяет удовлетворить требования анти-тамперинга.

Источник питания трехфазных счетчиков на микросхемах VIPer®

Вышеперечисленные требования к источникам питания позволяют выбрать основные компоненты и параметры разработки.

Компании-производители предлагают различные решения на базе своей продукции, например, у ST есть вариант построения такого источника питания, в котором использованы оригинальные идеи [6].

Источник построен на базе микросхемы интегрального преобразователя напряжения серии VIPer17 [7], в составе которой имеется высоковольтный (800 В) полевой транзистор, ШИМ-контроллер, двухуровневый ограничитель тока, схема плавного старта.

Отдельного внимания заслуживает трансформатор. Для того чтобы соответствовать требованиям анти-тамперинга, он выполнен без сердечника или, как часто именуют этот способ включения трансформатора в литературе — «с воздушным сердечником». Для таких маломощных применений как питание счетчика электроэнергии применение подобных трансформаторов вполне оправдано.

Схема трехфазного источника питания на основе VIPer17 приведена на ри-

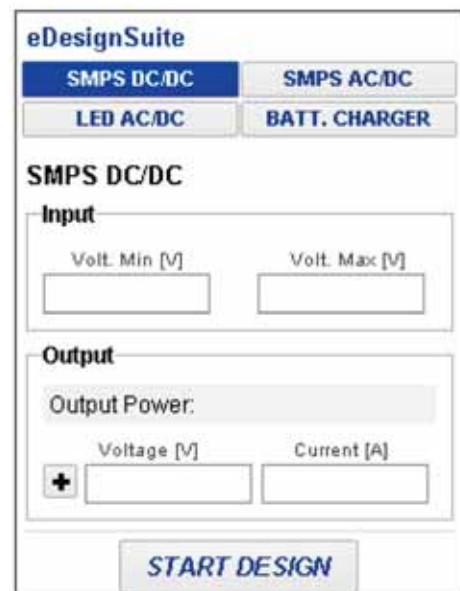


Рис. 11. Стартовое окно на информационной странице преобразователя VIPer17

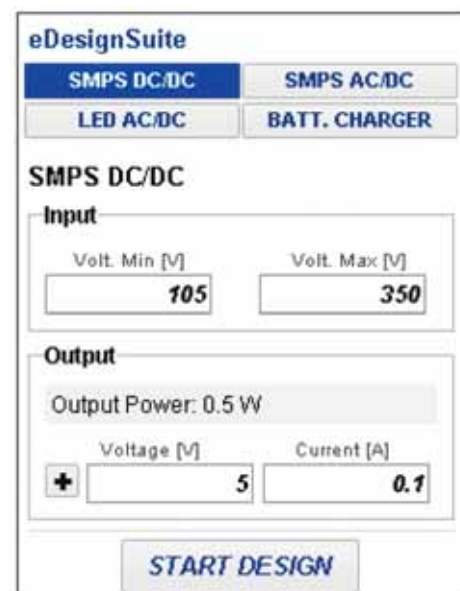


Рис. 12. Начало расчета

сунке 9 (нумерация компонентов сохранена). Параметры источника приведены в таблице 3.

VIPER17 - SMPS DC/DC

Input: 105 V - 350 V
Out 1: 5 V - 0.1 A max

[Change specifications](#)

Isolated flyback (4)

CPN	IDlim [mA]	fosc [kHz]	VDS [V]	RDSon [Ohm]	Package	
VIPer17HD	360	115	800	24	SO 16-N	Start Design
VIPer17HN	360	115	800	24	DIP 7	Start Design
VIPer17LD	360	60	800	24	SO 16-N	Start Design
VIPer17LN	360	60	800	24	DIP 7	Start Design

Рис. 13. Выбор подходящей микросхемы

Входные цепи источника защищены резисторами R1, R4, R6, R8, которые ограничивают бросок тока в момент заряда конденсатора C10. Кроме того, R1, R4 и R6 обеспечивают безопасный режим работы варисторов MV1...MV3 во время воздействия высоковольтных импульсов помехи. Эти резисторы должны быть рассчитаны на значительную кратковременную перегрузку по току и напряжению, одновременно они играют роль предохранителей в случае неисправности компонентов схемы.

Трехфазная четырехпроводная схема выпрямителя обеспечивает функционирование в случае пропадания нейтрального.

Фильтр для обеспечения ЭМС подключен к выходу выпрямителя. Он построен на элементах L1, C8 и C11 и предназначен для подавления помех симметричного и дифференциального типов.

Одна из оригинальных идей, заложенная в данной схеме — наличие линейного ограничителя-стабилизатора напряжения, построенного на N-канальном транзисторе VT1 (2 Ом/600 В). Основная цель ограничителя — защитить импульсный преобразователь от перенапряжения и повысить его надежность. Стабилитроны D5 и D6 формируют напряжение 345...350 В, резисторы R2,

R5 и R7 обеспечивают требуемое напряжение «затвор-исток».

Данное решение позволяет выполнить источник питания на базе недорогого интегрального преобразователя, а некоторый проигрыш в КПД из-за потерь на линейном стабилизаторе компенсируется простотой и надежной конструкцией.

Преобразователь напряжения **VIPer17**, один из представителей семейства **VIPer[®]plus**, имеет следующие ключевые параметры:

- силовая секция построена на 800-Вольтном лавиностойчивом транзисторе;
- ШИМ с подстройкой частоты для уменьшения электромагнитной эмиссии;
- частота преобразования:
 - 60 кГц (тип L)
 - 115 кГц (тип H)
- потребляемая мощность в режиме ожидания: <50 мВт при 265 В;
- регулируемое ограничение тока;
- регулируемая и точная защита от перенапряжения;
- встроенный «мягкий старт»;
- безопасный автоматический рестарт после сбоев;
- термозащита с гистерезисом.

Напряжение на выходе выпрямителя фильтруется конденсатором C10 и

через первичную обмотку трансформатора поступает на высоковольтные выводы «Drain» преобразователя.

Через них осуществляется питание стартовых цепей микросхемы, происходит запуск импульсной секции, далее питание осуществляется посредством вспомогательной обмотки трансформатора через выпрямитель на диоде D4 и цепочку R13, C9 и C14.

Клампер первичной обмотки выполнен на элементах D3, R3, C3, и его задача — ограничивать выбросы напряжения от индуктивности рассеивания в момент выключения транзистора.

Обратная связь по напряжению обеспечивается с помощью популярной схемы на базе оптрона DA2 и микросхемы DA3, которые включены в цепь вторичной обмотки трансформатора. Делитель R11-R12 обеспечивает выходное напряжение источника питания, согласовывая его с опорным напряжением 2,5 В TL431, конденсатор C13 ограничивает полосу пропускания усилителя сигнала ошибки.

Выходной фильтр предусматривает использование на позициях C4 и C5 конденсаторов с низким эквивалентным последовательным сопротивлением, дополнительный LC-фильтр (L2, C6, C7) позволяет получить качественное напряжение питания с низким уровнем пуль-

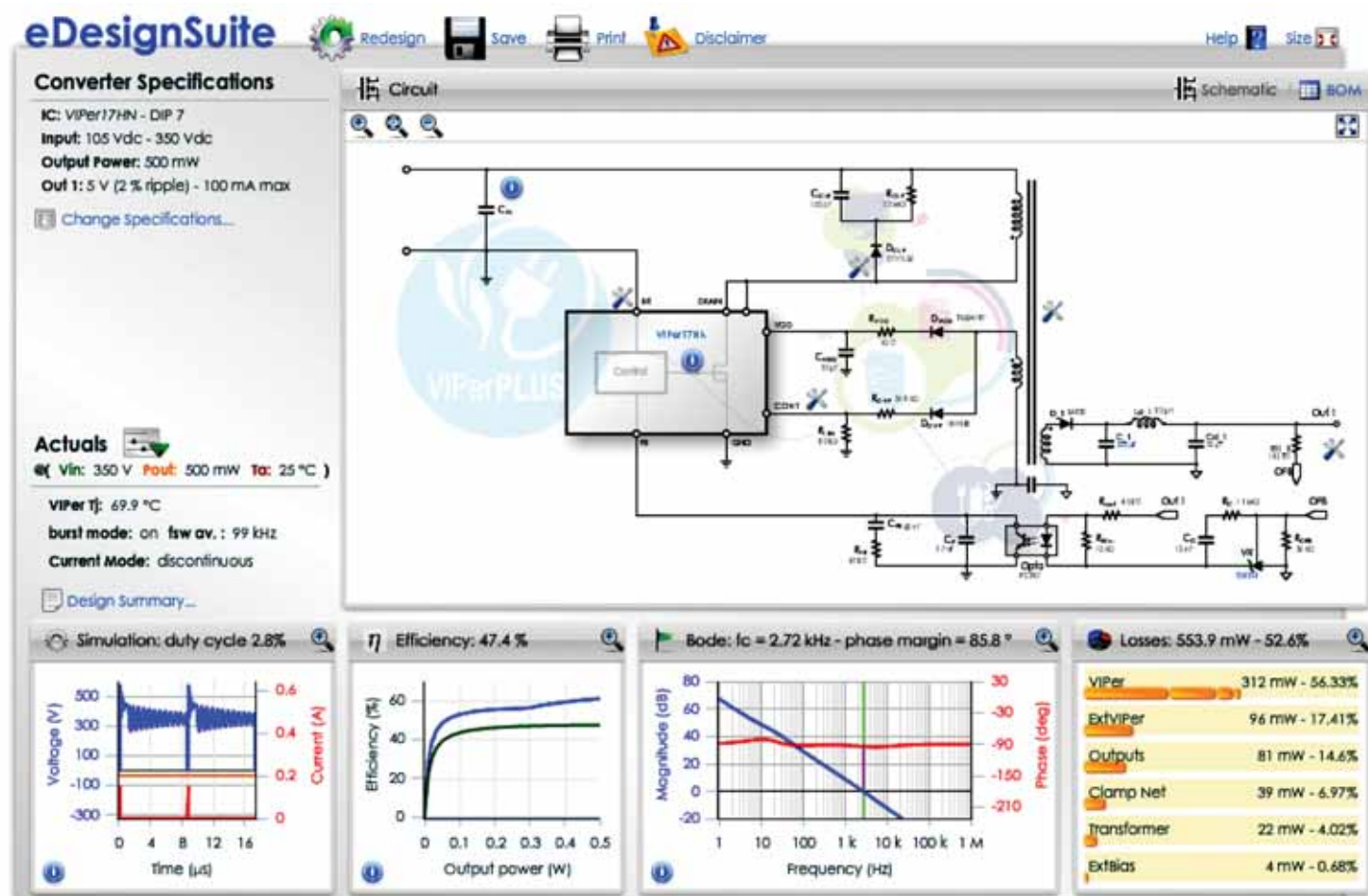


Рис. 14. Результаты расчета

саций, необходимое микроконтроллеру и другим схемам, входящим в состав счетчика электроэнергии.

Некоторые функции интегрального преобразователя VIPer17, а именно BR и CONT, не задействованы в данном примере, однако при необходимости их можно использовать, на схеме показаны необходимые для этого компоненты:

- **BR.** Через делитель, построенный на резисторах R15, R16, R17 и R18, на этот вход подается информация о входном напряжении импульсного преобразователя, микросхема сравнивает его с пороговым значением и может отключаться в случае провалов ниже определенного уровня. Порог отключения задается резисторами делителя

- **CONT.** с помощью этого входа можно настраивать пиковый ток силового транзистора (программируется с помощью R14), а также реализовать функцию защиты от перенапряжения на выходе.

Более подробная информация обо всех возможностях VIPer17 приведена в [7].

Другое оригинальное решение, показанное в этом примере — использование трансформатора без магнитопровода, или, проще говоря, трансформатора с воздушным сердечником.

Необходимость отказа от классического сердечника из магнитного материала продиктована требованиями анти-тамперинга, то есть устойчивости к внешнему воздействию. Одно из таких требований — источник питания должен функционировать в условиях сильного постоянного внешнего магнитного поля, которое способно вызвать насыщение сердечника из магнитного материала. Отсутствие сердечника в трансформаторе импульсного преобразователя делает его невосприимчивым к воздействиям такого рода.

Пример расчета и изготовления трансформатора на воздушном сердечнике приведен в источнике [6]. Поскольку магнитопровод отсутствует, для достижения значения индуктивности для первичной обмотки, в которой запасается энергия в каждом цикле преобразования, потребуется слишком большое число витков, что неизбежно повлечет за собой увеличение потерь и возрастание паразитной емкости. Для минимизации этих эффектов расчет преобразователя ведется, исходя из максимально допустимого тока ключа встроенного в VIPer17 транзистора, при этом необходимое значение индуктивности первичной обмотки понижается.

Понятно, что источник питания, построенный на трансформаторе без магнитных компонентов, далек от оптимального, и максимальная выходная мощность его может составлять всего несколько Ватт. Но, в качестве недо-

рогого источника питания трехфазного счетчика электроэнергии, обладающего устойчивостью к внешнему магнитному полю, данное решение может оказаться весьма полезным.

Источник питания на микросхемах Altair

В примере [8] преобразователь производства ST строится на базе более сложной управляющего элемента — **ALTAIR04-900**.

ALTAIR04-900, [9] — это микросхема высоковольтного импульсного источника питания, в корпусе которой содержатся низковольтный ШИМ-контроллер и 900-вольтный лавиностойчивый силовой транзистор.

ШИМ-контроллер специально разработан для построения обратных преобразователей, работающих в квазирезонансном режиме.

Одна из ключевых особенностей этой микросхемы состоит в том, что стабилизированное напряжение на вторичной обмотке обеспечивается за счет информации, которую контроллер получает с первичной стороны, что позволяет исключить из схемы оптопару, источник опорного напряжения на вторичной стороне и датчик тока. Точность поддержания выходного напряжения в диапазоне нагрузок и входного напряжения при этом сохраняется. Также существует возможность установить максимальный ток нагрузки, что повышает безопасность изделия и его надежность в случае перегрузок или аварийных состояний.

Максимальная частота преобразования ограничена на уровне 166 кГц. При средних и малых нагрузках специальная схема понижает частоту, чтобы обеспечивать переключение силового транзистора в момент спада напряжения на его стоке, тем самым поддерживая преобразователь в квазирезонансном режиме.

