

Радиочастотные модули ME50

от компании Telit с поддержкой протокола Wireless M-Bus

Юрий Муренко
info@atoma.spb.ru

Организация передачи данных от устройства учета расхода энергии на терминал оператора — одна из важнейших задач в разработке современных цифровых счетчиков. Она имеет несколько особенностей: объем передаваемой информации небольшой, соответственно, не требуется высокая скорость передачи; счетчики и концентратор находятся в фиксированных местах в пределах одного здания, то есть не требуется большая мощность передаваемого сигнала; нет необходимости в постоянной передаче данных на концентратор. Пока еще большинство счетчиков энергии, установ-

ленных у конечных потребителей, являются механическими, и, соответственно, без связи с базовым узлом. Это усложняет учет расхода энергии и передачу показаний приборов: потребитель сам озвучивает показания счетчиков учетной организации либо по телефону, либо в пунктах оплаты, что вызывает дополнительные неудобства. Механические (аналоговые) счетчики также не позволяют применить дифференцированные системы тарифов.

Первыми цифровыми приборами учета расхода энергии стали электросчетчики, в них же была заложена возможность передачи данных на маршрутизатор/центральный узел. Традиционно для этого использовались PLC-модемы (Power Line Communication), которые передавали информацию по линиям питания, что избавляло производителей и обслуживающие организации от необходимости прокладывать дополнительную линию связи. Но данное решение было неприменимо в приборах учета расхода воды, тепла и газа в связи с отсутствием линий электропередачи. Для связи счетчика с концентратором применялось несколько протоколов, наиболее распространенные из которых PLC (электроэнергия), Modbus и M-Bus.

M-Bus (Meter-Bus) — коммуникационный протокол (европейский стандарт EN 1434/IEC870-5, EN 13757-2 физический и каналный уровни, EN 13757-3 прикладной уровень), основанный на стандартной архитектуре «клиент-сервер». Это один из распространенных протоколов передачи данных для ряда специфических электронных устройств, таких как приборы учета расхода энергии (электричество, тепло, вода и газ), некоторые исполнительные устройства и т. п. Данные передаются на компьютерную станцию (сервер) напрямую или через концентраторы шины M-Bus, усилители-повторители сигнала. Отличие от протоколов Modbus стандарта RS-485 — другие уровни логических сигналов, низкая скорость передачи данных (300–9600 бит/с), низкие требования к линии связи, возможность питания устройств от линии M-Bus, отсутствие требований к соблюдению полярности. Протокол из-за ряда особенностей не является промышленным и применяется только в тех устройствах, где не критична низкая скорость и даже потеря части передаваемых данных. К достоинствам протокола можно отнести минимальные тре-

