

Интегральные микросхемы для приборов учета электроэнергии

Высокотехнологичная линейка от отечественного производителя

Память Flash-типа



K1636PP4FI

ПЗУ / 16 Мбит / 75 нс
/ SPI / QFN64

Микроконтроллер



MDR1206FI, AFI

RISC-V BM-310 / 48МГц
/ Σ АЦП / крипто / QFN88

Приемопередатчик



K5559IH10xx

RS-485/RS-422 / до 2,5 Мбит/с
/ SO-8

МИЛУР® 107S

А=5000 имп./кварч
В=20000 имп./кварч



MDR2306FI

ПЗУ / 64 Мбит /
SPI/QSPI до 80 МГц
DFN8

АЦП

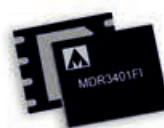
Сделано в России

ГОСТ 31818.11
ГОСТ 31818.12
ГОСТ 31818.13
ГОСТ 31818.14
ГОСТ 31818.15
ГОСТ 31818.16
ГОСТ 31818.17
ГОСТ 31818.18
ГОСТ 31818.19
ГОСТ 31818.20
ГОСТ 31818.21
ГОСТ 31818.22
ГОСТ 31818.23
ГОСТ 31818.24
ГОСТ 31818.25
ГОСТ 31818.26
ГОСТ 31818.27
ГОСТ 31818.28
ГОСТ 31818.29
ГОСТ 31818.30
ГОСТ 31818.31
ГОСТ 31818.32
ГОСТ 31818.33
ГОСТ 31818.34
ГОСТ 31818.35
ГОСТ 31818.36
ГОСТ 31818.37
ГОСТ 31818.38
ГОСТ 31818.39
ГОСТ 31818.40
ГОСТ 31818.41
ГОСТ 31818.42
ГОСТ 31818.43
ГОСТ 31818.44
ГОСТ 31818.45
ГОСТ 31818.46
ГОСТ 31818.47
ГОСТ 31818.48
ГОСТ 31818.49
ГОСТ 31818.50
ГОСТ 31818.51
ГОСТ 31818.52
ГОСТ 31818.53
ГОСТ 31818.54
ГОСТ 31818.55
ГОСТ 31818.56
ГОСТ 31818.57
ГОСТ 31818.58
ГОСТ 31818.59
ГОСТ 31818.60
ГОСТ 31818.61
ГОСТ 31818.62
ГОСТ 31818.63
ГОСТ 31818.64
ГОСТ 31818.65
ГОСТ 31818.66
ГОСТ 31818.67
ГОСТ 31818.68
ГОСТ 31818.69
ГОСТ 31818.70
ГОСТ 31818.71
ГОСТ 31818.72
ГОСТ 31818.73
ГОСТ 31818.74
ГОСТ 31818.75
ГОСТ 31818.76
ГОСТ 31818.77
ГОСТ 31818.78
ГОСТ 31818.79
ГОСТ 31818.80
ГОСТ 31818.81
ГОСТ 31818.82
ГОСТ 31818.83
ГОСТ 31818.84
ГОСТ 31818.85
ГОСТ 31818.86
ГОСТ 31818.87
ГОСТ 31818.88
ГОСТ 31818.89
ГОСТ 31818.90
ГОСТ 31818.91
ГОСТ 31818.92
ГОСТ 31818.93
ГОСТ 31818.94
ГОСТ 31818.95
ГОСТ 31818.96
ГОСТ 31818.97
ГОСТ 31818.98
ГОСТ 31818.99
ГОСТ 31818.100



MDR5103FI

Σ АЦП / ISO +PWR / DFN18



MDR3401FI

RS-485/RS-422
/ до 30 Мбит/с / DFN8



ГК «Миландр»: перспективные интегральные микросхемы и приборы учета электроэнергии на их основе как пример успешного импортозамещения на российском рынке



Интегральные микросхемы для приборов учета потребляемой электроэнергии

Современный умный счетчик электроэнергии – это в первую очередь интегральные схемы, на которых он работает. Именно они определяют его основные функциональные и точностные характеристики. И несмотря на то что в конечной стоимости счетчика доля комплектующих не более 20%, из-за стоимости разработки схемотехнических решений и программного обеспечения именно используемые микросхемы определяют облик и конечную стоимость счетчика. Поэтому при создании новых приборов учета все разработчики в первую очередь уделяют особое внимание выбору микросхемы.

Микроконтроллер

АО «ПКК Миландр» уже более 10 лет выпускает микросхемы, ориентированные на применение в счетчиках электроэнергии (рис. 1). За это время было разработано несколько поколений микросхем, каждое из них учитывало все новые потребности и исправляло недостатки предыдущих решений, чтобы максимально адапти-

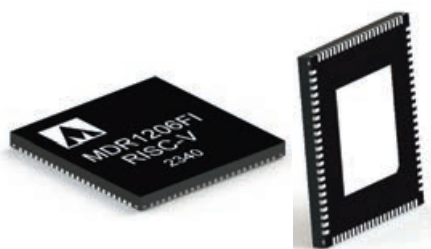


Рис. 1. Микросхема MDR1206FI в корпусе QFN88

роваться под новые требования к приборам учета.