При очень малых нагрузках контроллер переходит в режим импульсных пачек, что наряду со встроенной высоковольтной стартовой схемой и малым рабочим током контроллера позволяет минимизировать потребляемую от сети мощность в режиме ожидания.

Схема источника питания на основе ALTAIR04-900 приведена на рисунке 10 (нумерация компонентов сохранена), параметры приведены в таблице 4.

Наличие 900-вольтного транзистора позволяет использовать данный источник питания и в однофазных, и в трехфазных сетях, поскольку «отраженное» напряжение в данном случае составляет 100 В. Соответственно, даже при напряжении на входе 450 В переменного тока пиковое напряжение на стоке составляет 775 В. Запас в 125 В достаточен для надежного функционирования преобразователя.

Входные цепи источника в примере показаны применительно к использованию от однофазной сети, однако способность функционирования при входном напряжении до 440 В переменного тока позволяет использовать его и при работе от трехфазной сети, для этого требуется выпрямитель, аналогичный изображенному на рисунке 2.

Фильтр обеспечения ЭМС построен аналогично фильтру источника питания на базе VIPer17, а электролитические конденсаторы C2 и C3 включены последовательно, резисторы R20 и R21 компенсируют неравномерность их токов утечки.

Цепь клампера D2, R18, C23 обеспечивает ограничение выброса от индуктивности рассеивания первичной обмотки, тем самым поддерживая безопасные условия работы силового транзистора.

Обратная связь по напряжению осуществляется посредством вспомогательной обмотки, через нее же ШИМ-контроллер получает информацию о начале процесса размагничивания сердечника трансформатора и выдает команду на старт нового импульса, тем самым реализуя квазирезонансный алгоритм.

Традиционная для источников питания такого класса оптопара и схема опорного напряжения отсутствуют, но это повышает требования к конструкции трансформатора, поскольку от коэффициента связи между вспомогательной и вторичными обмотками зависит качество регулирования и точность установки выходных напряжений. Чтобы избежать риска повреждения нагрузки, в критичные цепи (5 и 3,3 В) дополнительно включены LDO-стабилизаторы.

Трансформатор в данном примере выполнен по классической технологии с использованием ферритовых компонентов. Если перед разработчиком ставится задача построить источник питания с квазирезонансным преобразователем и функциями анти-тамперинга, то потребуются применение магнитных компонентов с более высокой индукцией насыщения, как, например, в [5].

Если сравнивать два вышеприведенных примера построения трехфазных источников питания, то можно выделить их преимущества и недостатки:

- Источник питания на базе VIPer17 оптимизирован по стоимости, работает на фиксированной частоте преобразования и обеспечивает достаточно точную стабилизацию выходного напряжения за счет оптической обратной связи. При этом рейтинга по напряжению у этой модели преобразователя недостаточно, поэтому используется высоковольтный линейный стабилизатор, на котором тратится существенная доля мощности и понижается КПД.

• Источник на базе ALTAIR04-900 может работать непосредственно во всем диапазоне входного напряжения, имеет улучшенные характеристики в режиме перегрузки, позволяет организовывать обратную связь через вспомогательную обмотку. При этом традиционная оптическая обратная связь отсутствует, что упрощает реализацию большого зазора между первичными и вторичными це-

пиями, в некоторых случаях это важно (оптроны, как правило, имеют небольшие размеры и не всегда соответствуют требованиям стандартов). Частота преобразования может изменяться в широких пределах в зависимости от входного напряжения и выходного тока, и для получения приемлемых характеристик стабилизации трансформатор должен иметь соответствующие параметры.

С точки зрения электромагнитной совместимости в части эмиссии помех в питающую сеть и окружающее пространство, обе схемы имеют сильные и слабые стороны, и выбор — за разработчиком системы.

VIPer17 работает на фиксированной частоте, соответственно, на нее и ее гармоники можно «нацеливать» помехоподавляющие фильтры. С другой стороны, алгоритм классической ШИМ подразумевает переключение транзистора вне зависимости от мгновенного напряжения на его стоке, как следствие — более высокий уровень помех на фронтах.

ALTAIR04-900 напротив, каждый новый цикл включения силового транзистора синхронизирует с задним фронтом импульса на стоке, что уменьшает эмиссию, но при этом частота преобразования может меняться в широких пределах, что может повлечь за собой использование более широкополосного фильтра.

Чтобы облегчить задачу разработчикам и минимизировать время цикла разработки изделия, компания ST предлагает отладочные платы, на базе которых можно отработать дизайн источника питания, моточных изделий, проверить электромагнитную совместимость.

Например, оценить возможности VIPer17 можно, воспользовавшись отладочной платой STEVAL-ISA060V1, познакомиться с ALTAIR04-900 поможет отладочная плата STEVAL-ISA133V1.

Кроме того, данные интегральные преобразователи поддерживаются в САПР компании ST.

Сервис eDesignSuite, который функционирует на официальном сайте компании, позволяет выполнить расчет источника питания, смоделировать его параметры, выбрать сопутствующие компоненты и рассчитать тепловые режимы. Помимо этого, eDesignSuite рассчитывает параметры трансформатора.

К примеру, на информационной странице преобразователя VIPer17 [11] предлагается стартовое окно, в котором можно выбрать параметры проектируемого устройства (рисунок 11).

Для каждого типа преобразователя набор доступных опций САПР различен. Для VIPer17, например, можно осуществить расчет импульсного источника питания DC/DC, AC/DC, источника питания светодиодов AC/DC или зарядного устройства для аккумуляторных батарей.

В качестве примера можно задать исходные параметры источника питания для трехфазного счетчика электроэнергии, рассмотренного выше. Следует учесть, что eDesignSuite производит расчеты, основываясь на библиотеке стандартных моточных каркасов и сердечников из магнитных материалов, по-

Design Summary

IC: VIPer17HN - DIP 7

Input: 105 Vdc - 350 Vdc

Output Power: 500 mW

Out 1: 5 Vdc (40 mVpp ripple) - 100 mA max - 0.5 W - Regulated

Switching frequency (fsw): 115 kHz

Transformer Specifications:

fsw: 115 kHz - Isat $\geq$ 256 mA - Lp: 570 μ H $\pm$ 15 % - leakage $\leq$ 3 %

Primary: Ipk 150 mA - Irms 25 mA - Iavg 6 mA

Aux: Ipk 206 mA - Irms 17 mA - Iavg 2 mA - Prim/Aux turn ratio 6.67

Out 1: Ipk 2.26 A - Irms 388 mA - Iavg 100 mA - Prim/Out 1 turn ratio 16.13

Transformer Design:

Core:

Type EE8 - Area Product 37 mm⁴ - Orientation Horizontal

Volume (Ve) 134 mm³ - Cross-Sectional Area (Ae) 7.00 mm² - Bobbin Winding Area (Aw) 5.30 mm²

Bobbin Average Turn Length 19.90 mm - Bobbin Centr. Leg Length 4.78 mm

Material: N27, N67, N87, 3CB1, 3C90, 3C91, 3C95, PC40, PC44, PC50 or equivalent

Core Gap: 0.07 mm

Inductance factor (AL): 135 nH/N²

Primary: Turns 65 - Layers 3

Wire: Manufacturer Würth Elektronik - Part Number PN180 9283-0035 - Type Single

Number of strands 1 - Strand copper $\varnothing$ 0.142 mm - Wire gross $\varnothing$ 0.163 mm

Resistance per meter 1.1247 Ω /m

Secondary: Turns 4 - Paralleled wires 2

Wire: Manufacturer Würth Elektronik - Part Number 9263-0028 - Type TCA2 DIW

Number of strands 1 - Strand copper $\varnothing$ 0.320 mm - Wire gross $\varnothing$ 0.497 mm

Resistance per meter 0.2177 Ω /m

Auxiliary: Turns 10

Wire: Manufacturer Würth Elektronik - Part Number PN180 9285-0040 - Type Heavy

Number of strands 1 - Strand copper $\varnothing$ 0.079 mm - Wire gross $\varnothing$ 0.102 mm

Resistance per meter 3.7795 Ω /m

Design Settings:

I_{drainLim}: 204 mA

output overvoltage: 24.1 %

IC Working Condition: @|V_{in} 350 V - P_{out} 0.5 W - T_a 25 °C)

T_j: 69.9 °C - Current Mode: Discontinuous - Burst Mode (fsw avg.: 99 kHz)

a)

Bill of Materials

Type	Reference	Value	Description
IC	IC	VIPer17HN	
Resistor	Rlim	8.2 k Ω	8.2 k Ω
Resistor	Rovp	34.8 k Ω	34.8 k Ω
Diode	Dovp	1N4148	100 mA, 100 V -
Diode	Dvdd	1N4148	500 mA, 80 V - STMicroelectronics
Capacitor	Cvdd	22 μ F	35 V - 20% - Panasonic - EEEFC1V220P
Resistor	Rvdd	10 Ω	10 Ω
Resistor	Rcp	2.2 M Ω	2.2 M Ω
Capacitor	Ccp	150 pF	450 V
Diode	Dcp	STTH106	1 A, 600 V - STMicroelectronics

б)

Рис. 15. Итоговые результаты проектирования

этому значения индуктивностей, токов и так далее, будут отличаться от рассчитанных для случая с «воздушным сердечником».

Выбирать для расчетов необходимо DC/DC-преобразователь, а трехфазный выпрямитель и ограничитель-стабилизатор в данном примере рассчитаны отдельно.

После ввода параметров можно начинать расчет (рисунок 12).

Система проверяет корректность введенных данных и выдает предупреждение в случае, если какая-либо из величин выходит за границы заданного диапазона.

Разработчик имеет возможность выбрать микросхему, наиболее подходящую для проекта, по типу корпуса и частоте преобразования (рисунок 13).

Результаты расчета представлены в окне (рисунок 14).

Разработчик может оценить температуру микросхемы преобразователя, формы импульсов тока силового транзистора и напряжения на нем, КПД в диапазоне нагрузок, АЧХ схемы обратной связи по напряжению, распределение потерь мощности по элементам схемы.

В случае, если полученный результат соответствует ожиданиям, с помощью кнопки «Print» можно получить подробные итоговые результаты проектирования (рисунок 15а, 15б).

Итоговый отчет включает в себя подробные данные для изготовления трансформатора — тип и материал сердечника, провод, слой изоляции, число витков, порядок намотки и так далее. Также в отчете присутствует и подробный перечень элементов.

«Электронный помощник», реализованный компанией ST для поддержки своей продукции, позволяет сократить до минимума путь от технического задания до воплощения конструкции «в железе», избежать ошибок при проектировании, сэкономить значительное количество времени и ресурсов.

Заключение

Развитие интегральных преобразователей постепенно расширяет области их применения. Появление высоковольтных серий, таких, как VIPer и ALTAIR, позволяет строить на их основе источники питания, которые еще совсем недавно строились на обычных транзисторах, соединенных в каскодную схему, или на дорогостоящих высоковольтных транзисторах, предназначенных для инверторов.

Интегральные преобразователи позволяют не только сэкономить место на печатной плате, но и содержат цепи запуска, ШИМ-контроллер, драйвер по-

левого транзистора, цепи управления и защиты, что дает возможность разработчику затрачивать минимум усилий на разработку системы питания, перенаправив их на решение основной задачи.

Литература

- 1) AN2528. http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00156773.pdf.
- 2) А.Гончаров. Начальная школа построения импульсных DC/DC-преобразователей. Электронные компоненты, №1/2003.
- 3) http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/user_manual/CD00282230.pdf
- 4) Hitano, Low Impedance Type-EXR SERIES. http://www.hitano.com.tw/download/EXR_20141128.pdf.
- 5) DI-141. <http://ac-dc.power.com/design-support/reference-designs/design-examples/di-141-075-w-anti-tampering-energy-meter/>.
- 6) AN4414. http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/DM00101700.pdf.

7) VIPer17. <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00185039.pdf>.

8) AN4154. http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/DM00063149.pdf.

9) ALTAIR04-900. <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00290935.pdf>.

10) Программа для расчета eDesignSuite. http://www.st.com/web/en/support/eDesign_Suite.html?s_searchtype=keyword.

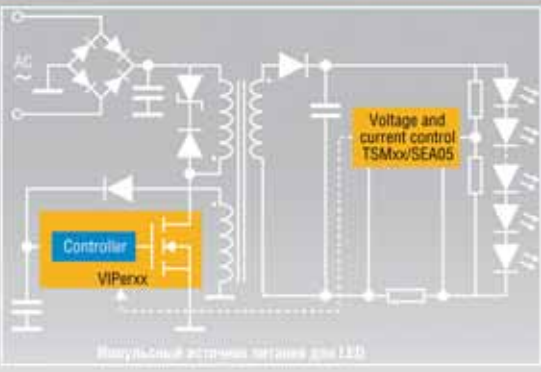
11) https://my.st.com/st-extranet-web-active/active/catalog/sense_power/FM142/CL1454/SC432/SS1635/PF204720?s_searchtype=partnumber.

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



AC/DC-преобразователь VIPer

недорогой и надежный ИП
для электросчетчика

- Встроенный MOSFET-транзистор 800 В
- Стандартные сетевые напряжения: 85...265 В
- Встроенная защита от перегрева и перенапряжения
- Энергопотребление в дежурном режиме ($V_{ac} = 265 В$): менее 50 мВт
- ШИМ-контроллер с дрожанием частоты для снижения шума
- Стандартные корпуса: SO8, SO16, DIP7, DIP8

Поддержка разработчиков:

E-mail: st@compel.ru

www.compel.ru/projects-support



Компэл

www.compel.ru

Виктор Бугаев (г. Долгопрудный), Виталий Дидук, Максим Мусиенко (г. Николаев)

ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ДОСТУП К СЧЕТЧИКУ: NFC И BLUETOOTH LOW ENERGY

Для разработки новых типов **счетчиков систем АСКУЭ** компания **STMicroelectronics** разработала серию **беспроводной памяти Dynamic NFC / RFID**, которая поддерживает передачу данных по радиointерфейсу в соответствии со стандартами **ISO/IEC 14443 Type A** и **NFC Forum Type 4 Tag**. В качестве дополнения к указанным устройствам с успехом можно использовать технологию **Bluetooth Low Energy** на базе **сетевых процессоров BlueNRG**.

Главным предназначением — автоматизированной системы коммерческого учета энергоресурсов АСКУЭ является объединение систем контроля и учета потребления электроэнергии, газа, тепла, горячей и холодной воды для дальнейшего переоснащения и модернизации предприятий разных отраслей промышленности с целью более эффективного использования энергоресурсов.