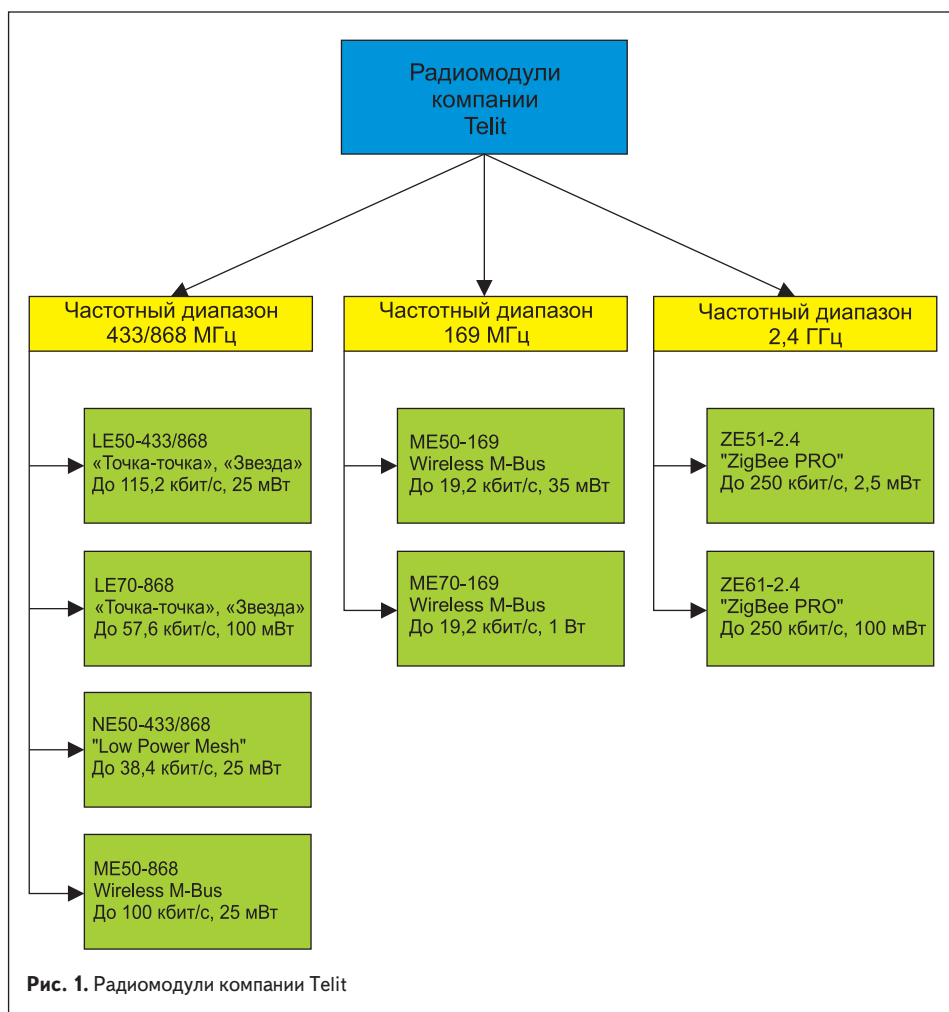


Таблица 1. Сетевая модель OSI для WM-Bus

Уровень	Стандарт
7. Прикладной	EN 13757-3 (один из возможных вариантов)
6. Представительский	-
5. Сеансовый	-
4. Транспортный	-
3. Сетевой	EN 13757-5
2. Канальный	EN 13757-4; EN 13757-5
1. Физический	EN 13757-4; EN 13757-5

бования к оборудованию и линиям связи, простоту и скорости внедрения и монтажа. Данный протокол имеет несколько физических уровней: витая пара, оптопара и радиоканал.

Wireless (беспроводной) M-Bus — вариант протокола M-Bus, использующий в качестве физического уровня радиоканал. В стандартах [1] и [2] описаны физический, канальный и сетевой (для EN 13757-5) уровни модели взаимодействия открытых систем OSI протокола WM-Bus (таблица 1). Данные стандарты предусматривают работу устройств в частотных диапазонах 169, 434 и 868 МГц, поэтому модули со встроенным стеком Wireless M-Bus должны соответствовать общему стандарту устройств с малой дальностью передачи [3].

Один из лидеров рынка беспроводных решений, — компания Telit предлагает большую линейку беспроводных модулей в субгигагерцовом диапазоне с различными встроенными стеками (рис. 1). Наибольший интерес представляет линейка модулей xE50-433/868, данные модули работают в диапазонах 433 и 868 МГц с выходной мощностью до 25 мВт, что позволяет свободно их применять без дополнительного лицензирования и разрешения на установку. Модули различаются встроенными стеками протоколов. Так, LE50-433/868 поставляются со встроенным стеком протокола, обеспечивающим простую топологию типа «точка-точка» или «звезда», NE50-434/868 поставляются со стеком Low Power Mesh, а ME50-868 — со стеком Wireless M-Bus. Также компания Telit начала выпуск модулей xE70, выходная мощность которых может достигать 0,5–1 Вт, и модулей для частотного диапазона 169 МГц. Основное достоинство радиомодулей xE50 и xE70 — совместимость pin-to-pin между собой и ZEx1-2.4 (модули со встроенным протоколом ZigBee PRO). Все радиомодули построены на одной аппаратной платформе и обеспечены поддержкой общего программного обеспечения от компании Telit.

