

# МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ ДЛЯ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ – СОВРЕМЕННЫЕ РЕШЕНИЯ

М.Павлюк, А.Коточигов, Ю.Сахно kotochigov@milandr.ru

Сегодня широкое распространение в России приобретают электронные счетчики электроэнергии. Их основные преимущества – высокая точность измерений, возможность многотарифного учета энергопотребления, а также удобство встраивания в автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ). В таких счетчиках используются современные достижения микроэлектроники и цифровые методы обработки сигналов. Электронные счетчики разрабатываются на базе микросхем различных компаний: Analog Devices, Maxim, Texas Instruments. Специализированный микроконтроллер, ориентированный на применение в счетчиках электроэнергии, разработала и компания ЗАО "ПКК Миландр". О ряде современных решений для измерения электроэнергии рассказывается в статье.

Помимо структурные схемы электросчетчиков, построенных на элементной базе различных производителей. Компания Analog Devices предлагает семейство микросхем ADE (Analog Devices Energy), которые используются во всем спектре устройств учета электроэнергии – от простейших однофазных счетчиков с механическим отсчетным устройством до интеллектуальных трехфазных счетчиков с микропроцессорным управлением. В более простом варианте счетчика значения измеренной электроэнергии с выхода микросхемы ADE подаются на шаговый двигатель, к которому подключено механическое отсчетное устройство (рис.1). Такие счетчики просты в реализации, но подсчитывают только электроэнергию и только по одному тарифу. В более сложных счетчиках, измеряющих не только потребленную энергию, но и напряжение, ток, мощность, частоту сети, необходимо применять микроконтроллер. Он считывает из микросхемы ADE измеренные значения, а также обеспечивает учет

электроэнергии по тарифам, вывод информации на дисплей и другие функции (рис.2).

Еще одно решение возможно на базе специализированных однокристальных микроконтроллеров, например, микросхемы Teridian 71M6521FE компании Maxim (рис.3). Микросхема содержит 22-разрядный сигма-дельта АЦП, драйвер ЖК-дисплея, полнофункциональные часы реального времени,

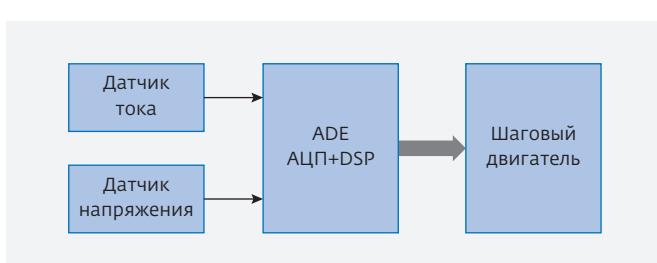
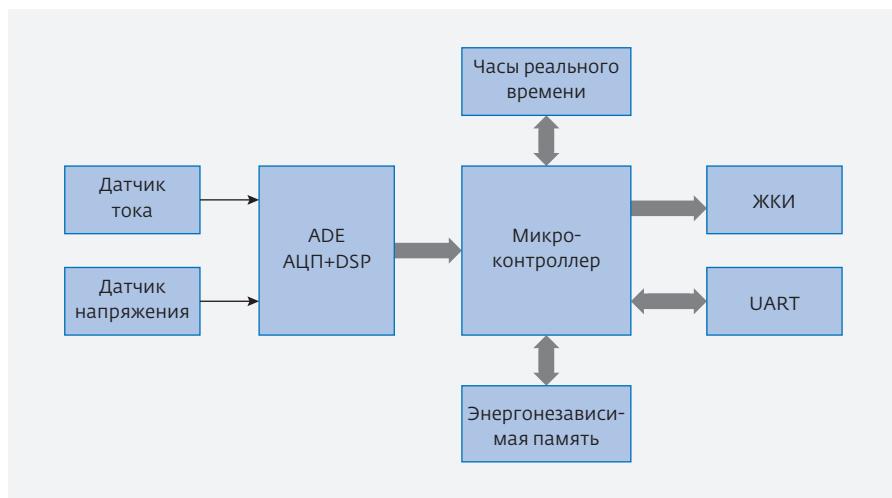


Рис.1. Структурная схема счетчика электроэнергии на базе микросхемы Analog Devices с применением механического отсчетного устройства



**Рис.2.** Структурная схема счетчика электроэнергии на базе микросхемы Analog Devices с применением микроконтроллера

аппаратный импульсный выход с широким диапазоном регулировки. В Teridian 71M6521FE используется 8-разрядное ядро 80515, 32 Кбайт флеш-памяти, 2 Кбайт ОЗУ – такие параметры ограничивают вычислительную мощность микросхемы. Цифровая обработка результатов измерений производится в специальном модуле CE (Compute Engine). Программное обеспечение для него предоставляется в виде скомпилированных бинарных файлов, и не может быть модифицировано разработчиком счетчика.