Автоматизированные системы контроля и учета энергоресурсов позволяют вести учет Их потребления в автоматическом режиме посредством сбора информации с большого количества счетчиков, отображать информацию о количественных характеристиках на диспетчерской станции, интегрировать данные об энергопотреблении предприятия в системы электронного документооборота.

Внедрение АСКУЭ повышает точность и оперативность сбора данных по энергопотреблению, упраздняет необходимость ручного снятия показаний приборов учета электроэнергии, позволяет централизованно контролировать потребление энергоресурсов. Также система осуществляет автоматическое документирование, точное прогнозирование затрат энергоресурсов, оптимизацию графиков и лимита потребления, многотарифный учет, оперативность выявления потерь энергоресурсов в виде протечек, аварийных режимов работы оборудования, нерационального использования и так далее.

Обобщенно АСКУЭ представляет собой сочетание локального оборудования сбора и обработки данных, коммуникаций связи (сетей передачи данных), удаленного компьютера со специализированным ПО.

Локальное оборудование сбора и обработки данных (ЛОСОД) — совокуп-

ность устройств, которые обеспечивают измерение, сбор, накопление, обработку данных об объемах и параметрах потребляемых энергоресурсов. Таким оборудованием может являться типовой прибор учета расхода энергоресурсов (счетчик). Ранее счетчики изготавливались без возможности передачи данных в сеть. Основными требованиями были точность измерений, защищенность от аварийных ситуаций и несанкционированного доступа. Для соответствия растущим требованиям к системам учета и контроля счетчики обязательно должны обладать еще и развитыми сетевыми технологиями для возможности работы в составе автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии. Тенденции нынешнего рынка систем АСКУЭ направлены на обеспечение счетчиком круглосуточного и прямого доступа ко всем данным учета энергопотребления. При этом, доступ к приборам может иметь как предприятие, поставляющее энергоресурс, так и конечные потребители, но с более ограниченными возможностями. Для сетевой коммутации подобное оборудование, как правило, комплектуют модулями на основе GSM-/GPRS-технологий передачи данных. Представленные технологии не могут в полной мере удовлетворить потребительский рынок. Например, GSM/GPRS, используя беспроводной канал, может передавать данные на большое расстояние, но при этом обладает существенными недостатками — канал платный, его использование для обслуживающего персонала нецелесообразно.

В подобных технических системах остро стоит вопрос внедрения технологий передачи данных, соответствующих всем современным требованиям энергоэффективности, скорости, масштабируемости и так далее. В системах АСКУЭ не так давно начали внедрять стандарты передачи данных **NFC** (Near field communication), **BLE** (Bluetooth Low Energy) и стандарты радиодиапазонов Sub-1/2,4 ГГц. Они превосходно подходят для использования как отдельными частными лицами, так и техническим персоналом предприятий. Однако ни одна из представленных технологий не обладает достаточной универсальностью, так как каждая создавалась под решение конкретного круга задач. Для всех трех можно выделить ориентированность на беспроводную передачу и низкое энергопотребление. Одним из ключевых отличий является малый радиус действия и, как следствие, непригодность для использования в АСКУЭ, распределенной на большой площади. Например, NFC дает возможность обмена данными на расстоянии всего лишь около 10 см. Для технологий BLE и Sub-1 GHz дальность передачи данных будет составлять до 50 м и 100...1000 м соответственно.

Особенности NFC EEPROM: работа с памятью, шифрование данных

В основе работы современных счетчиков лежит использование цифровых процессоров, что позволяет повысить точность измерений, вести многотарифный учет использования ресурсов, ограничить несанкционированный доступ и кражу энергоресурсов и так далее. У такого подхода существуют недостатки: считывание данных возможно только при наличии питания и неосуществимо при выходе счетчика из строя. Для решения этой задачи требуется применение внешней памяти, обладающей двумя интерфейсами обмена данными (один



Рис. 1. Принцип работы микросхем M24SR и M24LR с двойным интерфейсом доступа

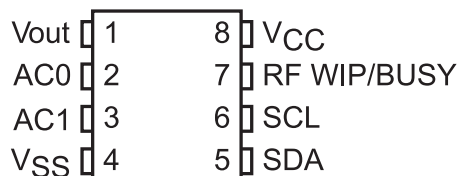


Рис. 2. M24LR16E-R в корпусе SO8 (MN)

для связи непосредственно с управляющим микропроцессором, другой — для сетевого обмена данными).

Компания **STMicroelectronics** выпускает несколько серий микросхем, поддерживающих технологию двойного интерфейса доступа — семейства памяти **M24SR** и **M24LR** (рисунок 1).

M24SR и M24LR являются по сути динамическими NFC-/RFID-метками, работающими на несущей частоте 13,56 МГц и поддерживающими стандарты RFID ISO 14443 и ISO 15693. Обе серии выпускаются в корпусах поверхностного монтажа SO8 (MN), TSSOP8 (DW), UDFPN8 (MC), а серия M24SR еще и в корпусе WDFPN8 (MF).

В серии M24LR используется RFID-интерфейс, совместимый со стандартом ISO 15693. Микросхемы имеют следующие характеристики:

- метки с радиочастотным интерфейсом стандарта ISO 15693;
- последовательный интерфейс I²C со скоростью работы 400 кГц при питании 1,8...5,5 В;
- объем EEPROM 4...64 кбит;
- питание от электромагнитных волн считывателя («энерджи харвестинг»);
- 32-битная защита паролем;
- выходной контакт для сигнализации о занятости устройства;
- простой дизайн антенны, совместимой с серией M24SR [1].

В линейке M24LR память разделена на 64 сектора из 32 блоков по 32 бита. Каждый сектор может быть индивидуально защищен от считывания или записи с помощью специальной команды с паролем. Операции чтения или записи возможны, если рассматриваемые данные находятся не в защищенном секторе. M24LR также имеет 64-битный блок, который используется для хранения 64-битного уникального идентификатора (UID), недоступного пользователю, значение которого записывается на

производстве. UID совместим со стандартом ISO 15963, и его значение используется при борьбе с коллизиями.

M24LR имеет четыре дополнительных 32-битных блока, которые хранят пароль к шине I²C и три радиочастотных кода пароля.

M24LR обеспечивает специальный механизм защиты. Каждый сектор памяти M24LR может иметь индивидуальную защиту с помощью одного из трех доступных паролей. Сектору памяти присваивается байт состояния сектора безопасности, включающий бит защиты сектора, два бита контроля пароля и два защитных бита для операций чтения и записи [2].

Линейка построена с использованием инновационной технологии «энерджи харвестинг», питающей микросхему памяти от энергии электромагнитной волны от считывающего устройства, что позволяет получить последние собранные данные от обесточенного или неработоспособного устройства.

Основным источником энергии в режиме «энерджи харвестинг» для **M24LRxx** является RFID-считыватель. При этом вырабатываемой энергии вполне достаточно для реализации процедур чтения или записи. M24LRxx получает питание от антенны, где ток индуцируется внешним электромагнитным полем считывателя. RFID-считыватель в данном случае играет ту же роль, что и первичная обмотка силового трансформатора, и передает напряжение на вторичную обмотку (в данном случае — M24LRxx и его индуктивная антенна). На коэффициент передачи энергии влияет ряд факторов:

- точность настройки M24LRxx и его антенны на частоту несущей волны считывателя (около 13,56 МГц);
- расстояние между считывателем и платой с M24LRxx;
- размеры антенн считывателя и платы с M24LRxx;
- мощность считывателя;
- ориентация антенны M24LRxx по отношению к антенне считывателя [4].

Когда режим сбора энергии активен, M24LR может выводить избыток энергии, поступающей из радиоантенны, на аналоговый выход Vout (рисунок 2). Если сила радиочастотного поля не достаточно велика или когда режим сбора

энергии отключен, аналоговый выход Vout переходит в высокоимпедансное состояние (Z-состояние) [3].

Серия M24SR — это NFC-метки четвертого типа, имеющие радиочастотный интерфейс и поддерживающие формат обмена данными NFC (NDEF). Серия может быть использована во многих приложениях, в том числе — в бытовой электронике, компьютерной периферии, промышленной автоматизации.

Серия M24SR включает в себя:

- NFC метки четвертого типа на основе радиочастотного интерфейса стандарта ISO 14443;
- последовательный интерфейс I²C, работающий на частоте 1 МГц при напряжении питания 2,7...5,5 В;
- объем EEPROM 2...64 кбит со встроенной поддержкой NDEF-сообщений;
- возможность программного управления радиочастотным доступом посредством NFC-телефона;
- 128-битная защита паролем;
- возможность выхода из энергосберегающего режима от нескольких типов событий;
- простой дизайн антенны, совместимый с серией M24LR [5].

В отличие от M24LR, новая память M24SR поддерживает более скоростной обмен по радио (106 кбит/с) при максимальной дальности радиосвязи до 10 см. Скорость передачи данных по интерфейсу I²C — до 1 Мбит/с. Данные на чтение и запись могут быть защищены паролями длиной 128 бит. Для простого отключения радиоинтерфейса предусмотрен специальный вывод, с помощью которого, например, можно оперативно сделать память «невидимой» для NFC-телефонов.

Серия M24SR имеет внутреннюю структуру памяти, которую условно можно разделить на три файла:

- Capability Container (CC-файл);
- NDEF;
- системный файл, который является собственностью STMicroelectronics.

Последний содержит информацию о конфигурации конкретного устройства M24SRxx.

Файл CC содержит информацию о конкретной модели M24SRxx и о файле NDEF. Этот файл доступен только для чтения через радиочастотный канал или через I²C от управляющего микропроцессора и не может быть изменен с помощью команды записи.

Файл NDEF содержит сообщение NDEF с данными пользователей. Радиочастотный хост или хост I²C могут читать и записывать данные в файл. Первые два байта называются «длина сообщения NDEF» и определяют размер сообщения NDEF. Длина NDEF-сообщений должна лимитироваться управляющим приложением, так как устройства

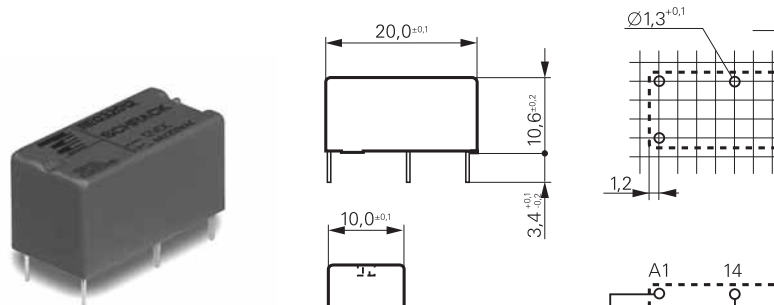


Рис. 3. Эквивалентная схема M24LRxx и его антенны

M24SRxx не проверяют длину данных при их записи через радиочастотный или I²C-канал. Устройства M24SRxx обрабатывают сообщения только после окончания процедуры считывания, и, если длина NDEF-сообщения окажется неправильной, то устройство возвратит код ошибки.

Файл NDEF может быть заблокирован для чтения или записи данных. Он также защищен 128-битным паролем. Есть два 128-битных пароля: один — для доступа на чтение, другой — для доступа к записи. NDEF-файл может быть заблокирован для чтения или записи данных. В таком случае хост не сможет получить доступ к файлу. Перед процедурой чтения или записи соответствующий пароль должен быть направлен на устройство M24SRxx для начала процедуры считывания или записи в заблокированный NDEF-файл [6].

Проектирование антенн для NFC EEPROM

Особое внимание при разработке счетчиков с использованием микросхем памяти M24LRxx и M24SRxx следует уделить проектированию радиопередающего тракта. Точность настройки антенны влияет не только на дальность передачи данных, но и на величину возможной энергии, полученной в режиме «энерджи харвестинг».

Принцип расчета параметров антенны для данных микросхем очень прост: внешняя антенна разрабатывается, как правило, для поверхностного монтажа. Частота работы антенны f_{tuning} равна 13,56 МГц. Она настраивается с помощью расчетной индуктивности антенны L_{antenna} и конденсатора регулируемой емкости C_{tuning} . Основное уравнение настройки частоты рассчитывается по формуле [4]:

$$f_{\text{tuning}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_{\text{antenna}} \times C_{\text{tuning}}}}$$

На рисунке 3 представлена эквивалентная электрическая схема чипа и антенны. M24LRxx показано как параллельное соединение сопротивления, которое имитирует текущее потребление чипа и дополнительной емкости, предназначенной для облегчения точной настройки.

Антенна представляет собой провод, поэтому эквивалентом его электрической цепи является сопротивление, обозначенное R_{ant} . Антенна также обладает индуктивностью, обозначенной L_{ant} . C_{ant} представляет дополнительную паразитную емкость от линий и электрических дорожек между антенной и чипом.