Если взглянуть на типовую структуру счетчика электроэнергии, то фактически эта схема не изменялась уже несколько лет. Но дьявол всегда кроется в деталях. Отдельные, на первый взгляд несущественные требования становятся камнем преткновения при выборе микросхемы. И зачастую это приводит к тому, что в счетчик ставят два или даже три разных микроконтроллера.

При разработке нового поколения центрального микроконтроллера для счетчиков электроэнергии компания

в статье представлены аппаратные решения, разработанные группой российских компаний для учета электроэнергии: интегральные микросхемы и построенные на их базе счетчики электроэнергии. Подробно описаны их характеристики и возможности.

АО «ПКК Миландр», г. Москва, Зеленоград

«ПКК Миландр», благодаря многолетнему опыту, а также работе со многими потенциальными потребителями, смогла в одной микросхеме учесть все существующие и перспективные требования. Новый 32-разрядный микроконтроллер MDR1206 (рис. 2) был представлен основным компаниям в конце 2023 года.

Микроконтроллер со встроенной флеш-памятью программ построен на базе процессорного RISC-V-ядра BM-310S от российской компании CloudBEAR. Производство кристаллов освоено на двух независимых фабриках, что позволит обеспечить

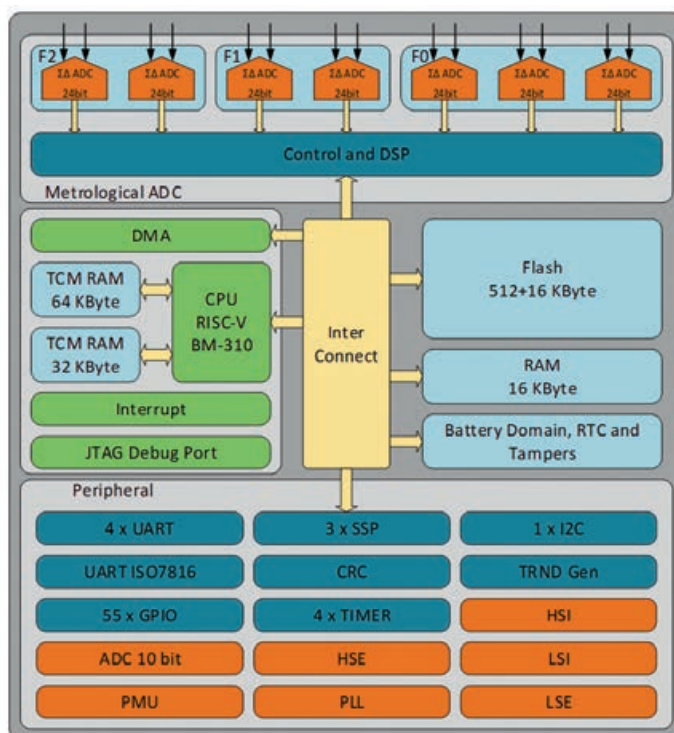


Рис. 2. Схема микроконтроллера MDR1206

выпуск микросхем в достаточных объемах. Микроконтроллер предназначен для использования в приборах учета потребляемой электрической энергии в одно- и трехфазных сетях с различными рабочими напряжениями.

Основные технические характеристики:

- ▶ система команд – RISC-V 32 бита;
- ▶ тактовая частота до 48 МГц (MDR1206FI), до 42 МГц (MDR1206AFI);
- ▶ внутренняя флеш-память $2 \times 256 + 2 \times 8$ кБ, ОЗУ 112 кБ;
- ▶ периферия $4 \times$ UART, $3 \times$ SSP, $1 \times$ I2C, $1 \times$ ISO7816;
- ▶ 24-разрядный $\Sigma\Delta$ АЦП (7 каналов); 10-разрядный АЦП (3 канала);
- ▶ температурный сенсор;
- ▶ часы реального времени;
- ▶ фиксация проникновения, ОЗУ криптографических ключей, генератор случайных чисел;
- ▶ число пользовательских выводов 55 GPIO;
- ▶ напряжение питания U_{cc} от 1,8 до 3,6 В;
- ▶ корпус QFN88 $10 \times 10 \times 0,75$ (0,4);
- ▶ диапазон рабочих температур $-50...+85$ °С.

Микросхема MDR1206 является усовершенствованием выпущенной в 2020 году микросхемы K1986BK025 (MDR32F02). Так, в этой микросхеме используется более новая версия процессорного ядра, что позволило более чем на 60% увеличить производительность (более 2,1 CoreMark/МГц, рис. 3).

Кроме того, в новом процессорном ядре реализованы специальные инструкции поддержки российской и иностранной криптографии. За счет реализации криптографических инструкций в системе команд RISC-V удалось отказаться от специализированных аппаратных криптоускорителей, что позволило сэкономить на размере кристалла и потреблении электроэнергии. Но при этом показатели производительности на криптографических задачах даже выросли.