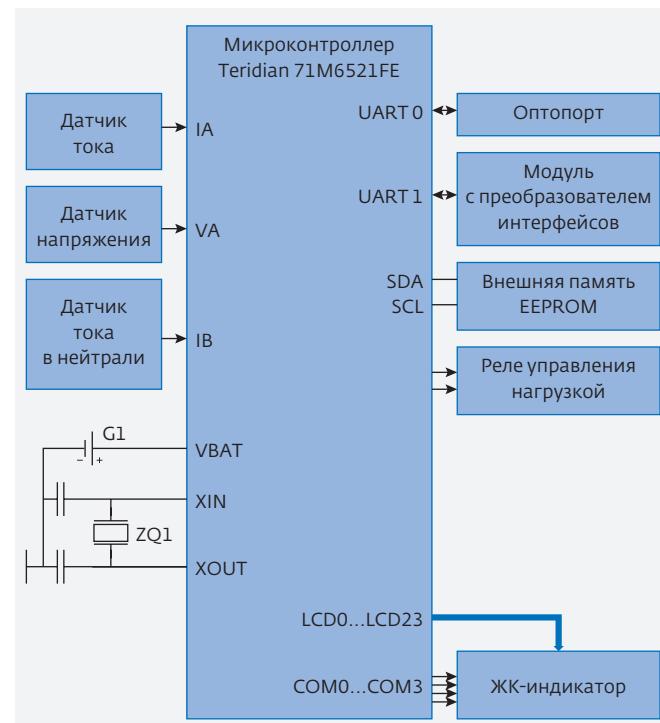
Счетчик электроэнергии можно построить также на базе DSP серии C2000 компании Texas Instruments. Эта микросхема не содержит специализированных вычислительных блоков, ориентированных на цифровую обработку сигналов для вычисления параметров электроэнергии, поэтому реализация этой задачи полностью ложится на разработчика программного обеспечения (ПО) счетчика. Такое гибкое решение позволяет реализовать любые функции и любую обработку полученных данных. Но при этом разработка ПО оказывается очень трудоемкой.

Компания ЗАО "ПКК Миландр" предлагает специализированный 32-разрядный микроконтроллер K1986BE23 для однофазного счетчика электроэнергии. Это первая российская микросхема для решения подобных задач. В ней учтены современные требования ГОСТов и особенности отечественного рынка приборов учета электроэнергии. Благодаря этому, использование микроконтроллера K1986BE23 позволяет сократить время и трудоемкость разработки счетчиков. Микроконтроллер разработан на базе ядра ARM Cortex-M0 с частотой

36 МГц и содержит специальные аппаратные блоки, реализующие цифровую обработку. Эти блоки позволяют снизить нагрузку на ядро микроконтроллера, что в свою очередь снижает мощность, потребляемую всем кристаллом. Микроконтроллер оснащен 64 Кбайт флеш-памяти, 16 Кбайт ОЗУ, двумя модулями UART, трехканальным 24-разрядным сигма-дельта АЦП. Вычислительные возможности микроконтроллера позволяют решить любые задачи учета электроэнергии.

Блок АЦП микроконтроллера содержит три канала сигма-дельта АЦП, позволяющих оциф-

ровывать входные сигналы с частотой 4, 8 и 16 кГц. Первый канал используется для оцифровки сигнала датчика напряжения. Второй – для оцифровки сигнала токового датчика. Третий канал обеспечивает контроль утечки тока по нейтрали. Во всех каналах присутствует усилитель с программируемым коэффициентом усиления (0, 6, 12 или 18 дБ), а каждом канале тока есть также независимый интегратор.