В уравнениях первого порядка значения R_{chip} , C_{ant} и R_{ant} незначительны, поэтому основные уравнения, кото-

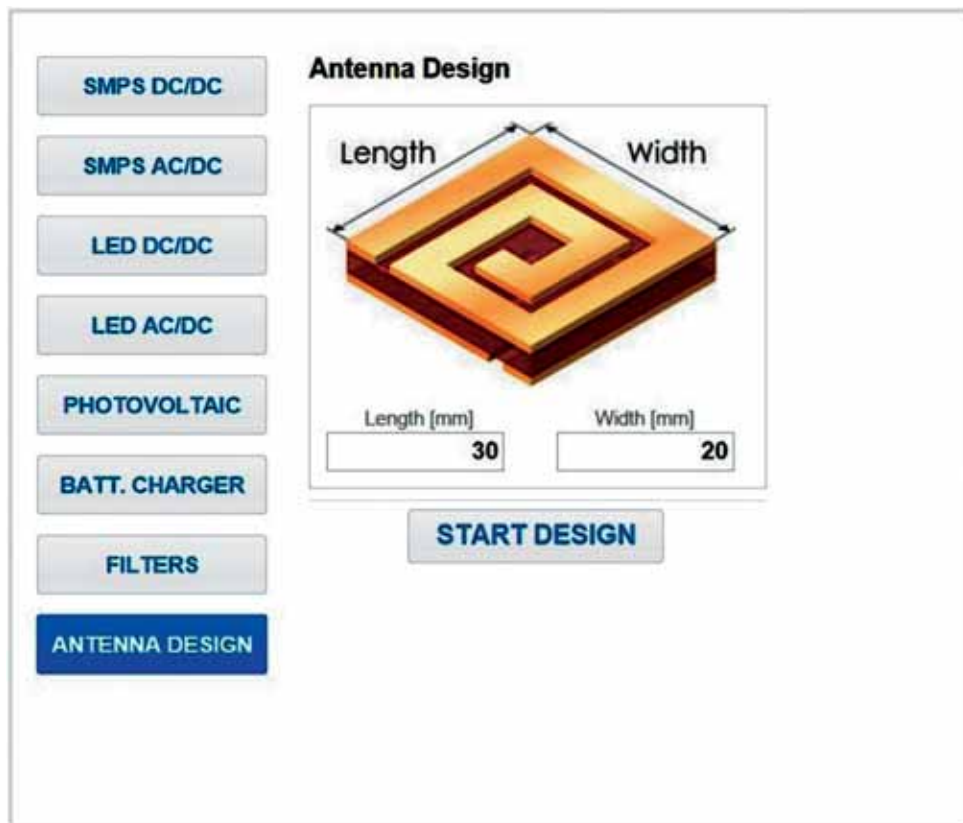


Рис. 4. Стартовое окно eDesignSuite для проектирования квадратных антенн

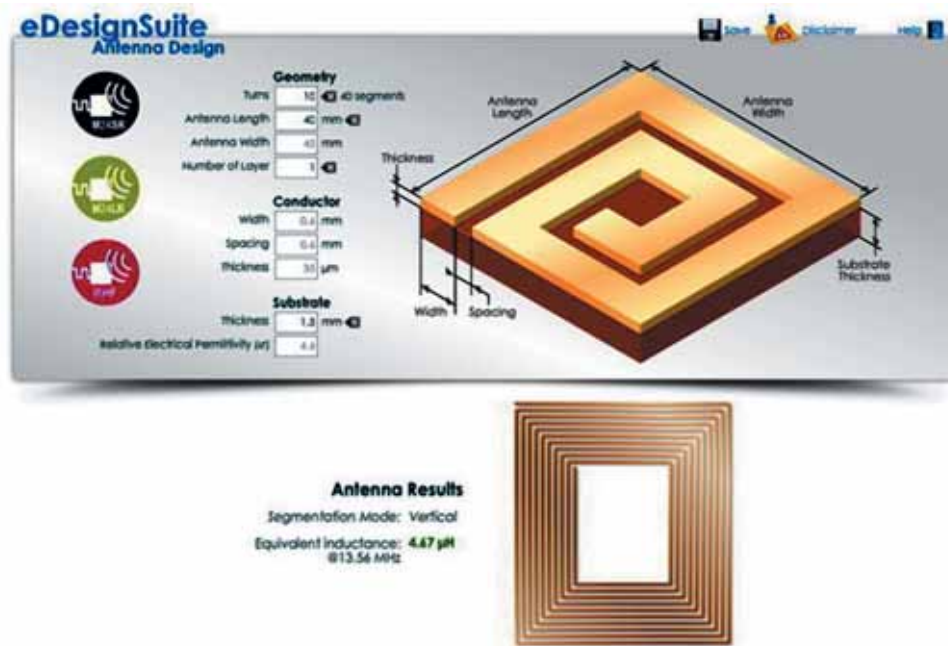


Рис. 5. Результаты проектирования антенны

рые используются для проектирования антенн, учитывают лишь C_{tuning} и L_{ant} .

Основным различием при проектировании и расчетах является форма антенны. Как правило, сегодня используют три основных типа антенн — кольцевую, спиральную и квадратную. Для каждого типа существует свой алгоритм расчета ее индуктивности [4].

Для ускорения проектирования квадратных антенн компания

STMicroelectronics предлагает онлайн-приложение **eDesignSuite** (рисунки 4, 5), которое является идеальным инструментом моделирования, значительно упрощающим задачу разработчиков [7]. Приложение доступно для зарегистрированных пользователей.

Для проектирования достаточно выбрать соответствующую вкладку (рисунок 4) и ввести начальные параметры — размеры сторон.

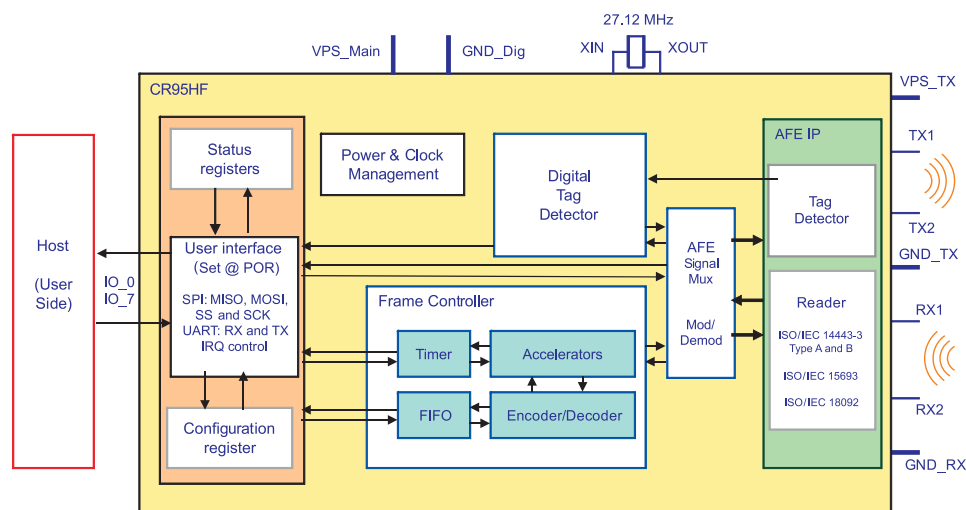


Рис. 6. Блок-диаграмма считывателя CR95HF

Исходя из начальных параметров, среда позволяет рассчитать количество витков, ширину и толщину витка, межвитковое пространство, количество слоев и толщину подкладки. При желании каждый из указанных параметров можно изменить под свои задачи. Результатом моделирования является внешний вид антенны и индуктивность. Все параметры рассчитываются для работы на частоте 13,56 МГц.

Дополнительную информацию по настройке антенн можно взять из технической документации [6].

Считыватель CR95HF

Обслуживающий персонал и рядовые пользователи для доступа к функционалу счетчика должны иметь специализированное оборудование, способное обмениваться данными с микросхемами M24SR и M24LR на частоте 13,56 МГц

и генерировать электромагнитное поле мощностью, достаточной для питания указанных микросхем в режиме «энерджи харвестинг».

Для работы с микросхемами M24SR и M24LR компания STMicroelectronics предлагает считыватель **CR95HF**.

CR95HF — это интегрированный приемопередатчик для бесконтактных приложений, таких как NFC. Считыватель имеет радиointерфейс 13,56 МГц и поддерживает протоколы связи ISO/IEC 14443 типа A и B, ISO/IEC 15693 (содинарной или двойной поднесущей) и ISO/IEC 18092. CR95HF также поддерживает обнаружение, чтение и запись в NFC первого, второго, третьего и четвертого стандартов тега [8]. Для связи с ведущим контроллером он может использовать протоколы SPI и UART. При этом буфер обмена данными может достигать до 528 байт. Чип поставляется в корпусе **VFQFPN32**. Блок-диаграмма считывателя CR95HF приведена на рисунке 6.

Для разработки устройств STMicroelectronics предоставляет специализированную библиотеку, ориентированную на работу с 8- и 32-битными контроллерами.

Предоставляемую библиотеку условно можно разделить на три уровня:

- CR95HF содержит низкоуровневые команды для непосредственного управления трансивером CR95HF;
- уровень протоколов стандарта ISO/IEC 15693;
- уровень взаимодействия с оборудованием, имеющим двойной интерфейс доступа [9].

Для начала знакомства с чипом компания предлагает отладочные платы **PLUG-CR95HF-B**, а также наборы **M24LR-DISCOVERY** (рисунок 7) и **M24SR-DISCOVERY**. Отладочные наборы включают в себя плату **PLUG-CR95HF-B**, в которую входит бесконтактный приемопередатчик CR95HF.

Плата имеет размер 47x34 мм и оснащена антенной на подложке с рабочей частотой 13,56 МГц. Плата оснащена штыревым разъемом для подключения к оборудованию по SPI- или UART-интерфейсу, что делает возможным ее коммутацию практически с любыми типами микроконтроллеров.

Использование подобного комплекта оборудования позволит бесконтактно обслуживать счетчики, настраивать параметры работы, стоимость тарифов (в случае многотарифных счетчиков) и так далее. Неоспоримым преимуществом такого подхода также является возможность проведения проверок счетчика на точность без нарушения его целостности или считывание остаточных данных в случае его выхода из строя.

Отладочные платы для M24SR/ M24LR

Для микросхем памяти M24SR и M24LR также предусмотрены отладочные платы M24LR-DISCOVERY и M24SR-DISCOVERY (рисунок 8).

Комплект M24LR-DISCOVERY (рисунок 7) готов к немедленному использованию и основан на чипе **M24LR04E-R**. На базе комплекта можно тестировать такие приложения как промышленное или медицинское оборудование, потребительская электроника.

Демонстрационный комплект M24SR-DISCOVERY позволяет оценить функции и возможности серии M24SR и основан на устройстве M24SR64. В продаже доступны две версии этого набора: **Standard Edition** и **Premium Edition**.

Standard Edition оснащен жидкокристаллическим цветным дисплеем размером 320x200 пикселей, интерфейсным выходом USB, интерфейсом JTAG для изменения прошивки контроллера, джойстиком для управления меню работы программы. Плата запитывается через шину USB. Она также включает в себя микроконтроллер **STM32F103** для управления памятью EEPROM через шину I²C и ЖК-экраном — через SPI-шину.

Premium Edition включает в себя все стандартные функции издания, а также наушники и модуль Bluetooth, чтобы продемонстрировать удобство синхронизации комплекта со смартфоном через NFC.

Технологии Bluetooth Low Energy

Для систем АСКУЭ при работе с сетью счетчиков в беспроводном диапазоне на небольших расстояниях инженеры STMicroelectronics также разработали процессоры, поддерживающие технологию Bluetooth Low Energy (BLE). Она позволяет разрабатывать миниатюрные датчики мобильных приложений или устройства сбора данных с батарейным питанием, например, счетчики расхо-

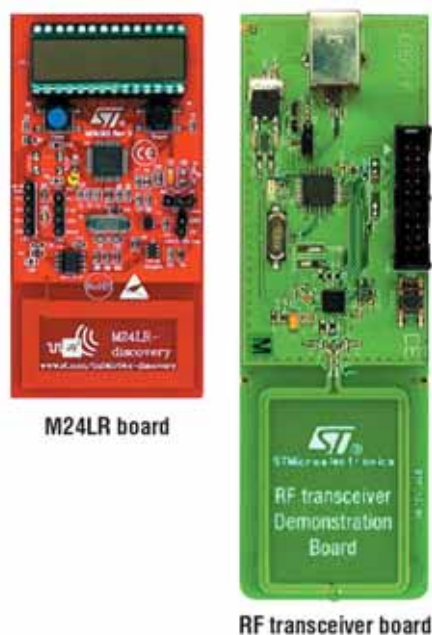


Рис. 7. Отладочный набор M24LR-DISCOVERY

да энергоресурсов. Ориентация BLE-устройств на низкое энергопотребление обуславливает ухудшение некоторых характеристик. Например, максимальная дальность передачи данных составляет 50 м, скорость передачи данных — до 1 Мб/с при пропускной способности 0,26 Мб/с. Но все это выглядит малозначительным на фоне показателей энергопотребления — потребляемая мощность составляет всего лишь 0,01...0,5 Вт в зависимости от конфигурации устройства. Подобные характеристики позволяют с успехом использовать данную технологию в счетчиках для построения автоматизированной системы учета энергоресурсов.

С использованием BLE компания STMicroelectronics выпускает, к примеру, BlueNRG-MS — одномодовый сетевой Bluetooth-процессор с низким питанием, совместимый с устройствами Bluetooth версии v4.1. BlueNRG-MS может одновременно выступать и как Bluetooth-датчик, и как сетевой концентратор.

Весь стек Bluetooth Low Energy работает на встроенном ядре Cortex M0. Энергонезависимая Flash-память позволяет производить обновление загруженного ПО. BlueNRG-MS соответствует всем требованиям энергопотребления при пиковых значениях тока, предъявляемым при использовании стандартных литиевых батарей. Максимальный пиковый ток составляет всего 10 мА при 1 дБм выходной мощности. Несколько режимов сна с низким энергопотреблением и очень короткое время перехода между режимами позволяют достичь очень низкого среднего тока потребления, что значительно продлевает срок службы аккумулятора.

Разработка полнофункционального устройства включает в себя более сложную настройку антенны, чем при использовании M24SR/M24LR. Основную трудность у разработчиков составляет балансировка и согласование работы антенны с разрабатываемым устройством, что требует значительных навыков в работе с высокочастотной схемотехникой. STMicroelectronics выпускает микросхему **BALF-NRG-01D3**, разработанную специально для согласования работы высокочастотных антенн и процессоров беспроводной связи BlueNRG. BALF-NRG-01D3 является миниатюрным балуном — интегральным симметрирующим трансформатором в четырехвыводном корпусе Flip-Chip площадью 1,4x0,85 мм и высотой всего 0,67 мм. Микросхема объединяет в себе согласующий трансформатор и фильтр гармоник. BALF-NRG-01D3 разработан с использованием технологии IPD, принадлежащей STMicroelectronics, и оптимизирован для работы на частоте 2,4 ГГц [11].



Рис. 8. Отладочная плата M24SR-DISCOVERY

Типовая схема подключения приведена на рисунке 9.

ПО для работы с BlueNRG

Для изучения принципов работы с процессорами BlueNRG и стеком протоколов Bluetooth Low Energy компания STMicroelectronics предлагает собственное программное обеспечение.

BlueNRG Development kits — программный пакет, который включает в себя приложение BlueNRG с графическим интерфейсом для ОС Windows и примеры программного обеспечения для микроконтроллера.

Пакет программного обеспечения BlueNRG GUI (рисунок 10) содержит графическое приложение пользовательского интерфейса для управления BlueNRG по протоколу ACI.