Освободившееся от криптоускорителей место на кристалле позволило увеличить до 512 кБ объем энергонезависимой памяти программ, что обеспечивает достаточный запас в том числе для перспективных требований к будущим приборам учета. Например, в однофазном счетчике «МИР С-05», разработанном ООО «НПО МИР» (г. Омск), занято 300 кБ, а в счетчи-

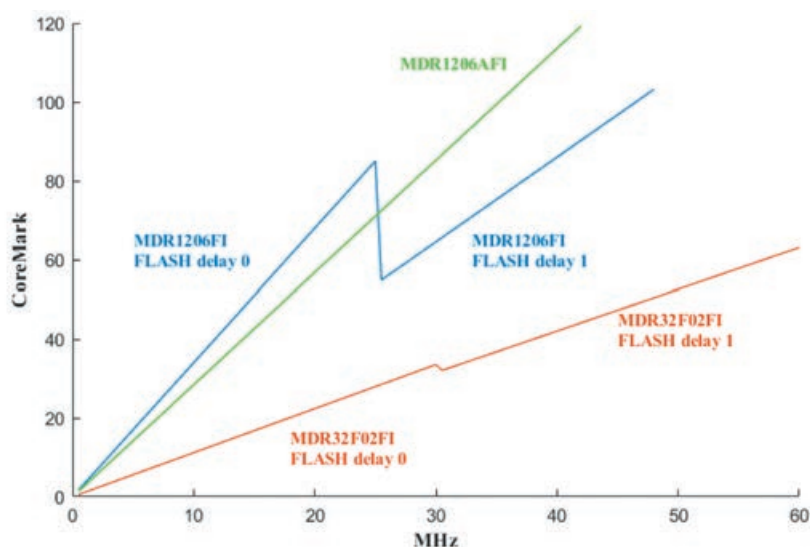


Рис. 3. Сравнение микросхем MDR1206 и MDR32F02 по производительности

ке «Милур 107S», разработанном ООО «Милур ИС» (г. Москва), занято 256 кБ.

Для расширения области применения новой микросхемы увеличен диапазон основного питания до 1,8...3,6 В. Также оптимизированы стартовые токи, что позволяет использовать микроконтроллер в приборах, построенных на базе токовой петли 4...20 мА. В микроконтроллере сохранены распиновка и тип корпуса для совместимости с микросхемой K1986BE025. Это позволяет в ранее разработанных приборах осуществить быструю миграцию решений на новый микроконтроллер.

Немаловажным элементом микроконтроллера является подсистема батарейного питания и часы реального времени. При отсутствии основного питания счетчик электроэнергии должен продолжать отсчитывать время, а также следить за датчиками проникновения. Эта функциональность возложена на специализированный блок батарейного домена, который при отключении питания продолжает рабо-

тать от отдельной, внешней батарейки. В этом же блоке расположены часы реального времени. В соответствии с требованиями погрешность их хода не должна превышать 5 с за сутки, что сложно осуществить без внешних часовых генераторов. Но в микросхеме MDR1206 используется блок температурной компенсации часов реального времени, который обеспечивает работу внешнего дешевого кварца в заданном допустимом диапазоне. Тем самым опять достигается снижение стоимости прибора в целом.

Достаточно серьезные улучшения были сделаны в блоке измерительного сигма-дельта АЦП, в частности, доработаны цифровые фильтры блока расчета показателей электроэнергии, добавлены усилители PGA в токовых каналах АЦП, введены дополнительные режимы для более удобной калибровки разброса внешних компонентов измерительного тракта, что позволило значительно повысить точностные характеристики. Также реализован механизм подключения к цифровому вычисли-

Таблица 1. Показатели производительности микросхем в соответствии с различными стандартами и реализованными криптографическими алгоритмами

Микросхема	Производительность в зависимости от стандарта и криптографического алгоритма							
	ГОСТ Р 34.11-2012		ГОСТ Р 34.12-2015				AES128	
	«Стрибог-512»		«Кузнечик»		«Магма»			
	МБ/с	Тактов/байт	МБ/с	Тактов/байт	МБ/с	Тактов/байт	МБ/с	Тактов/байт
MDR1206 @48 МГц	0,90	53,3	3,31	14,5	5,48	8,8	3,84	12,5
MDR1206A @40 МГц	0,75	53,3	2,76	14,5	4,57	8,8	3,20	12,5

телю внешних изолированных АЦП, например микросхемы MDR5103FI (рис. 4), используемых для шунтовых трехфазных приборов учета.

Аналого-цифровые преобразователи

В микроконтроллере MDR1206 реализован 7-канальный 24-битный сигма-дельта АЦП со встроенным блоком цифровой обработки и расчета показаний потребления. Встроенные в микроконтроллер АЦП позволяют делать однофазные счетчики как на базе токовых трансформаторов, так и на основе шунтов. Встроенный аппаратный вычислитель параметров потребления электроэнергии позволяет автоматически получать все основные показания. При этом сохраняется возможность работать с «сырыми» данными, что дает возможность применять микроконтроллер и для обработки любых других данных по иным алгоритмам.