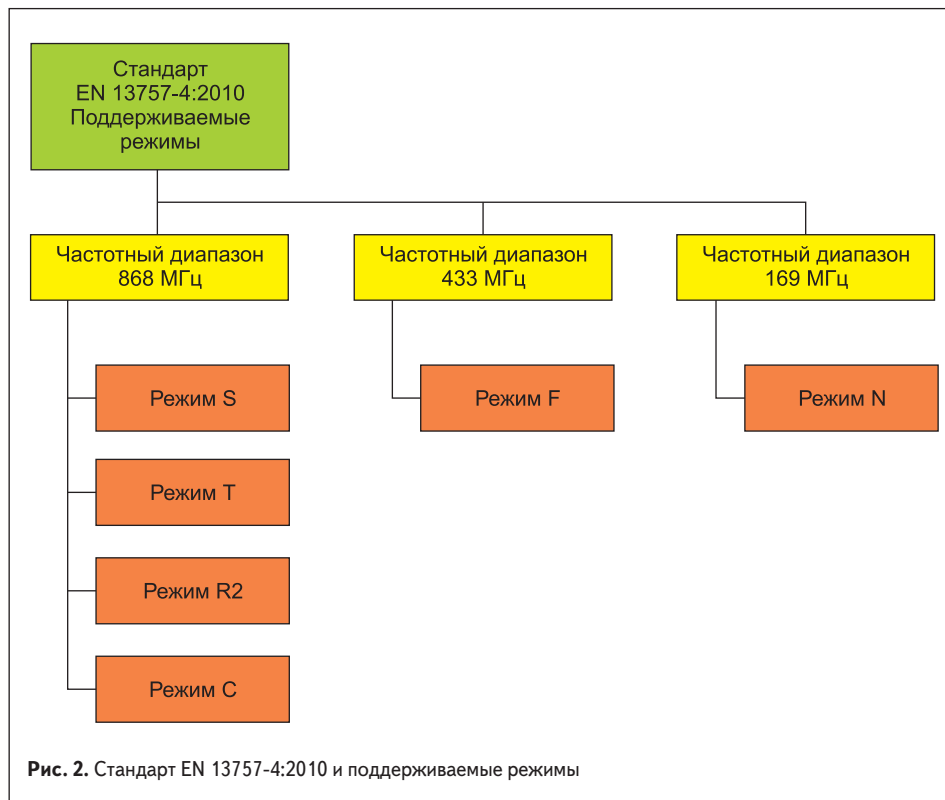


Рис. 2. Стандарт EN 13757-4:2010 и поддерживаемые режимы

Устройства, работающие по протоколу беспроводной M-Bus, подразделяются на счетчики и «другие» устройства: счетчики только передают информацию о расходе, «другие» устройства (также рассматриваются как концентраторы) отвечают за сбор данных и могут осуществлять управление счетчиками. Техническое описание протокола Wireless M-Bus в [1] обеспечивает соединение по радиоканалу с топологией «точка-точка» между счетчиком и концентратором. Стандарт [2] описывает соединение конечного устройства и концентратора через несколько промежуточных точек.

Стандарт EN 13757-4

Протокол Wireless M-Bus стандарта [1] определяет шесть режимов (рис. 2) взаимодействия счетчиков и «других» устройств:

- S — «стационарный»;
- T — «частая передача»;
- R2 — «частый прием»;
- C — «компактный»;
- N — «узкополосный ВЧ» (Narrowband VHF);
- F — «частый прием и передача».

Режимы S, T, R2 и C разработаны для работы в частотном диапазоне 868 МГц, N — 169 МГц, F — 433 МГц. Компания Telit предлагает несколько радиомодулей с поддержкой данного стандарта: ME50-868, ME50-169 и ME70-169. Соответственно, модули ME50-868 поддерживают все режимы, разработанные для частотного диапазона 868 МГц, а модули ME50-169 и ME70-169 обеспечивают работу в режиме N [4]. В нашем регионе частотный диапазон 169 МГц запрещен к использованию, поэтому ниже описаны режимы стандарта [1] для частотного диапазона 868 МГц.