Главное окно графического интерфейса BlueNRG состоит из не-

скольких зон. Самая верхняя зона позволяет пользователю открыть последовательный порт, связанный с контроллером.

Когда COM-порт открыт, в дополнительном поле отображается служебная информация о версии процессоров BlueNRG, STM32L и модификации отладочной платы.

Поле HCI-команд содержит список всех доступных команд HCI. Команды могут быть отфильтрованы включением/выключением соответствующей галочки в поле фильтра. После нажатия на одну из команд все возможные параметры будут отображаться в поле пакета команд в верхней правой части окна.

Таблица команд пакета содержит четыре колонки:

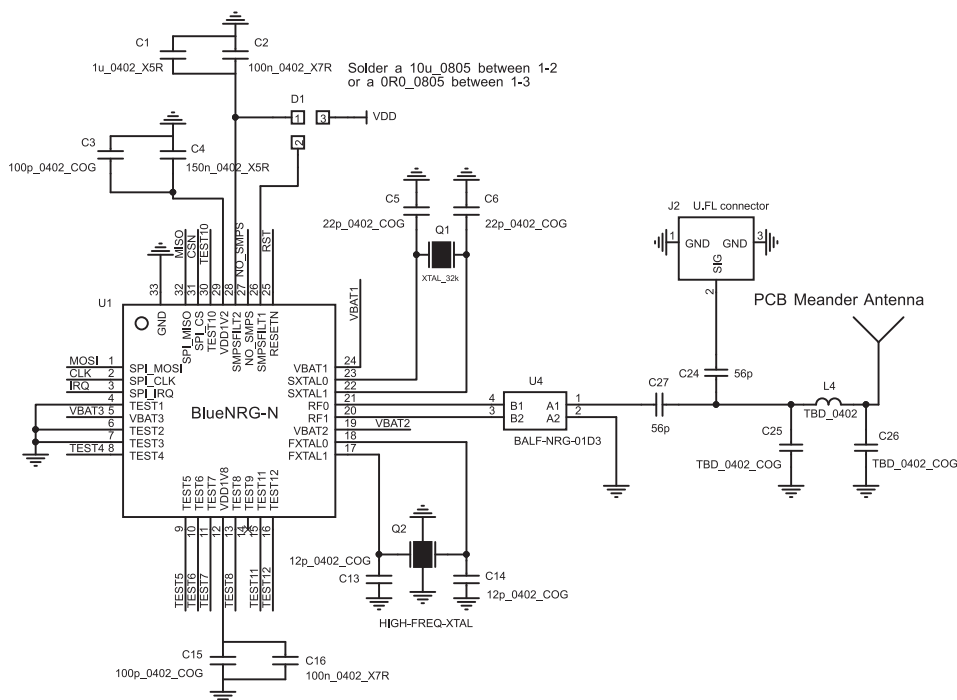


Рис. 9. Схема подключения балуна BALF-NRG-01D3 к процессору BlueNRG в QFN-корпусе

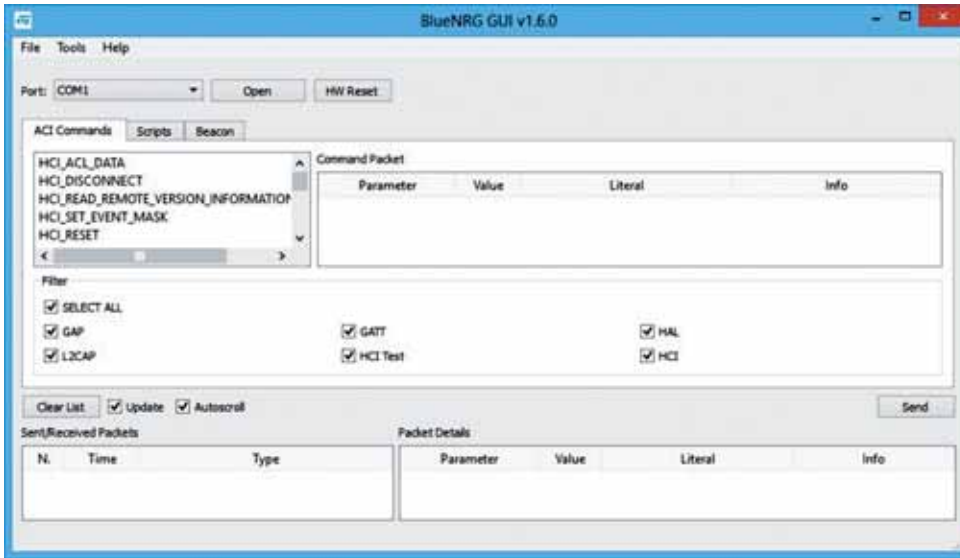


Рис. 10. Главное окно BlueNRG GUI

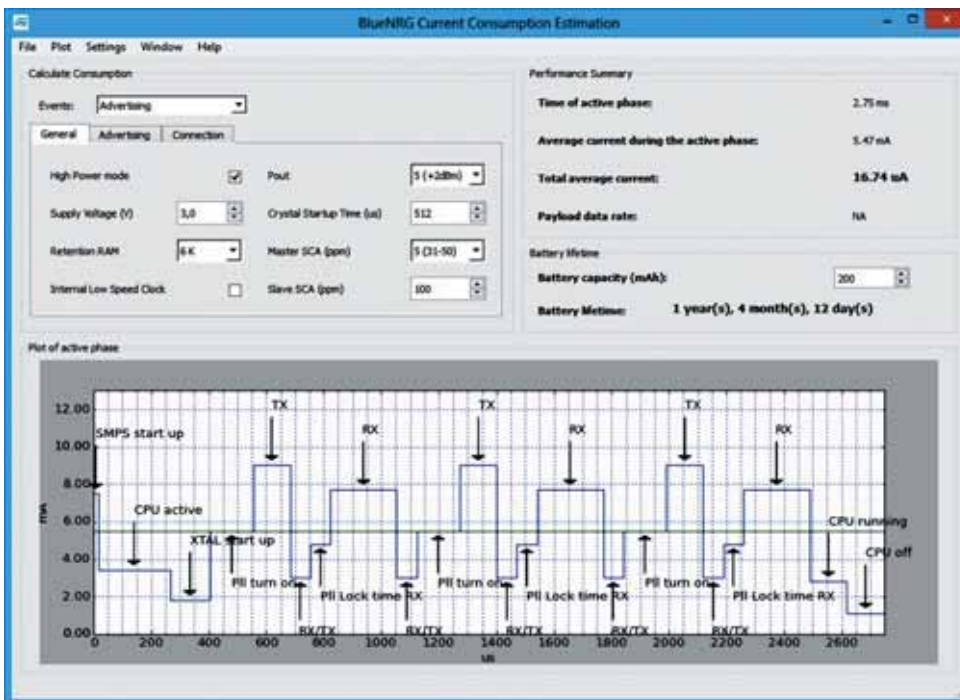


Рис. 11. Главное окно ПО оценки потребления тока BlueNRG

- Parameter — имя поля пакета, как оно задано во втором томе, части E спецификации Bluetooth;
- Value — значение поля, представленное в шестнадцатеричном формате (формат представления можно изменить по вызову контекстного меню правой кнопкой мыши);
- Literal — значение текущей величины выбранного поля;



Рис. 12. Отладочная плата STEVAL-IDB003V1

- Info — описание соответствующего поля.

Пользователем могут быть изменены только желтые ячейки таблицы. Параметр "Total Length" является фиксированным или автоматически рассчитывается после изменения содержимого ячеек.

После того, как поля были изменены (если требуется), команда может быть отправлена на процессор с помощью кнопки "Send" [12].

Еще одним инструментом, предоставляемым STMicroelectronics, является ПО оценки потребления тока беспроводными сетевыми процессорами BlueNRG в различных условиях, определенных спецификациями Bluetooth Low Energy (рисунок 11). Это приложение было разработано для того, чтобы

обеспечить точную оценку энергопотребления BlueNRG с батарейным питанием в различных условиях эксплуатации. Тем не менее, результаты моделирования в данной среде не следует рассматривать в качестве замены реальных физических измерений на фактическом устройстве, так как моделирование не учитывает дополнительных факторов потребления энергии реальным устройством [13].

Отладочные платы для BlueNRG

Вышеописанные средства можно успешно опробовать на готовых отладочных платах. Для работы с Bluetooth Low Energy компания STMicroelectronics предлагает несколько наборов: **STEVAL-IDB002V1**, **STEVAL-IDB003V1** и **X-NUCLEO-IDB04A1**.

Отладочная плата STEVAL-IDB003V1 с установленным малопотребляющим контроллером STM32L совместима со спецификациями Bluetooth 4.0 и может работать как в роли ведущего, так и в роли ведомого устройства (рисунок 12). Плата в первую очередь предназначена для взаимодействия с другими устройствами BlueNRG, но также доступна для разработки пользовательских приложений. STEVAL-IDB003V1 через USB-разъем можно подключать к компьютеру, где должно быть установлено специальное ПО с графическим интерфейсом для обновления прошивки. На плате также предусмотрено место для установки разъема JTAG, через который опытные пользователи могут изменять прошивку на микроконтроллере STM32L [14].

STEVAL-IDB002V1 соответствует тем же стандартам, что и STEVAL-IDB003V1, но отличается своим конструктивом. Она состоит из радиочастотных дочерней и материнской плат (рисунок 13). Дочерняя плата является BlueNRG-устройством, имеет разъем SMA для антенны или измерительных приборов и разъем SPI для внешнего микроконтроллера. Материнская плата основана на чипе STM32L и используется в качестве внешнего микроконтроллера, управляющего устройством BlueNRG. Разъем JTAG позволяет разрабатывать собственные прошивки микроконтроллера [15].

X-NUCLEO-IDB04A1 — еще одна оценочная плата для изучения работы технологии Bluetooth Low Energy, которая может устанавливаться на одну из материнских плат STM32 Nucleo (рисунок 14). Примечательно, что она совместима с разъемом Arduino UNO R3. Плата взаимодействует с STM32 MCU через SPI [16].

Заключение

Компания STMicroelectronics обеспечила широкий выбор решений для ре-

лизации беспроводных средств сбора и передачи данных, что с успехом используется при разработке новых типов счетчиков систем АСКУЭ.

Сюда входит новая серия беспроводной памяти Dynamic NFC/RFID, которая поддерживает передачу данных по радиointерфейсу в соответствии со стандартами ISO/IEC 14443 Type A и NFC Forum Type 4 Tag. В серии M24SR представлена EEPROM-память объемом 2...64 кбит. Для беспроводного доступа достаточно подключить антенну, при этом микросхема будет работать даже без подачи напряжения питания. Микросхемы M24SRx и M24LRx могут использоваться в качестве NFC- или RFID-меток для идентификации и сохранения данных в счетчиках энергопотребления. Серия M24LRx, благодаря возможности передачи данных на большие расстояния, ориентирована на применения в системах мониторинга, промышленной автоматике и автомобильных приложениях. Серия M24SRx, поддерживающая структуры данных NDEF, ориентирована на приложения, активно взаимодействующие с пользовательскими устройствами, например, в системах сбора данных.

В качестве дополнения к указанным устройствам с успехом можно использовать технологию Bluetooth Low Energy на базе процессоров BlueNRG. Технология предусматривает полную совместимость Bluetooth версии v4.1, имея вдвое меньшие значения параметров, чем стандартные устройства Bluetooth, но значительно превышает их по показателям энергопотребления, вследствие чего срок службы такого устройства от батарейного питания может достигать года.

Литература

1. http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM76/CL1766/SC1412/SS851?s_searchtype=keyword.
2. <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00217247.pdf>.
3. <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00031737.pdf>.
4. http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00232630.pdf.
5. http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM76/CL1766/SC1412/SS1812?s_searchtype=keyword.
6. <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00067892.pdf>.
7. http://www.st.com/web/en/support/eDesign_Suite.html.
8. <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00025644.pdf>.



Рис. 13. Отладочная плата STEVAL-IDB002V1

9. http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/DM00039049.pdf?s_searchtype=keyword.

10. <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00141263.pdf>.

11. <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00122278.pdf>.

12. http://www.st.com/st-web-ui/static/active/jp/resource/technical/document/user_manual/DM00099259.pdf.

13. http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data_brief/DM00112499.pdf.



Рис. 14. Оценочная плата X-NUCLEO-IDB04A1

14. <http://www.st.com/web/en/catalog/tools/PF260386>.

15. <http://www.st.com/web/en/catalog/tools/PF259562>.

16. <http://www.st.com/web/en/catalog/tools/PF260517>.

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



life.augmented

Новые возможности беспроводного доступа!





NFC

- Служебный доступ к критическим данным даже при отсутствии питания
- Обновление прошивок и конфигурирование при производстве без подключения кабеля
- Персональная идентификация и контроль доступа

Bluetooth Low Energy

- Передача данных на расстояние до 30 метров
- Удобный интерфейс управления через пользовательский смартфон
- Совместимость с будущими поколениями устройств «Интернета вещей»

Поддержка разработчиков:

E-mail: st@compel.ru

www.compel.ru/projects-support



Компэл
www.compel.ru

Александр Калачев (г. Барнаул)

ГОТОВЫЕ БИБЛИОТЕКИ SPIRIT1 LIBRARY ДЛЯ БЫСТРОЙ РАЗРАБОТКИ РАДИОКАНАЛА ЭНЕРГОСЧЕТЧИКА



Микроконтроллер плюс **приемопередатчик** **субгигагерцевого диапазона SPIRIT1**, выпускаемый компанией **STMicroelectronics** – популярная связка для построения цифрового **энергосчетчика** с передачей данных по **беспроводному каналу связи**. Компания **ST** предоставляет разработчикам большой набор готовых **программных библиотек** для реализации различных видов радиоканала в приложениях этого типа.

Современные автоматизированные системы используют различные методы удаленного съема показаний, включая проверенные проводные системы с протоколами типа ModBus и набирающие популярность сети реального времени CAN. Многообразие предлагаемых производителями средств учета электрической энергии, интерфейсов связи и технологий передачи данных требует выработки единой технической политики по отбору и применению средств учета электроэнергии.