В случае построения трехфазных счетчиков по шунтовой схеме возможно применение изолированных АЦП. Для этого случая АО «ПКК Миландр» разработало специализированную микросхему MDR5103FI, в которой реализована гальваническая изоляция дельта-сигма-модулятора АЦП, обеспечивающая передачу уже цифрового однобитного потока в блок расчета мощности микроконтроллера. При этом основная часть программного обеспечения полностью совместима со случаем использования встроенного АЦП в микроконтроллер MDR1206. Кроме изолированного цифрового канала передачи данных от дельта-сигма-модулятора, в микросхеме MDR5103FI дополнительно реализован изолированный источник питания, что значительно упрощает схему ПУ (рис. 5).

Основные характеристики:

- ▶ напряжение питания от 3,0 до 3,6 В;
- ▶ ток потребления не более 14 мА;
- ▶ пиковое напряжение изоляции не менее 2500 В (может быть уточнено по результатам длительных испытаний);
- ▶ максимальное рабочее напряжение изоляции не менее 1200 В (может быть уточнено по результатам длительных испытаний).

Память

Кроме микросхем микроконтроллера и измерительного АЦП, обяза-

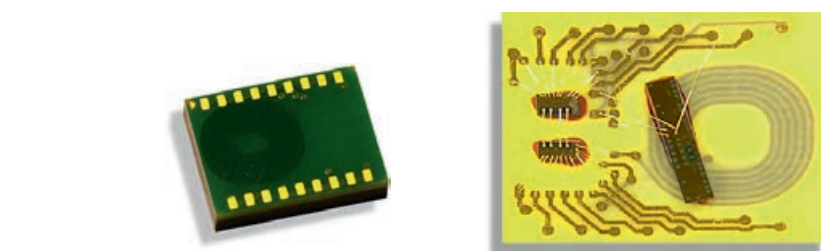


Рис. 4. Микросхема MDR5103FI изолированного дельта-сигма АЦП с изолированным источником питания

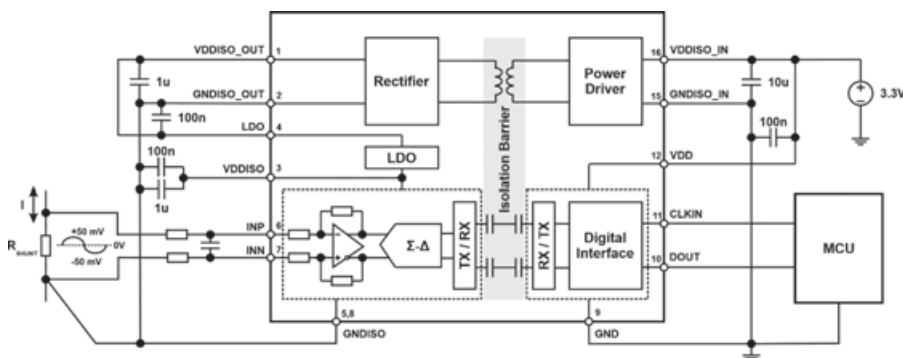


Рис. 5. Микросхема MDR5103FI

тельным элементом каждого умного счетчика является микросхема памяти для хранения журнала событий и результатов измерения. Для этого компания «ПКК Миландр» разработала микросхему флеш-памяти MDR2306FI (рис. 6) с объемом 8 МБ (64 Мбит) в миниатюрном корпусе DFN8 5 × 6 мм. Микросхема имеет последовательный интерфейс SPI/QSPI.

Основные характеристики:

- ▶ информационная емкость 64 Мбит;
- ▶ наличие последовательного SPI-интерфейса;
- ▶ 4 блока по 2 МБ;
- ▶ 1024 сектора по 8 кБ;
- ▶ размер страницы для программирования 512 байт;

- ▶ возможность стирания страницы, сектора и всей памяти;
- ▶ функция защиты сектора от стирания и записи (аппаратная проверка сектора для предотвращения стирания и записи);
- ▶ аппаратный алгоритм автоматического стирания и верификации страницы, сектора или всей памяти;
- ▶ аппаратный алгоритм автоматической записи и верификации данных по указанному адресу;
- ▶ программный метод детектирования окончания циклов стирания и записи;
- ▶ встроенная схема формирования высоковольтного напряжения программирования и стирания;