Режим T

В данном режиме счетчик посылает данные случайным образом, с любой периодичностью или стохастически. Кадры данных передаются счетчиком на «другие» устройства со скоростью 100 кбит/с, а обратная связь осуществляется на скорости 32,768 кбит/с. Режим T подразделяется на T1 и T2. В режиме T1 счетчик передает данные вне зависимости от наличия получателя. Он выходит из энергосберегающего режима, посылает

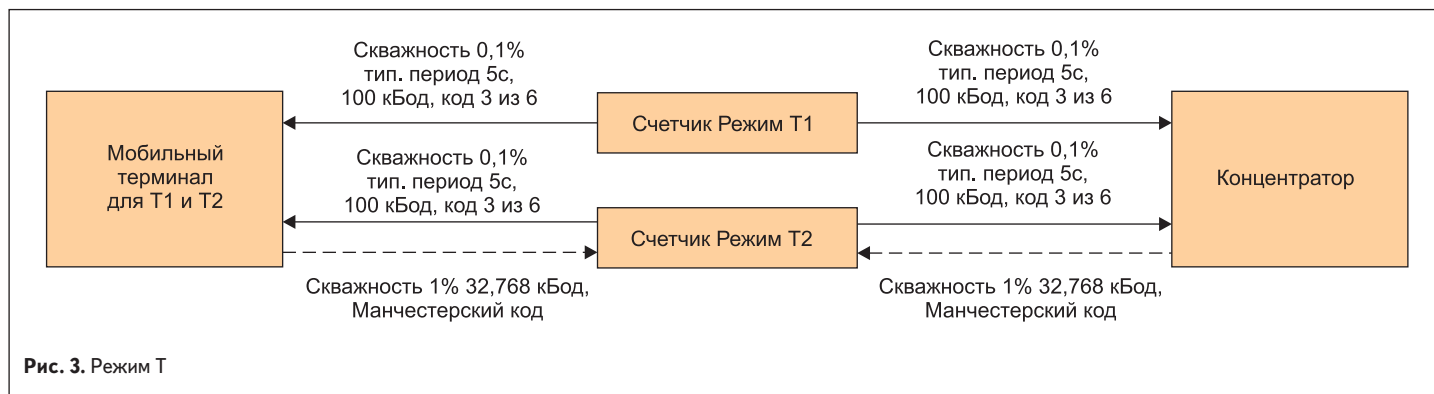


Рис. 3. Режим T

данные и сразу возвращается в спящий режим. В режиме T2 счетчик посылает данные и остается в активном состоянии в течение короткого промежутка времени после передачи для получения возможного ответного пакета. Если ответ не получен, счетчик возвращается в энергосберегающий режим. Если ответ получен, тогда устанавливается двунаправленное соединение между счетчиком и концентратором.

Режим R2

Счетчик периодически переходит в режим приема и ожидает команды от концентратора. Если получена команда на пробуждение, то устанавливается двунаправленное соединение между счетчиком и «другим» устройством. В данном режиме для обмена используется скорость 4,8 кбит/с.

Режим S

Скорость соединения составляет 32,768 кбит/с. Подразделяется на S1 и S2.

Режим S1 работает аналогично режиму T1 (однаправленная спонтанная передача данных), но используется другой радиоканал. Режим S2 аналогичен режиму T2, но также с использованием другого радиоканала.

Режим C

Данный режим похож на режим T, но использует другую схему кодирования (NRZ). Скорость передачи от счетчика к «другому» устройству — 100 кбит/с, в обратном направлении — 50 кбит/с. Подрежимы: C1 — однонаправленная связь; C2 — двунаправленная связь.

Физический уровень

Физический уровень стандарта EN 13757-4:2010 реализован в виде трех радиоканалов:

- А — частота 868,3 МГц, скорость 32,768 кбод, манчестерский код;
- В — частота 868,95 МГц, скорость 100 кбод, код 3 из 6;
- С — частота 868,03 МГц, скорость 4,8 кбод, манчестерский код.