Программа ОАО «Россети» на 2015-2016 года предусматривает внедрение интеллектуальных счетчиков, где радиоканалу отводится ряд определенных задач. Так, согласно технической политике ОАО «Россети», функционал интеллектуального прибора учета электрической энергии должен включать в себя:

- измерение величин активной и реактивной электрической энергии, мощности, основных показателей качества электрической энергии, фазного напряжения, фазного тока, коэффициента мощности, тока в нулевом проводе;
- поддержку не менее четырех тарифов, дифференцированных по зонам суток;
- формирование профиля нагрузки с программируемым временем интегрирования 1...60 минут;
- обеспечение возможности ограничения/отключения нагрузки при получении команды с уровня информационно-вычислительного комплекса сбора и обработки данных системы с использованием как встроенных, так и внешних коммутационных аппаратов;
- наличие встроенных часов реального времени с возможностью внешней синхронизации;

- ведение и хранение результатов измерений и данных журналов событий в базе данных интеллектуального прибора учета, в том числе – хранение профиля нагрузки;

- предоставление доступа к результатам измерения и журналам событий с уровня информационно-вычислительного комплекса сбора и обработки данных системы;

- взаимодействие с информационно-вычислительным комплексом сбора и обработки данных системы для приема и передачи данных по открытым протоколам;

- обеспечение безопасности хранения информации и защиту программного обеспечения интеллектуального прибора учета.

Для локального обмена данными и настройки прибор учета энергии должен иметь беспроводной интерфейс (оптический или радиочастотный), а также, как

минимум, еще один интерфейс для передачи всех учетных и сервисных данных: GPRS, CAN, PLC, RF, RS-232 или Ethernet.

Применение радиоканала приобретает все большую популярность благодаря защищенности от случайных обрывов, работе с большим числом точек, слабой зависимости от расположения приборов учета, а также в силу дороговизны прокладки проводов. С точки зрения организации беспроводного канала для систем учета, в нелицензируемых диапазонах частот предпочтительными выглядят субгигагерцевые. Для нашей страны это полосы частот 433,075...434,750 и 868,7...869,2 МГц. Основными преимуществами перед диапазоном 2,4 ГГц являются меньшая «заселенность», большая дальность связи, слабое влияние препятствий, стен, перегородок на прохождение сигнала.

Приемопередатчик SPIRIT1

SPIRIT1 представляет собой высокоинтегрированный приемопередатчик субгигагерцевого диапазона (рисунок 1) [1, 2]. Приемопередатчик работает в частотных диапазонах 150...174, 300...348, 387...470 и 779...956 МГц, поддерживает типы модуляций сигнала 2-FSK, GFSK, MSK, GMSK, OOK и

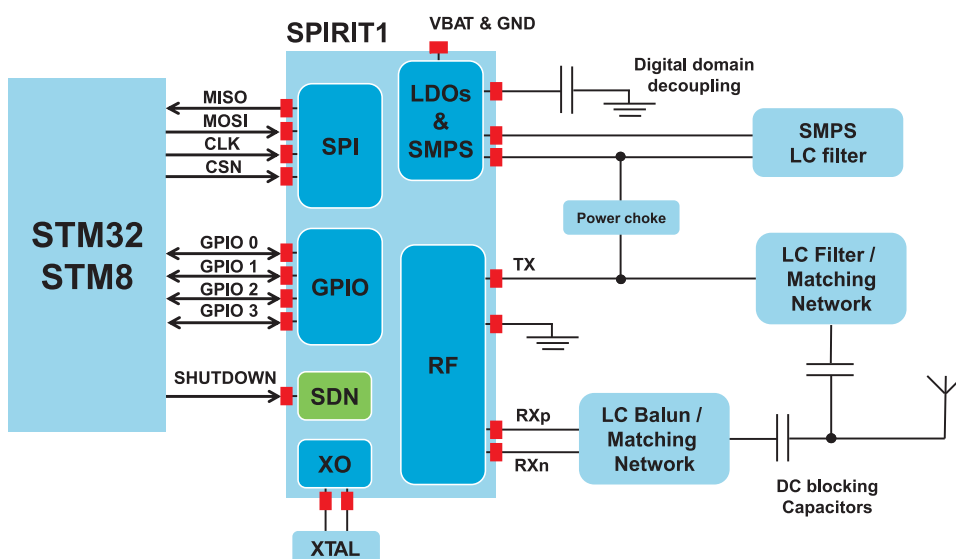


Рис. 1. Типовое включение SPIRIT1

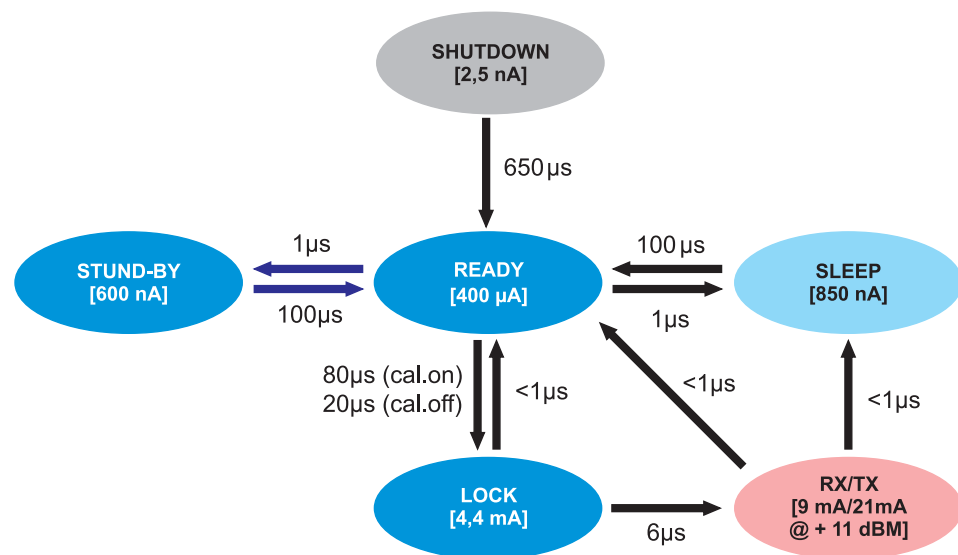


Рис. 2. Диаграмма состояний SPIRIT1 и типовые токи потребления в различных режимах работы

AES	CALIBRATION	COMMANDS	CSMA	DIRECT RF	GENERAL
GPIO	IRQ	LINEAR FIFO	PACKET COMMON	PACKET BASIC	PACKET MBUS
PACKET STACK	REGISTERS	QI	RADIO	TIMER	TYPES

Рис. 3. Структура библиотеки SPIRIT1 SW Library

ASK, имеет буферы по 96 байт на прием и передачу. Максимальная скорость передачи данных — до 500 кбит/с, для ASK/OOK-модуляций — до 250 кбит/с. Диапазон выходных мощностей: -30 dBm...+14 dBm, при питании встроенного усилителя мощности непосредственно от батареи выходная мощность достигает 16 дБм. При этом SPIRIT1 обладает высокой чувствительностью до -120 dBm (бюджет канала, таким образом, составляет порядка 130 dBm). Вывод управления внешним переключателем антенн позволяет осуществлять автоматический выбор антенны с наилучшими показателями приема для каждого пакета на этапе приема преамбулы без вмешательства управляющего контроллера.

Трансивер SPIRIT1 имеет встроенное устройство формирования и обработки пакетов (*Packet Handler*) — поддерживаются форматы Basic, SStack, Wireless M-Bus. В режиме SStack поддерживается автоматическое формирование и отправка ASK-пакетов подтверждений, их повторная передача и отслеживание таймаутов. Безопасность данных обеспечивается встроенным блоком AES-шифрования с ключами длиной 128 бит.

В схему включения SPIRIT1 входит лишь несколько развязывающих конденсаторов по питанию, фильтры на приемную и передающую части, а в случае ис-

пользования встроенного импульсного преобразователя питания дополнительно потребуется внешняя индуктивность и пара фильтрующих конденсаторов (рисунок 3).

Взаимодействие с хост-контроллером обеспечивается SPI-интерфейсом и набором линий ввода-вывода, с помощью которых можно реализовать следующий функционал:

- формирование сигналов прерываний;
- отображение состояния;
- подачу команд управления;
- ввод/вывод данных в режиме прямого приема или передачи;
- выход датчика температуры;
- входы/выходы опорных тактовых сигналов.
- включение/выключение трансивера.

Для диапазонов частот 433 и 868 МГц компания STMicroelectronics предлагает согласующие трансформаторы и фильтры в одном корпусе (*Balun*): **BALF-SPI-02D3** и **BALF-SPI-01D3** [3, 4]. Они предназначены для фильтрации гармоник и согласования комплексного импеданса выходного каскада трансивера SPIRIT1 с антенной с волновым сопротивлением 50 Ом. Выполненные в виде миниатюрных SMD-компонентов с четырьмя точками подключения, они заменяют сложную цепочку из 15 дис-

cretных LC-элементов. SMD-фильтры, с одной стороны, решают проблемы со сложностями трассировки СВЧ-части, с другой стороны — позволяют существенно сэкономить место на плате (размер микросхемы всего 2,0x1,4 мм).

SPIRIT1 ориентирован на применение в устройствах с батарейным питанием. Подсистема питания SPIRIT1 включает в себя высокоэффективный встроенный импульсный преобразователь питания и линейный стабилизатор. Диапазон рабочих напряжений — 1,8...3,6 В, ток потребления в режиме приема — порядка 9 мА (при работе в диапазоне 433 МГц и скорости передачи данных 38,4 кбит/с).

Энергопотребление в режимах, в которых не задействована радиочастотная часть прибора — менее 1 мкА, в режимах приема или передачи — 9...23 мА (рисунок 2).

Среда разработки для Spirit1

Платформенно-независимая библиотека SPIRIT1 SW Library упрощает работу программиста с приемопередатчиком — библиотека разбита на модули, отвечающие за взаимодействие с определенным функциональным блоком устройства, каждая API-команда соответствует набору низкоуровневых операций по настройке SPIRIT1 [5] (рисунок 3).

Для разработки приложений, использующих беспроводной интерфейс на базе SPIRIT1, компания STMicroelectronics предлагает пакеты разработок **SPIRIT1 SDK Suite** и **SPIRIT1 WM-BUS Suite**.

SPIRIT1 SDK Suite включает в себя документацию, низкоуровневые драйверы для отладочных плат, библиотеки низкоуровневого управления SPIRIT1, примеры приложений, предварительно скомпилированные образы демонстрационных программ. Структура SPIRIT1 SDK Suite представлена на рисунке 4.

В поставку SPIRIT1 Development kit входят документация, программные компоненты и библиотеки (рисунок 5):

- библиотека функций для работы со SPIRIT1;
- описание библиотек в виде chm-файлов;
- SPIRIT1 Wireless M-BUS Library;
- примеры приложений;
- примеры Wireless M-BUS приложений для SPIRIT1;
- библиотека SdkEval для контроллеров семейства STM32L;
- графическая оболочка SPIRIT1 DK GUI для настройки параметров радиочасти SPIRIT1;
- графическая оболочка SPIRIT1 Wireless-MBUS GUI для демонстрационного приложения концентратор Wireless-MBUS;
- руководство пользователя SPIRIT1 Development Kit User Manual;



- SpiritCommands – функции и макросы для управления логикой устройства, например, SpiritCmdStrobeTx(),

качества связи;



- **SpiritRadio** — набор функций для управления аналоговой и цифровой частью приемопередатчика;
- **SpiritTimer** — конфигурирование встроенных таймеров SPIRIT1, например, `SpiritTimerSetRxTimeoutMs(float fDesiredMsec)` — установка времени ожидания прихода пакета, `SpiritTimerSetWakeUpTimerMs(float fDesiredMsec)` — задание времени, через которое SPIRIT1 выйдет из режима пониженного энергопотребления.

Примеры приложений

Путь «...\STMicronics\SPIRIT1 DK_1.0.7\Firmware\SPIRIT1_Library_Project\Application\examples\» содержит несколько примеров приложений:

- **BasicGeneric**. Данный пример показывает, как настроить один из узлов в качестве приемника, а второй — в качестве передатчика пакета данных. Проверяется также корректность его доставки.

- **BasicPktMonitoring**. В данный пример входят файлы с кодами приемника, передатчика и модуль, состоящий из функций, вызываемых обеими программами. Пользователь может выбрать один из четырех режимов работы узлов, а также количество байт полезной нагрузки пакета непосредственно в ходе выполнения программы.

- **BasicPktTest**. Приложение, построенное по принципу «ведущий-ведомый». Ведущий узел получает от пользователя команды на начало/завершение теста. При старте ведомому передается стартовый пакет, после чего начинается их непрерывная передача. Количество переданных и полученных пакетов подсчитывается, отображается текущее значение RSSI, и после получения стоп-пакета подсчитывается значение PER.

- **CsmaGeneric**. Данное приложение показывает, каким образом сконфигурировать CSMA-протокол для корректного предотвращения коллизий. В пример входят три программы, две из которых - `SDK_Csma_A` и `SDK_Csma_B`, — работают согласно логике CSMA — передают пакеты и ожидают некоторое время перед началом следующей передачи. `SDK_Csma_TxCW` передает поток битов без всякого контроля за состоянием канала.

- **EncryptionGeneric**. Важной составляющей любого реального беспроводного приложения является обеспечение безопасности передаваемых данных. Пример `EncryptionGeneric` демонстрирует использование AES-модуля — поочередную передачу блока данных в 16 байт между двумя узлами с шифрованием/дешифрованием и модификацией. AES-ключ заранее известен обоим узлам.

- **FifoHandler**. Один из узлов сконфигурирован как приемник, второй — как передатчик. При каждой транзакции длина пакета увеличивается. Таким образом, со временем длина пакета станет больше 96 байт (максимальный размер FIFO), и для корректной работы приемному и передающему узлам необходимо активно работать с чтением и передачей данных на SPIRIT1 во избежание их потери, а также с настройкой порогов срабатывания AE FIFO IRQ.

- **LdcrGeneric**. Демонстрируются возможности встроенного модуля LDCR — приемопередатчик в данном случае автоматически управляет стробом на передачу по мере заполнения FIFO-передатчика.

- **PingPong**. Практически классический пример для беспроводных узлов — поочередная передача пакета данных между ними. Каждый из узлов поочередно выполняет роли приемника и передатчика.

- **RadioGeneric**. Пример, показывающий, как сконфигурировать узел в режиме приемника или передатчика. В состав примера входят набор функций, специфичный для приемника, для передатчика, и модуль с общими для них функциями.