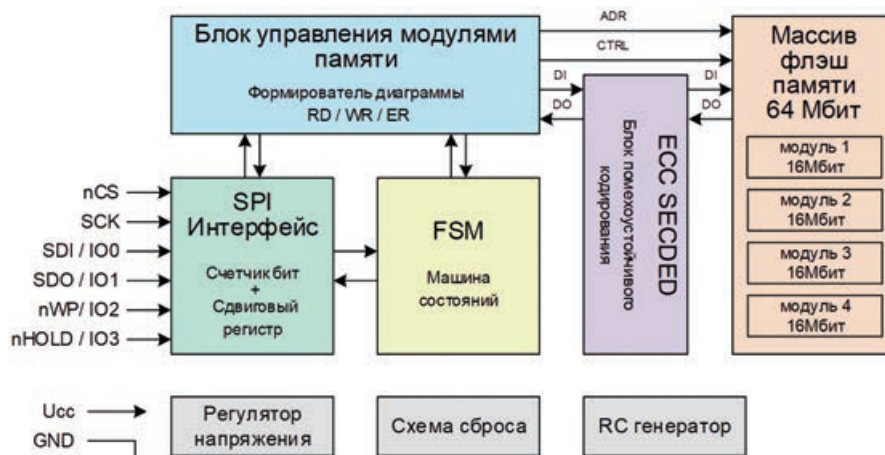


Рис. 6. Микросхема флеш-памяти MDR2306FI

- ▶ поддержка режимов dual-SPI и quad-SPI;
- ▶ поддержка режима Hold – приостановка операций на шине SPI посредством внешнего вывода;
- ▶ поддержка режимов Program/Erase Suspend – приостановка операций программирования/стирания;
- ▶ поддержка режима пониженного энергопотребления;
- ▶ время сохранения данных 20 лет;
- ▶ напряжение питания от 2,2 до 3,6 В;
- ▶ ток потребления в режиме хранения не более 2 мА;
- ▶ ток в режиме пониженного энергопотребления не более 200 мкА;
- ▶ динамический ток потребления не более 15 мА;
- ▶ время выборки не более 6 нс;
- ▶ рабочий диапазон температур $-40...+105\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Интерфейсы

Основной функцией умных приборов учета является автоматическая передача показаний потребленной энергии. Различные модели счетчиков могут использовать разные интерфейсы передачи данных, как проводные, так и беспроводные. Но обязательным для всех приборов учета является наличие проводного интерфейса RS-485. АО «ПКК Миландр» выпускает большую номенклатуру микросхем приемопередатчиков, но для задач промышленной автоматизации была специально разработана

микросхема MDR3401FI интерфейса RS-485.

Основные характеристики:

- ▶ напряжение источника питания от 3,0 до 5,5 В;
- ▶ входной импеданс приемника соответствует 1/8 единицы нагрузки, что допускает параллельное включение до 256 микросхем;
- ▶ синфазное напряжение шины данных от -7 до $+12$ В;
- ▶ защита от перегрева;
- ▶ защита от короткого замыкания;
- ▶ скорость передачи данных до 30 Мбит/с;
- ▶ температурный диапазон $-50...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Питание

Для функционирования прибора учета электроэнергии, как, впрочем, и для любого другого электронного прибора, необходимо обеспечить питание всех его элементов. Поэтому компанией «ПКК Миландр» разрабатывается микросхема (рис. 7), которая является базовым элементом для построения импульсных изолированных и не изолированных преобразователей вторичного электропитания малой мощности до 12 Вт, типа AC-DC с диапазоном первичных переменных напряжений от 50 до 300 В и выходных напряжений от 5 до 15 В. Эта микросхема должна обеспечить функциональную замену зарубежного аналога INN3672C. Микросхема состоит из трех полупроводниковых кристаллов

и медного петлевого трансформатора обратной связи. Высоковольтный кристалл содержит мощный транзистор и генератор тока первичного запуска, кристалл выполнен по высоковольтной технологии с рабочим напряжением до 800 В. Кристалл первичного контроллера выполнен по низковольтной технологии с рабочим напряжением до 70 В, имеет непосредственную связь с высоковольтным кристаллом и управляет режимом работы мощного транзистора. Кристалл вторичного контроллера выполнен по низковольтной технологии с рабочим напряжением до 70 В, имеет гальванически развязанную индуктивную связь с кристаллом первичного контроллера и управляет работой первичного контроллера в зависимости от энергопотребления нагрузки. Петлевой трансформатор обратной связи является внутренней конструктивной частью микросхемы. Трансформатор обеспечивает гальванически развязанную индуктивную связь между вторичным и первичным контроллерами.

Таким образом, компания АО «ПКК Миландр» планирует создать полный комплект базовых микросхем, используемых в приборах учета электроэнергии. При этом данные микросхемы, в силу своей универсальности, могут найти применение и в других видах техники. Бесплатные образцы микросхем предоставляются по запросу.

Концепция построения приборов учета электроэнергии компании «Милур ИС» на базе отечественных микросхем

ООО «Милур Интеллектуальные Системы» учреждено АО «ПКК Миландр» в 2018 году. Перед новой компанией ставились две основные задачи. Во-первых, требовалось непосредственно в рамках одной группы компаний «Миландр» сформировать неразрывную технологическую взаимосвязь между выпускаемыми микросхемами и разрабатываемыми на их основе приборами. А во-вторых, продемонстрировать российскому рынку, что на базе отечественных микросхем можно не только создавать интеллектуальные счетчики электроэнергии, но и успешно конкурировать с другими производителями, которые используют в составе приборов учета зарубежные решения.