Точные характеристики радиоканала можно найти в документе [5] и в описании стандарта EN 13757-4.

Канальный уровень

Канальный уровень стандарта EN 13757-4:2010 определяет два различных формата фрейма — А и В. Поля из нескольких байт передаются с младшего байта, за исключением поля CRC, в котором сначала передается старший байт.

Формат А может использоваться в любом режиме стандарта EN 13757-4:2010. Он имеет вид:

Преамбула—Блок 1—Блок 2—Блок *n*—Заключение.

Преамбула используется для синхронизации передатчика и приемника. Стандарт EN 13757-4:2010 определяет минимальную длину преамбулы, которая зависит от используемого режима:

- S — 6 байт при использовании короткой преамбулы или 72 байта (длинная преамбула);
- T — 6 байт;
- R2 — 12 байт;
- С — 8 байт;
- N — длина преамбулы зависит от типа модуляции (4 байта для GFSK и GMSK, 8 байт для 4GFSK);
- F — 12 байт.

Модули ME50-868 при передаче фреймов всегда используют минимально требуемую длину преамбулы (таблица 2).

Блоки 2 и *n* необязательны. В фрейме А может входить несколько блоков *n*, их количество зависит от длины поля данных. Заключение фрейма А — это короткая последовательность бит, добавляемая в конце фрейма в режимах S, T и R2.