- **StackGeneric**. Демонстрация работы приемника и передатчика с пакетами типа `STack`.

- **StackLlp**. Модернизация предыдущего примера с функциями автоматического подтверждения и повторной передачи.

- **WirelessTerminal**. Беспроводной терминал представляет собой два приложения — приемник и передатчик. Передатчик получает байты от виртуального COM-порта и формирует из них пакеты формата Spirit Basic. Формирование пакета завершается при встрече символа '\r' или по приему 90 байт. В ходе работы приложения при подключенных отладочных комплектах и запущенной SDK пользователь может наблюдать на приемной стороне приходящие строки.

- **WMBusGeneric**. Простой пример с приемником и передатчиком, работающими с пакетами MBus.

- **WMBusStd**. Пример работы с протоколом WMBus, при котором задействованы физический и канальный уровни, определенные в стандарте. Согласно стандарту, конфигурация радиочасти полностью управляется пользователем.

BasicGeneric — «разбор полетов»

Рассмотрим простой пример `BasicGeneric`, являющийся во многом показательным — в нем задействованы базовые функции настройки радиоканала, а также приема и передачи данных. Код достаточно прост и читабелен (рассматриваем исходный код передатчика), причем следует обратить внимание, что пример `BasicGeneric` может работать как на контроллерах **STM8L**, так и на **STM32L**.

Вначале идет секция подключений библиотек SPIRIT1, функций для работы с SDK (в частности, для работы с виртуальным последовательным портом).

```

/* Includes -----
-----*/
#include «SDK_EVAL_Config.h»
#include «SPIRIT_Config.h»//включает набор заголовочных файлов для различных регистров трансивера. Каждый файл содержит описание всех битовых полей в регистрах в виде макроопределений (используются в качестве параметров функций при управлении SPIRIT1). Рекомендуется просмотреть содержимое этих файлов, так как в них содержится множество полезных комментариев.
#include «SDK_Configuration_Common.h»//. Здесь задаются абсолютные значения параметров передатчика. В данном проекте — частота несущей — 868.000 МГц, скорость — 38400 бит/с, девиация — 20 кГц и так далее. При инициализации структуры типа SRadioInit можно задать свои значения параметров передатчика, отличные от базового примера.
#include «SPIRIT_SDK_Application.h»
#ifdef STM8L
#include «STM8L_Common.h»
#define XTAL_FREQUENCY 50000000//рабочая частота кварцевого резонатора. Она должна соответствовать номиналу реально запаянного кварца на плате разрабатываемого устройства.
#define SPIRIT_VERSION SPIRIT_VERSION_3_0
#define RANGE_TYPE RANGE_EXT_NONE //RANGE_EXT_SKYWORKS
#elif SDK
#define USE_VCOM
#include «SDK_Common.h»
#include «SPIRIT_SDK_EEPROM.h»
#endif
#ifdef USE_VCOM
#include «SDK_EVAL_VC_General.h»
#endif

```

Далее находится блок инициализации структур данных для работы SPIRIT1 — задание параметров радиоканала, определение типа пакетов и схемы адресации, используемой в данном случае. Шаблоны структур данных задаются в SPIRIT Library. В файле-справке **SPIRIT1-Library.chm** можно посмотреть описание и определение любой из

функций и структур SPIRIT1 Library, а также — их параметров.

В структуре **xRadioInit** задается значение компенсации частоты используемого кварцевого резонатора, частотный диапазон, частотное расстояние между каналами, номер текущего канала, тип модуляции, битовая скорость в канале, девиация частоты в канале и полоса пропускания канала.

В отличие от многих предлагаемых библиотек и стеков сетевых протоколов, в библиотеке SPIRIT Library данные для управляющих параметрами приемопередатчика структур задаются в привычном читабельном виде, а не как абстрактный набор значений для регистров.

```
/**
 * @brief Radio structure fitting
 */
SRadioInit xRadioInit = {
    XTAL_OFFSET_PPM, //компенсация погрешности кварцевого резонатора (в долях ppm) - весьма полезная опция, особенно если по каким-либо причинам на узлах используются резонаторы различных производителей.
    BASE_FREQUENCY, //абсолютное значение рабочей частоты( фактически - частоты нулевого канала), МГц. Может быть значением из диапазонов 300...348, 387...470 или 779...915 МГц.
    CHANNEL_SPACE, //расстояние по частоте между каналами, Гц - рассчитывается как N * FREQUENCY_STEPS, где FREQUENCY_STEPS = F_Xo/2^15. Значение может находиться в диапазоне: [0, F_Xo/2^15*255] Гц.
    CHANNEL_NUMBER, //номер канала. Умножается на канальное расстояние и прибавляется к базовой частоте, используется для задания частоты синтезатора.
    MODULATION_SELECT, //тип модуляции сигнала (см. SPIRIT1-Library.chm для доступных значений параметра).
    DATARATE, //битовая скорость передачи по радиоканалу, бит/с. Значение можно задавать в диапазоне 100...500000.
    FREQ_DEVIATION, //девиация частоты, Гц. Вычисляется как F_Xo*8/2^18, F_Xo*7680/2^18.
    BANDWIDTH, //полоса пропускания канального фильтра, Гц. Значение: 100...800100.
};
```

При настройке типа пакетов (в данном примере это Basic) в структуре **xBasicInit** указывается длина преамбулы, длина слова синхронизации, слово синхронизации, тип поля длины пакета, ширина поля длины пакета, режим проверки контрольной суммы, длина поля контрольной суммы, поле разрешения посылки адреса получателя, разрешение/запрет FEC, разрешение/запрет предварительной обработки данных (так называемое «отбеливание») соответственно.

```
/**
 * @brief Packet Basic structure fitting
 */
PktBasicInit xBasicInit={
    PREAMBLE_LENGTH,
    SYNC_LENGTH,
    SYNC_WORD,
    LENGTH_TYPE,
    LENGTH_WIDTH,
    CRC_MODE,
    CONTROL_LENGTH,
    EN_ADDRESS,
    EN_FEC,
    EN_WHITENING
};
```

Следом определяются значения структуры **xAddressInit** — настройка адресации, используемой в данном случае — по сути, задается режим разбора входных пакетов: разрешается/запрещается прием пакетов только со своим адресом в поле адреса назначения, задается собственный адрес узла, настраивается режим фильтрации групповых пакетов, задается групповой адрес узла, настраивается режим фильтрации широковещательных пакетов, задается широковещательный адрес узла.

```
/**
 * @brief Address structure fitting
 */
PktBasicAddressesInit xAddressInit={
    EN_FILT_MY_ADDRESS,
    MY_ADDRESS,
    EN_FILT_MULTICAST_ADDRESS,
    MULTICAST_ADDRESS,
    EN_FILT_BROADCAST_ADDRESS,
    BROADCAST_ADDRESS
};
```

В структуре **xGpioIRQ** определяем использование линий ввода-вывода SPIRIT1: третий вывод GPIO, режим активного выхода, установку уровня по приходу данных.

```
/**
 * @brief GPIO structure fitting
 */
SGpioInit xGpioIRQ={
    SPIRIT_GPIO_3,
    SPIRIT_GPIO_MODE_DIGITAL_OUTPUT_LP,
    SPIRIT_GPIO_DIG_OUT_IRQ
};
```

Определяем уровень для флага завершения передачи.

```
/**
 * @brief Declare the Tx done flag
 */
FlagStatus xTxDoneFlag = RESET;
```

Инициализируем структуру для отображения статуса прерываний.

```
/**
 * @brief IRQ status struct declaration
 */
SpiritIrqs xIrqStatus;
```

Буфер с данными для передачи — пока просто последовательность байт с числами 1...20.

```
/**
 * @brief Tx buffer declaration: data to transmit
 */
uint8_t vectcTxBuff[20]={1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20};
```

Прописываем функции — обработчики прерываний. В данном случае обрабатываем прерывание по окончании передачи пакета. Проверяем, действительно ли это то прерывание, которое необходимо, устанавливаем флаг окончания передачи, «моргаем» светодиодом на отладочной плате и сбрасываем бит индикации прерывания, разрешая тем самым обнаружение этого прерывания в следующий раз.

```
/**
```

```

* @brief This function handles External interrupt
request (associated with Spirit GPIO 3).
* @param None
* @retval None
*/

#ifdef STM8L
  INTERRUPT_HANDLER(M2S_GPIO_3_EXTI_IRQ_
HANDLER,12)
#elif SDK
  void M2S_GPIO_3_EXTI_IRQ_HANDLER(void)
#endif
{
  /* Check the flag status of EXTI line */
  if(EXTI_GetITStatus(M2S_GPIO_3_EXTI_LINE))
  {
    /* Check the SPIRIT TX_DATA_SENT IRQ flag */
    if(SpiritIrqCheckFlag(TX_DATA_SENT))
    {
      /* set the tx_done_flag to manage the event in
the main() */
      xTxDoneFlag = SET;

      /* toggle LED1 */
      SdkEvalLedToggle(LED1);
    }

    /* Clear the EXTI line flag */
    EXTI_ClearITPendingBit(M2S_GPIO_3_EXTI_LINE);
  }
}

```

Основной алгоритм работы приложения задается в функции **main**.

```

void main (void)
{

```

Вначале последовательно инициализируется поддержка работы с SDK.

```

  SDK_SYSTEM_CONFIG();

#ifdef USE_VCOM
  SdkEvalVCInit();
  while(bDeviceState != CONFIGURED);
#endif

```

Начинается инициализация модуля SPIRIT1 — включение и определение версии дочерней платы с модулем.

```

  /* Spirit ON */
  SpiritEnterShutdown();
  SpiritExitShutdown();

#ifdef STM8L
  SpiritRadioSetXtalFrequency(XTAL_FREQUENCY);
  SpiritGeneralSetSpiritVersion(SPIRIT_VERSION);
#elif SDK
  SpiritManagementIdentificationRFBBoard();

  /* Initialize the signals to drive the range
extender application board */
  SpiritManagementRangeExtInit();
#endif

```

Настройка линий GPIO. Настраиваем линии контроллера материнской платы как входную и как источник внеш-

него прерывания — в данном примере на эту линию будет поступать сигнал SPIRIT1, оповещающий об окончании отправки пакета.

```

  SdkEvalM2SGpioInit(M2S_GPIO_3,M2S_MODE_EXTI_
IN);

```

Настраиваем выводы SPIRIT1 на выставление уровня при окончании передачи пакета.

```

  /* Spirit IRQ config */
  SpiritGpioInit(&xGpioIRQ);

```

Настройка разрешений прерывания для контроллера.

```

#ifdef STM8L
  enableInterrupts();
#elif SDK
  SdkEvalM2SGpioInterruptCmd(M2S_
GPIO_3,0x0F,0x0F,ENABLE);
#endif

```

Настройка радио — инициализация параметров приемопередатчика, установка выходной мощности, установка режима обработки пакетов, настройки прерываний SPIRIT1.

```

  /* Spirit Radio config */
  SpiritRadioInit(&xRadioInit);
  SdkEvalLedOn(LED1);

```

```

  /* Spirit Radio set power */
  SpiritRadioSetPALevelDbm(0,POWER_DBM); //зада-
ем выходную мощность усилителя, равную 0 дБм (или
1 мВт).

```

```

  SpiritRadioSetPALevelMaxIndex(0);

```

```

  /* Spirit Packet config */
  SpiritPktBasicInit(&xBasicInit); //задаем режим
работы блока обработки пакетов — используем пакеты
типа Basic.

```

```

  SpiritPktBasicAddressesInit(&xAddressInit);

```

```

  /* Spirit IRQs enable */
  SpiritIrqDeInit(NULL);
  SpiritIrq(TX_DATA_SENT , S_ENABLE);

```

Помимо задания параметров обработки пакетов через структуры, почти каждый из параметров можно установить отдельно, например, величину полезной нагрузки пакетов, адрес получателя.

```

  /* payload length config */
  SpiritPktBasicSetPayloadLength(20);

  /* destination address */
  SpiritPktBasicSetDestinationAddress(0x35);

  /* IRQ registers blanking */
  SpiritIrqClearStatus();

```

После всех настроек переходим к выполнению основного цикла работы, оформленного, как бесконечный цикл **while**.

В случае, если задействован виртуальный COM-порт, передаваемые данные дублируются на него. Перед передачей очищается передающий FIFO-буфер, содержимое буфера передаваемых данных **vectcTxBuff** загружается в FIFO,

посылается команда на передачу, ждем установления флага завершения передачи, который устанавливается нами в обработчике прерывания окончания передачи. По установлению флага после паузы в 500 мс цикл повторяется.

```
/* infinite loop */
while (1){

#ifdef USE_VCOM
printf(«A data to transmit: [«);

for(uint8_t i=0 ; i<20 ; i++)
printf(«%d «, vectcTxBuff[i]);
printf(«]\n\r»);
#endif

/* fit the TX FIFO */
SpiritCmdStrobeFlushTxFifo();
SpiritSpiWriteLinearFifo(20, vectcTxBuff);

/* send the TX command */
SpiritCmdStrobeTx();

/* wait for TX done */
while(!xTxDoneFlag);
xTxDoneFlag = RESET;

/* pause between two transmissions */
SdkDelayMs(500);

}
}

#ifdef USE_FULL_ASSERT//уведомление об ошибках
в параметрах.

/**
 * @brief Reports the name of the source file and
the source line number
 * where the assert_param error has occurred.
 * @param file: pointer to the source file name
 * @param line: assert_param error line source
number
 * @retval : None
 */
void assert_failed(uint8_t* file, uint32_t line)
{
/* User can add his own implementation to report
the file name and line number */
printf(«Wrong parameters value: file %s on line
%d\r\n», file, line);

/* Infinite loop */
while (1)
{
}
}
#endif
```

Код программы приемника также достаточно прост — аналогично определяются структуры данных для радио и для обработчика пакетов. Перед инициализацией радио задается собственный адрес.

```
/* Addresses configuration parameters */
#undef MY_ADDRESS
#define MY_ADDRESS 0x35
#undef DESTINATION_ADDRESS
#define DESTINATION_ADDRESS 0x34
```

Для принятых данных выделяется массив размером 96 байт — полный размер приемного FIFO-буфера.

```
/**
 * @brief Rx buffer declaration: how to store
the received data
 */
uint8_t vectcRxBuff[96], cRxData;
```