За небольшой промежуток времени молодая компания смогла закреп-

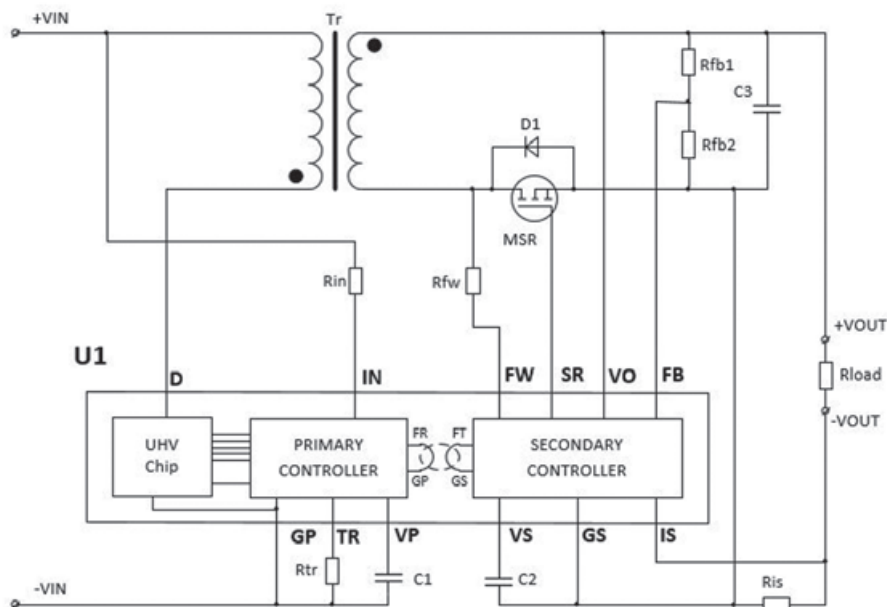


Рис. 7. Новая микросхема АО «ПКК Миландр» для управления питанием прибора учета электроэнергии

питься на рынке и войти в топ-10 производителей приборов учета. Текущая линейка интеллектуальных приборов учета «Милур 107S/307S» (рис. 8) на базе микроконтроллеров АО «ПКК Миландр» полностью покрывает потребности рынка, включает в себя различные модификации, различающиеся конструктивным исполнением, а также набором интерфейсов передачи данных в систему учета электроэнергии (оптический порт, RS-485, радиоканал, GSM, LTE, LoRaWAN, NB-IoT, PLC).

Схемотехнические решения, аппаратные и функциональные возможности приборов учета «Милур 107S/307S» соответствуют требованиям ПП РФ от 19.06.2020 № 890 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета электрической энергии (мощности)»; ПАО «Россети» СТО 34.01-5.1-009-2021 «Приборы учета электроэнергии. Общие технические требования»; ГОСТ Р 58940-2020 «Требования к протоколам обмена информацией между компонентами интеллектуальной системы учета и приборами учета».

Компания не стоит на месте. В настоящее время активно ведется разработка обновленной линейки интеллектуальных приборов учета на базе следующего поколения микросхем АО «ПКК Миландр». При этом набор применяемых микросхем будет расширен и, помимо центрального микроконтроллера и интерфейсных микросхем, будут применены: микросхема флеш-памяти, микросхема питания AC-DC, а для приборов учета, построенных на

базе измерительных шунтов, микросхема изолированного сигма-дельта-модулятора.

Перспективная линейка интеллектуальных приборов учета строится на базе нового микроконтроллера MDR1206 компании «ПКК Миландр». Этот микроконтроллер был разработан специально для приборов учета, по сравнению с предыдущим поколением имеет увеличенный в два раза (с 256 до 512 кБ) объем внутренней флеш-памяти, а также увеличенную производительность, что позволяет реализовать не только текущие требования к приборам учета электроэнергии, но и иметь запас производительности и внутренней памяти для реализации дополнительной функциональности.

Как уже было отмечено, микроконтроллер MDR1206 построен на базе процессорного RISC-V-ядра BM-310S от российской компании CloudBEAR. Производство кристаллов освоено на двух независимых фабриках, что способно обеспечить выпуск микросхем в достаточных объемах для выполнения заказов российских производителей интеллектуальных счетчиков электроэнергии. Микроконтроллер предназначен для использования в приборах учета потребляемой электрической энергии в одно- и трехфазных сетях с различными рабочими напряжениями.

За счет наличия в составе микроконтроллера встроенных сигма-дельта АЦП и специализированного вычислительного блока расчета показателей микроконтроллер может быть использован в ПУ, построенных на базе как трансформаторов тока, так и измери-

тельных шунтов (рис. 9, 10). В случае, когда используется полностью шунтовая схема, для реализации гальванической развязки по фазе используется специализированная микросхема изолированного сигма-дельта-модулятора MDR5103 вместо встроенного АЦП. Изолированный сигма-дельта АЦП подключается непосредственно к блоку вычисления показателей потребления микроконтроллера, и работа с ним практически не отличается от работы со встроенным АЦП.