**Рис.3.** Структурная схема счетчика электроэнергии на базе микросхемы Teridian 71M6521FE



Рис.4. Счетчик "Милур 105"

По полученным значениям тока и напряжения определяются их среднеквадратичные значения, вычисляются активная, реактивная и полная мощности, потребленная активная, реактивная и полная энергия, частота сигнала в канале напряжения, фиксируются выход тока и напряжения за установленные пределы и исчезновение сигнала в канале напряжения. Также каждый АЦП имеет канал ПДП, который позволяет сохранять данные в ОЗУ без участия процессора. Возможны два вида включения АЦП: недифференциальное и дифференциальное. В первом случае значения напряжения и тока после аналого-цифрового преобразования меньше в два раза, чем во втором, а мощностные характеристики – в четыре раза.

В блоке АЦП присутствует конфигурируемая линия задержки (в канале напряжения). Изменяя ее параметры, можно регулировать временной сдвиг одного канала относительно другого. Так как частота отсчетов после АЦП равна 1,024 МГц, то один шаг равен 1/20480 периода 50-Гц сигнала, или 0,018°.

Блок АЦП имеет множество прерываний, позволяющих организовать программную обработку событий (заполнение буфера результатов, переполнение регистров накопления энергии, пересечения нуля в канале напряжения, превышение пороговых значений и др.), а также считывание измеренных значений в соответствии с требуемым алгоритмом.

В микроконтроллере есть специальный модуль под названием батарейный домен, который питается от внешней литиевой батареи. Он содержит часы реального времени и несколько регистров аварийного сохранения. В этих регистрах можно

сохранять накопленные результаты измерений при отключении основного источника питания. Для часов реального времени предусмотрена возможность аппаратной калибровки. В батарейном домене реализована также функция контроля датчика электронной пломбы счетчика. Это позволяет даже при отсутствии основного питания фиксировать факты вскрытия клеммной крышки счетчика.

K1986BE23 содержит также контроллер ЖК-дисплея. Он обеспечивает генерацию сигналов управления как для статических, так и для мультиплексных (с числом сегментов до 30) дисплеев.

На основе микроконтроллера K1986BE23 построен счетчик "Милур 105" (рис.4, 5, см. таблицу). Счетчик имеет модульную конструкцию. Его основа – базовая плата, на которой размещены основные узлы: микроконтроллер, ЖК-дисплей, микросхема энергонезависимой памяти, блок питания, оптический порт (оптопорт). К базовой плате могут быть подключены различные дополнительные интерфейсные модули: PLC, ZigBee, RS-485, CAN, Bluetooth, Wi-Fi, а также специальные модули с функцией преобразования протоколов. Такое решение обеспечивает большой набор моделей и модификаций счетчика. Гибкость выбора интерфейсных модулей

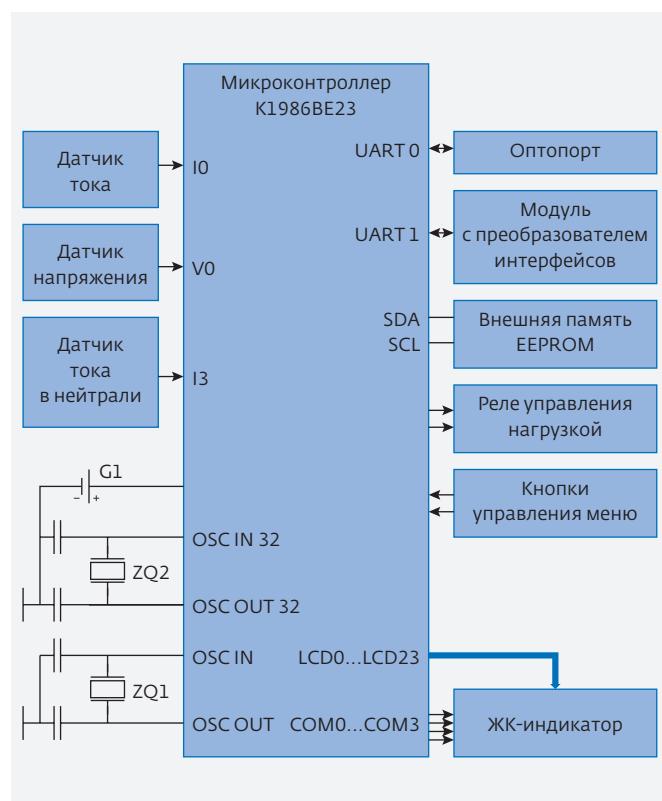


Рис.5. Структурная схема счетчика "Милур 105"