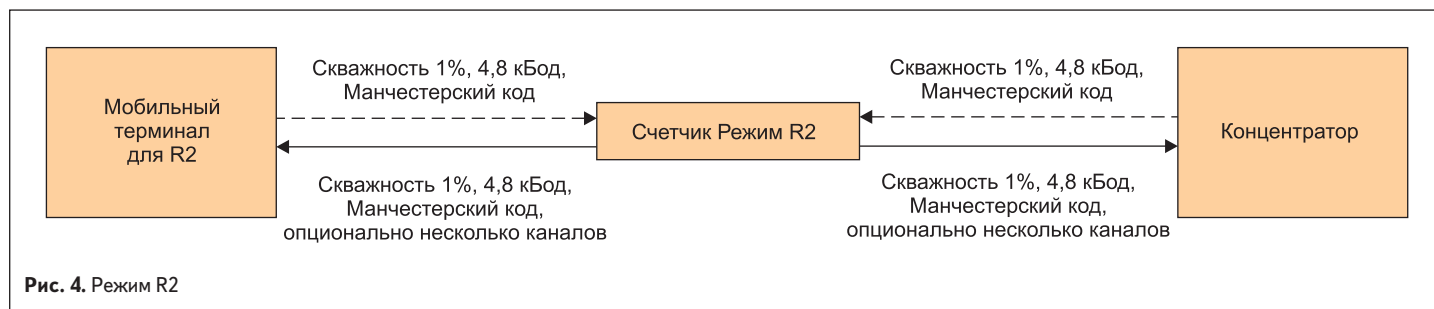


Рис. 4. Режим R2

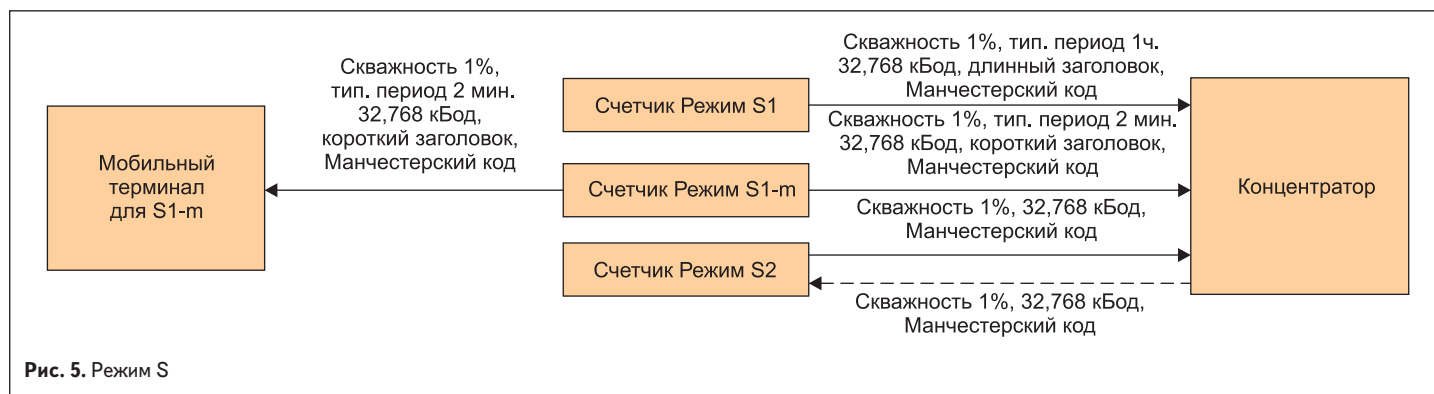


Рис. 5. Режим S

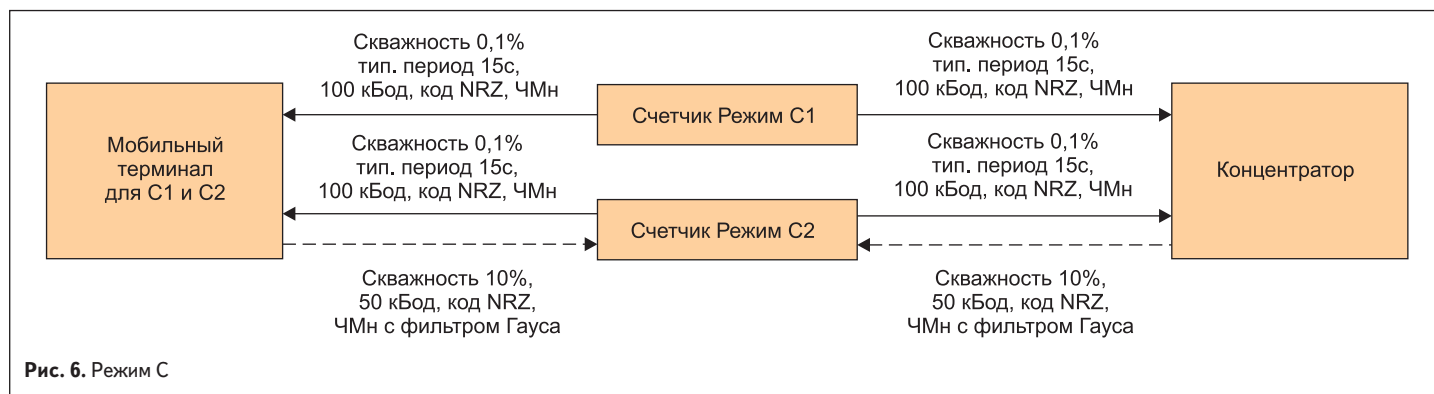


Рис. 6. Режим C

Таблица 2. Структура полей фрейма формата А

Блок	Поле	Длина, байт
1	L	1
	C	1
	M	2
	A	6
2	CRC	2
	CI	1
	Поле данных	15 или (L-9) mod 16-1
n	CRC	2
	Поле данных	16 или (L-9) mod 16

Формат В может опционально применяться в режимах С, N и F. Его структура:

Преамбула—Блок 1—Блок 2—Блок 3.

Как и в формате А, преамбула необходима для синхронизации передатчика и приемника. Ее длина составляет: 8 байт для режима С; 4 или 8 байт для N (зависит от типа модуляции); 12 для F. Структура полей «Блок 1», «Блок 2» и «Блок 3» показана в таблице 3.