Такой подход, независимо от внутреннего устройства прибора учета, позволяет выполнить требования ПП РФ № 719 в части использования отечественных микросхем центрального микроконтроллера (за что начисляется 28 баллов) и АЦП в каналах преобразования тока и напряжения (13 баллов).

Для хранения накопленных данных, а также журналов зарегистрированных событий применена микросхема флеш-памяти MDR2306 с информационным объемом 64 Мбит. Микросхема флеш-памяти выполнена в миниатюрном корпусе DFN8 5 × 6 мм и подключается к микроконтроллеру по SPI-интерфейсу. Использование микросхем энергонезависимой памяти российского производства позволит набрать дополнительные 12 баллов при оценке на соответствие требованиям ПП РФ № 719.

Для реализации собственного питания прибора учета компанией «ПКК Миландр» разрабатывается микросхема, которая обеспечит функциональную замену зарубежного аналога INN3672C. В качестве основной интерфейсной микросхемы в приборах учета шкафного исполнения используется микросхема MDR3401FI интерфейса RS-485.

Таким образом, применение полного набора отечественных микросхем АО «ПКК Миландр» позволяет набрать 70 из обязательных 90 баллов в 2024 году и 113 баллов в 2025 году при оценке соответствия требованиям ПП РФ № 719 «О подтверждении производства промышленной продукции на территории Российской Федерации».

На рис. 9 и 10 представлены структурные схемы перспективных однофазных приборов учета «Милур 108» и трехфазных «Милур 308».

Помимо применения обширной номенклатуры отечественных мик-

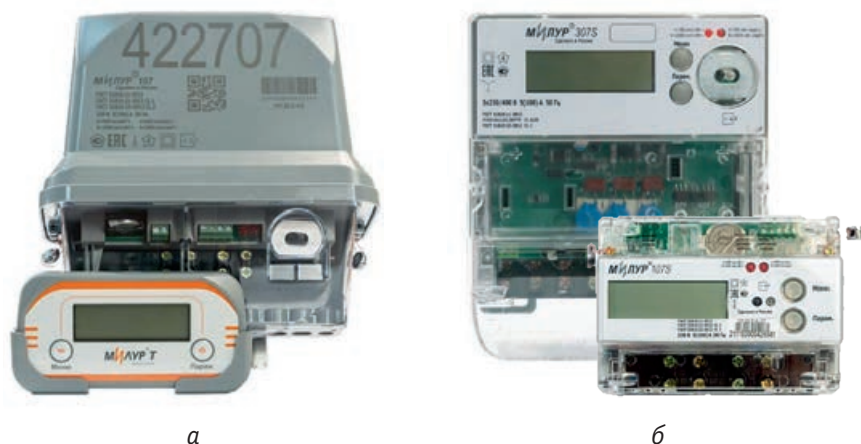


Рис. 8. Приборы учета «Милур»: а – в корпусе SPLIT для наружной установки с внешним блоком индикации; б – шкафного исполнения, трехфазный и компактный однофазный

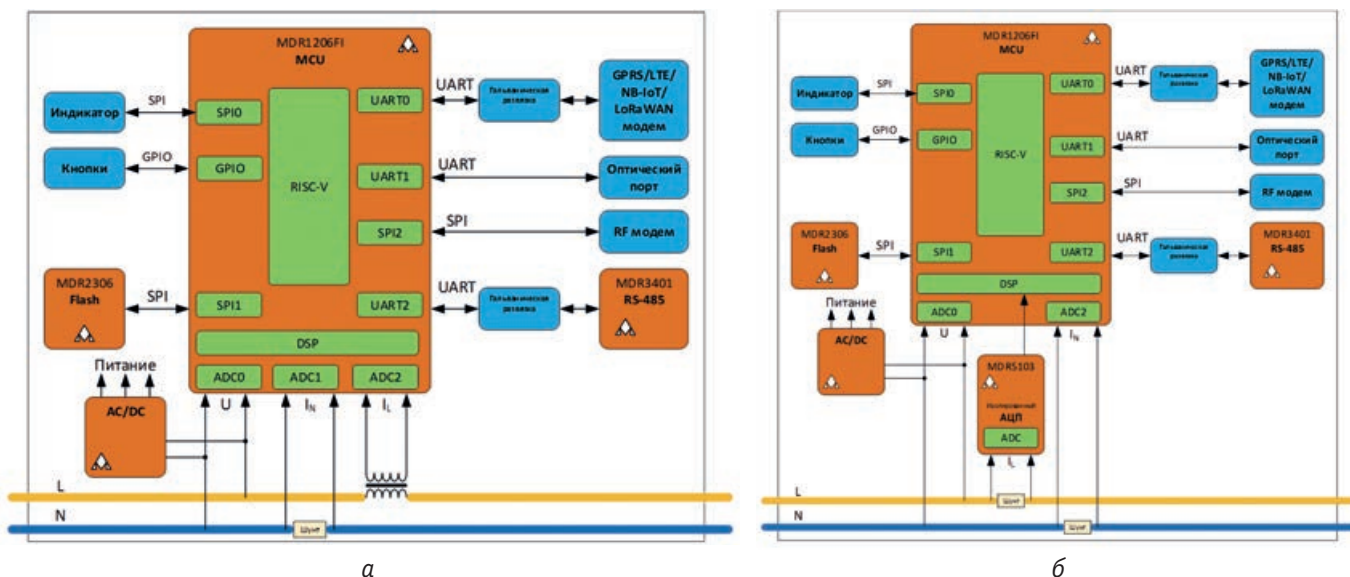


Рис. 9. Структура однофазного прибора учета «Милур»: а – с трансформаторным включением; б – с шунтовым включением