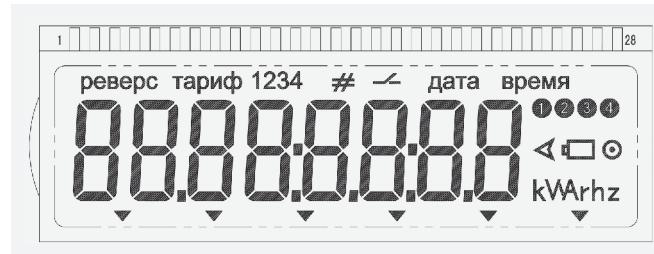
позволяет легко объединять счетчики в единую сеть в системе АСКУЭ.

На передней панели счетчика "Милур 105" расположены кнопки управления меню и 24-сегментный ЖК-дисплей (рис.6). Меню счетчика состоит из нескольких циклов индикации. В первом (главном) цикле на экране отображаются основные параметры потребленной энергии. Смена отображаемых параметров производится автоматически. Во втором цикле отображаются значения потребленной активной и реактивной энергий по всем тарифам. В третьем цикле можно вывести на дисплей мгновенные значения напряжения, тока, активной, реактивной и полной мощностей. Четвертый цикл предназначен для отображения служебной информации о счетчике.

Счетчик имеет энергонезависимую память, предназначенную для хранения основных

## Параметры счетчика "Милур 105"

| Параметр  | Значение                           |
|---|------------------------------------|
| Класс точности по ГОСТ 31819.21-2012 по активной энергии                                | 1                                  |
| Класс точности по ГОСТ 31819.23-2012 по реактивной энергии                              | 2                                  |
| Номинальное напряжение, В   | 230                                |
| Базовый /максимальный ток, А  | 5/80                               |
| Номинальное значение частоты, Гц  | 50                                 |
| Стартовый ток (чувствительность), А, не более   | 0,02                               |
| Постоянная счетчика, имп/кВт·ч (имп/кВар·ч):<br>в режиме телеметрии<br>в режиме поверки | 5 000<br>10 000                    |
| Потребляемая мощность, Вт, не более:<br>по цепи напряжения<br>по цепи тока              | 1,8<br>0,5                         |
| Диапазон рабочих температур, °C   | -40...70<br>(-50...70 опционально) |
| Количество тарифов  | до четырех                         |



**Рис.6.** ЖК-дисплей счетчика "Милур 105"

настроек, накопленной энергии по каждому тарифу, профилей мощности и энергии в суточных и месячных интервалах и др. Для калибровки счетчика используются цифровые коэффициенты, которые с помощью программы-конфигуратора записываются в энергонезависимую память и при запуске счетчика загружаются из нее в регистры микроконтроллера.

Импульсные выходы счетчика реализованы на таймерах общего назначения, работающих в режиме широтно-импульсной модуляции. Каждый таймер включает четыре независимых канала для генерации сигналов. В каждом канале можно независимо устанавливать значения частоты, скважности и полярности сигнала. Импульсный выход, через который передаются значения активной энергии, имеет дополнительные режимы: поверочный, управление нагрузкой, тестовые импульсы генератора часов реального времени. Импульсный выход для передачи значений реактивной энергии, реализованный на другом таймере, имеет только основной и поверочный режимы.

Для обмена данными в счетчике "Милур 105" используется Modbus-подобный протокол в режиме RTU. Он работает по схеме "запрос от клиента - ответ от сервера". В качестве клиента может выступать устройство сбора и передачи данных или управляющий компьютер.

Для коммутации нагрузки в счетчике "Милур 105" предусмотрено типовое реле с током до 80 А. Реле можно управлять как в ручном режиме (посредством программы-конфигуратора), так и автоматически (по превышению заданного порога потребленной энергии за 30 минут).

Подводя итог, можно сказать, что характеристики микроконтроллера K1986ВЕ23 компании ЗАО "ПКК Миландр" позволяют эффективно использовать его в приборах учета, где возможностей 8-разрядной архитектуры уже не хватает, а также требуется заложить большой запас производительности на будущее.