Существенные отличия в коде относительно передатчика — в функции-обработчике прерывания, так как практически вся работа приложения-приемника осуществляется именно этой функцией. В ней проверяется тип прерывания и готовность данных, данные считываются в приемный буфер, FIFO-буфер очищается, данные дублируются в виртуальный COM-порт, если он задействован.

```
#ifdef STM8L
INTERRUPT_HANDLER(M2S_GPIO_3_EXTI_IRQ_
HANDLER,12)
#elif SDK
void M2S_GPIO_3_EXTI_IRQ_HANDLER(void)
#endif
{
/* Check the flag status of EXTI line */
if(EXTI_GetITStatus(M2S_GPIO_3_EXTI_LINE)){

/* Get the IRQ status */
SpiritIrqGetStatus(&xIrqStatus);

/* Check the SPIRIT RX_DATA_DISC IRQ flag */
if(xIrqStatus.IRQ_RX_DATA_DISC)
{
/* toggle LED1 */
SdkEvalLedToggle(LED1);

/* RX command - to ensure the device will be
ready for the next reception */
SpiritCmdStrobeRx();//очищаем приемный FIFO-
буфер.

}

/* Check the SPIRIT RX_DATA_READY IRQ flag */
if(xIrqStatus.IRQ_RX_DATA_READY)
{
/* Get the RX FIFO size */
cRxData= SpiritLinearFifoReadNumElementsRxFifo();//
получаем количество данных в FIFO.
```



Рис. 6. Отладочный набор STEVAL-IKR002Vx

```

/* Read the RX FIFO */
SpiritSpiReadLinearFifo(cRxData, vectcRxBuff); //
считываем данные FIFO-буфера.

/* Flush the RX FIFO */
SpiritCmdStrobeFlushRxFifo(); //очищаем FIFO.

/* A simple way to check if the received data
sequence is correct (in this case LED5 will toggle)
*/
{
    SpiritBool xCorrect=S_TRUE;

    for(uint8_t i=0 ; i<cRxData ; i++)
    if(vectcRxBuff[i] != i+1)
    xCorrect=S_FALSE;

    if(xCorrect) {
        /* toggle LED5 */
        SdkEvalLedToggle(LED2);
#ifdef USE_VCOM
        printf(«DATA CORRECT\r\n»);
#endif
    }
}

/* RX command - to ensure the device will be
ready for the next reception */
SpiritCmdStrobeRx(); //запускаем прием данных
модулем.

#ifdef USE_VCOM
/* print the received data */
printf(«B data received: [<»);
for(uint8_t i=0 ; i<cRxData ; i++)
printf(«%d <, vectcRxBuff[i]);
printf(«]\r\n»);
#endif
}

/* Clear the EXTI line flag */
EXTI_ClearITPendingBit(M2S_GPIO_3_EXTI_LINE);

}
}

```

Код основной функции так же, как и в случае передатчика, содержит инициализацию SPIRIT1, настройку прерываний контроллера и SPIRIT1. Дополнительно настраиваются интервалы ожидания пакета и условия отбрасывания пакета — в частности, в том случае, если качество связи (фактически — уровень принимаемого сигнала) падает ниже определенного порога. После всех процедур инициализации приемник входит в пустой бесконечный цикл. Как указывалось выше, всю основную работу выполняет функция-обработчик прерывания по приему пакета. В связи с этим, например, в основной пустой цикл можно добавить функцию перехода в один из режимов пониженного энергопотребления.

```

void main (void)
{
    //инициализируем отладочный набор.
    SDK_SYSTEM_CONFIG();

#ifdef USE_VCOM
    /* VC config */
    SdkEvalVCInit();
    while(bDeviceState != CONFIGURED);
#endif
}

```

```

//включаем SPIRIT1.
/* Spirit ON */
SpiritEnterShutdown();
SpiritExitShutdown();

//устанавливаем.
#ifdef STM8L
    SpiritRadioSetXtalFrequency(XTAL_FREQUENCY);
    SpiritGeneralSetSpiritVersion(SPIRIT_VERSION);

#elif SDK
    SpiritManagementIdentificationRFBBoard();

    /* Initialize the signals to drive the range
    extender application board */
    SpiritManagementRangeExtInit();
#endif

//настройка линий ввода-вывода контроллера и
SPIRIT1.
    SdkEvalM2SGpioInit(M2S_GPIO_3,M2S_MODE_EXTI_
    IN);

    /* Spirit IRQ config */
    SpiritGpioInit(&xGpioIRQ);

//разрешаем прерывания на управляющем контрол-
лере.
#ifdef STM8L
    enableInterrupts();
#elif SDK
        SdkEvalM2SGpioInterruptCmd(M2S_
        GPIO_3,0x0F,0x0F,ENABLE);
#endif

//инициализируем радио.
/* Spirit Radio config */
SpiritRadioInit(&xRadioInit);
SdkEvalLedOn(LED1);

//задаем режим работы с пакетами данных.
/* Spirit Packet config */
SpiritPktBasicInit(&xBasicInit);
SpiritPktBasicAddressesInit(&xAddressInit);

//настраиваем прерывания на SPIRIT1.
/* Spirit IRQs enable */
SpiritIrqDeInit(&xIrqStatus);
SpiritIrq(RX_DATA_DISC,S_ENABLE);
SpiritIrq(RX_DATA_READY,S_ENABLE);

//настраиваем длину пакетов.
/* payload length config */
SpiritPktBasicSetPayloadLength(20);

//задаем порог и разрешаем контроль качества
сигнала (SQI) во время приема пакета.
/* enable SQI check */
SpiritQiSetSqiThreshold(SQI_TH_0);
SpiritQiSqiCheck(S_ENABLE);

//задаем время ожидания пакета.
/* RX timeout config */
SpiritTimerSetRxTimeoutMs(1000.0);
    SpiritTimerSetRxTimeoutStopCondition(SQI_
    ABOVE_THRESHOLD);

//очищаем регистры прерываний SPIRIT1.

```



```

/* IRQ registers blanking */
SpiritIrqClearStatus();

//запускаем прием данных.
/* RX command */
SpiritCmdStrobeRx();

//переходим в пустой бесконеч-
ный цикл.
/* infinite loop */
while (1){
}

}

```

Отладочные наборы STeVAL-IKR002Vx

Для старта разработки можно использовать отладочный набор из серии **STeVAL-IKR002Vx**. Он является универсальным отладочным набором с 32-битным микроконтроллером STM32L на борту.

В отладочные наборы **STeVAL-IKR002Vx** входят две материнские и две дочерние платы с трансивером SPIRIT1, которые определяют конкретный частотный диапазон набора (169, 433, 868, 915 МГц). В частности, для диапазонов 868 МГц предназначен набор **STeVAL-IKR002V4**.

Каждая материнская плата имеет USB-коннектор для подключения к персональному компьютеру, взаимо-

действия с пользовательским GUI и обновления прошивки. Интерфейс JTAG позволяет прошивать и отлаживать программное обеспечение контроллера на материнской плате.

Подключение дочерней платы с приемопередатчиком SPIRIT1 к материнской плате осуществляется двумя разъемами — J6 и J7, которые соединяются с разъемами J4 и J5 на плате с управляющим контроллером. Таким образом, управление приемопередатчиком осуществляется посредством последовательного интерфейса SPI и дополнительных линий GPIO0-GPIO3, подключенных к выводам контроллера PC7 — PC10 (см. документы Spirit1_RF_v4.pdf и SCH_RF_MOTHERBOARD_v3.pdf из директории «...\STMicroelectronics\SPIRIT1_DK_1.0.7\Documents\SPIRIT1\DevKit\STeVAL-IKR002Vx\» установленной SPIRIT1 SDK). Питание и принудительный сброс SPIRIT1 осуществляется посредством линий, подключенных к разъему J5 материнской платы (рисунки 7а и 7б).

Заключение

Несмотря на тенденцию перехода на однокристальные системы, применение связки «микроконтроллер + трансивер SPIRIT1» достаточно актуально, поскольку даже на сегодняшний день количество однокристальных

систем, работающих в субгигагерцевом диапазоне, относительно невелико. Кроме этого, встроенная поддержка пакетов WMBus делает SPIRIT1 перспективным решением для перевода существующих систем автоматизации, многие из которых работают по протоколу MBus, на беспроводной режим. Более того, многие популярные SCADA-системы работают, в том числе, и с MBus-протоколом.

Возможности и ресурсы, предоставляемые SPIRIT1 SDK, позволяют достаточно легко воплотить идею своего приложения на практике. В отличие от многих других подобных случаев, структура исходных текстов примеров читабельна и прозрачна для понимания, что немаловажно при освоении новой для разработчика базы.

Литература

1. SPIRIT1 Low data rate, low power Sub 1GHz transceiver — STMicroelectronics. // http://www.st.com/web/en/catalog/sense_power/FM1968/CL1976/SC1845/PF253167

2. Михаил Чигарев. SPIRIT1 — дух, объединяющий микроконтроллеры ST в беспроводную сеть. Новости Электроники №8/2013, <http://www.compel.ru/lib/ne/2013/8/4-spirit1-duh-obedinyayushhiy-mikrokontrolleryi-st-v-besprovodnuyu-set/>.

3. BALF-SPI-02D3 50Ω Conjugate match to SPIRIT1 433MHz Balun Transformer & Integrated Filtering — STMicroelectronics. // http://www.st.com/web/en/catalog/sense_power/FM139/CL1806/SC1508/PF261529

4. BALF-SPI-01D3 50Ω nominal input conjugate match balun to SPIRIT1, with integrated harmonic filter — STMicroelectronics. // http://www.st.com/web/en/catalog/sense_power/FM139/CL1806/SC1508/PF259177.

5. STSW-CONNECT009 Setup for SPIRIT1 design kit — STMicroelectronics. // <http://www.st.com/web/en/catalog/tools/PF258102>.



SPIRIT1

life.augmented

простой в разработке
универсальный
трансивер 433/868 МГц



- Готовые библиотеки для STM8 и STM32
- Совместимость с трансиверами других производителей
- Поддержка Wireless M-BUS

- Простое согласование с антенной
- Выходная мощность: до +16 дБм
- Дальность связи: более 10 км
- Версия STS1TX — недорогой передатчик

Поддержка разработчиков:

E-mail: st@compel.ru

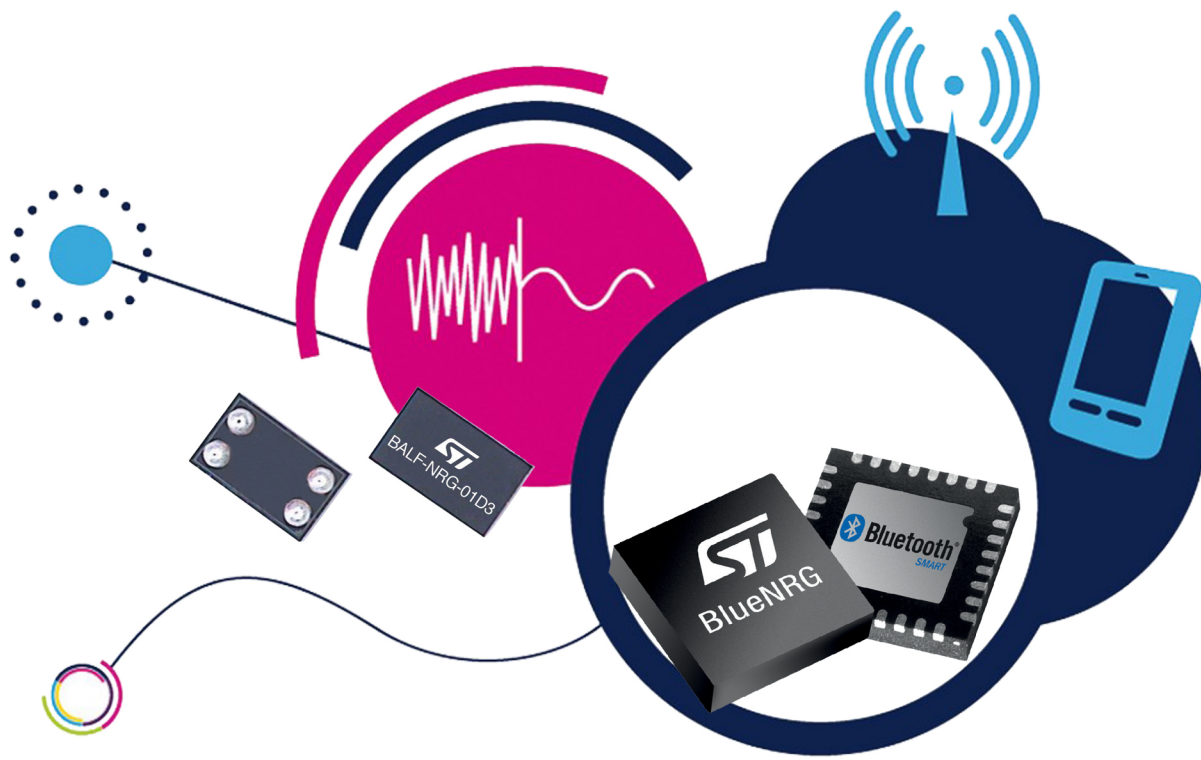
www.compel.ru/projects-support



Компэл

www.compel.ru

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



- Встроенный стек протоколов BLE 4.0 и 4.1 (BlueNRG-MS)
- Библиотека стандартных профилей для STM32 и STM8
- Поддерживается платформой Nucleo (Arduino shield)
- Минимальное количество внешних компонентов
- Балун BALF-NRF01D3 для простого согласования с антенной
- Встроенный DC/DC-преобразователь снижает пиковый ток от батареи
- Приложения для iTunes и Google Play (AppName: BlueNRG)
- Windows-оболочка для прямого управления чипом

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Напряжение питания: 2,0...3,6 В • Максимальный ток потребления при передаче: 8,2 мА (0 дБм/3 В) • Минимальный ток потребления при работе стека BLE: 1,7 мкА • Повышенная выходная мощность: +8 дБм (регулируемая) • Бюджет канала связи: до 96 дБм | <ul style="list-style-type: none"> • Встроенный АЦП и криптографический AES-сопроцессор • SPI-интерфейс с хост-процессором (HCI) • Встроенные генераторы на 16/32 МГц и 32 кГц под внешний резонатор • Рабочий температурный диапазон: -40...85°C • Компактный корпус QFN32 5×5 мм для поверхностного монтажа |
|--|--|