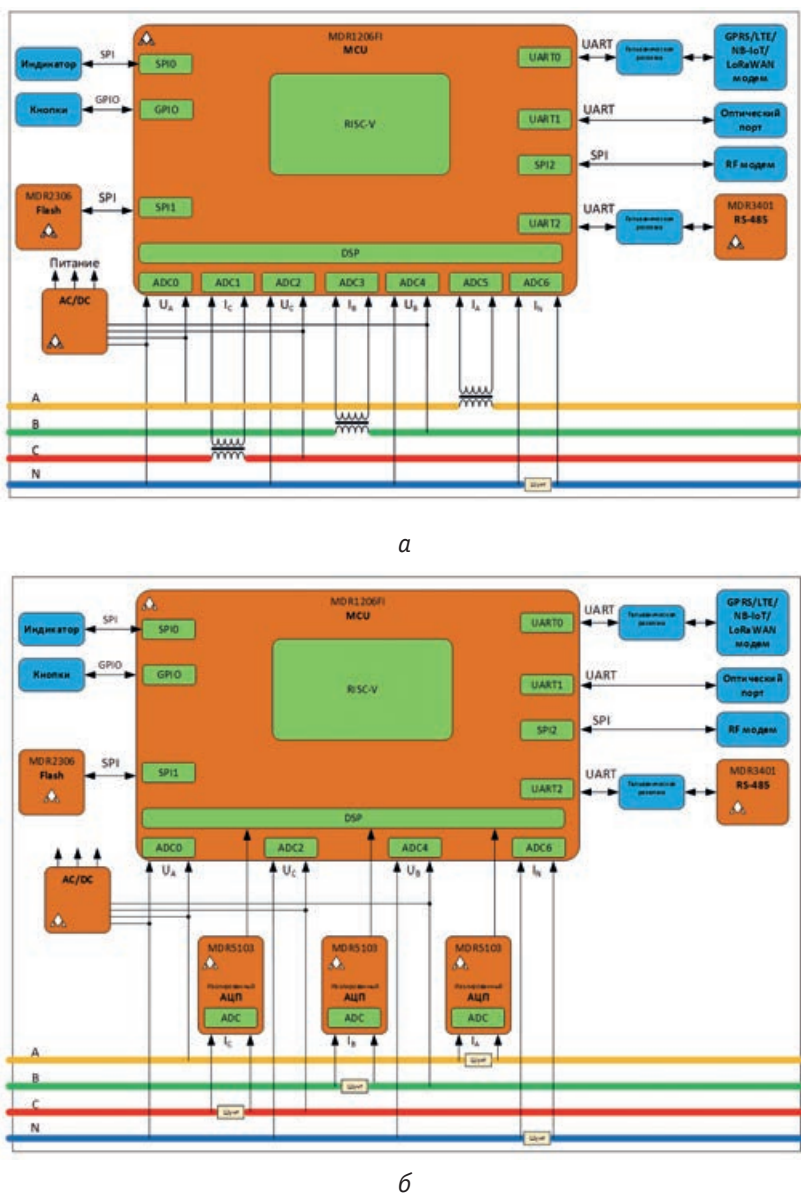


Рис. 10. Структура трехфазных приборов учета «Милур»: а – с трансформаторным включением; б – с шунтовым включением

росхем АО «ПКК Миландр», в новой линейке будет реализована поддержка модулей СКЗИ, а также расширены коммуникационные возможности приборов учета за счет появления новых интерфейсов связи, в том числе Bluetooth, для подключения приборов учета к мобильным устройствам. В качестве модулей СКЗИ будут применяться решения от разных производителей («Инфотекс», «НТЦ Фискальная Безопасность» и «С-Терра»), что позволит не зависеть от одного поставщика криптографической защиты и использовать ту систему защиты данных, которая выбрана заказчиком для построения интеллектуальной системы учета электроэнергии.

Компания «Милур ИС» в тесном сотрудничестве с АО «ПКК Миландр» уже на протяжении 6 лет успешно реализует стратегию развития отечественной ЭКБ гражданского назначения. Компания не только является флагманом применения отечественных микросхем в приборах учета электроэнергии, но и готова к сотрудничеству с другими предприятиями в части представления своих приборных решений, отвечающих самым жестким современным стандартам.

С. С. Шумилин, заместитель генерального директора по науке, АО «ПКК Миландр», Зеленоград, г. Москва, тел.: +7 (495) 981-5433, e-mail: info@milandr.ru, сайт: www.milandr.ru