Таблица 3. Структура полей фрейма формата В

Блок	Поле	Длина, байт
1	L	1
	C	1
	M	2
	A	6
2	CI	1
	Поле данных	115 или (L-12)
	CRC	2
3	Поле данных	(L-129)
	CRC	2

Поля «Блок 2» и «Блок 3» опциональны. Если поле данных превышает число байт, разрешенных в Блоке 2, то только тогда применяется Блок 3. Поле CRC Блока 2 рассчитывается для объединенных Блоков 1 и 2.

Назначение служебных полей данных

Служебные поля, приведенные в предыдущих пунктах:

- L — индикатор длины: в формате фрейма А это поле не включает длину CRC, а в формате В включает.
- C — обозначение типа связи (запрос, посылка, ожидание ответа, ACK и др.).
- M — это ID производителя посылающего устройства.
- A — адрес отправителя. Он состоит из идентификационного номера (4 байта), кода версии (1 байт) и кода типа устройства (1 байт).
- CI — контрольная информация для определения протокола, используемого на верхнем уровне.

«Беспроводной М-Bus» — это протокол, использующий несбалансированную передачу, описанную в стандарте IEC 60870-5-2. Формат поля С показан в таблице 4.

Таблица 4. Формат контрольного поля

RES	PRM	FCB	FCV	Function			
		ACD	DFC	бит 3	бит 2	бит 1	бит 0
бит 7	бит 6	бит 5	бит 4				

Значение битов 5 и 4 зависит от значения бита 6 (PRM): если PRM установлен в «1», биты 5 и 4 определяются как поля FCB и FCV, иначе — как поля ACD и DFC. RES — резервный бит, он должен быть установлен в «0». PRM показывает направление передачи фрейма: от головного устройства к вторичное (установлен в «1») или наоборот («0»). Роль счетчика и концентратора как головного или вторичного устройства определяется приложением. FCB (Frame Count Bit) используют для выявления повторов: его значение должно переключаться между «0» и «1» при успешной передаче фреймов от головного устройства к тому же второстепенному устройству. FCV (Frame Count Valid) в фрейме, отправленном от головного устройства, определяет использование механизма обнаружения повторов. FCB используется, когда бит FCV установлен в «1». ACD (Access Demand), установленный в «1», показывает, что более высокий приоритет имеют готовые к отправке данные вторичного устройства, запрошенные головным устройством. DFC (Data Flow Control), установленный в «1», показывает, что ведомое устройство не может обрабатывать последующие фреймы головного устройства. Данный бит может быть использован в качестве механизма контроля потока для предотвращения переполнения данных на ведомой станции. Function — это числовой код, определяющий тип отправленного фрейма, он зависит от направления передачи данных: от головного устройства на ведомое или наоборот.

Расширенный каналный уровень

Если поле CI принимает значение 0x8C, 0x8D, 0x8E или 0x8F, первый байт поля данных содержит расширение каналного уровня, за которым следует другое поле CI, а затем уже данные прикладного уровня. Формат расширения каналного уровня зависит от значения поля CI, в таблице 5 показаны его варианты.

СС — это поле контроля установленного соединения. Его расшифровка такова:

- В — бит 7. Определяет тип передачи: «1» — двунаправленная, «0» — однонаправленная.
- D — бит 6. Определяет задержку ответа: «1» — малая задержка, «0» — большая задержка.

Таблица 5. Форматы расширения каналного уровня

Значение поля CI	Поле	Длина, байт
0x8C	CC	1
	ACC	1
0x8D	CC	1
	ACC	1
	SN	4
	PayloadCRC	2
0x8E	CC	1
	ACC	1
	M2	2
	A2	6
0x8F	CC	1
	ACC	1
	M2	2
	A2	6
	SN	4
	PayloadCRC	2

- S — бит 5. Определяет тип фрейма: синхронизированный («1») или не синхронизированный («0»).
- H — бит 4. Указывает на использование ретранслятора: «1» — фрейм передан.
- P — бит 3. Определяет уровень приоритета: «1» — высокий.
- A (Accessibility) — бит 2. Используется совместно с В, указывает, что счетчик доступен к приему данных после передачи фрейма.
- R (Repeated access) — бит 1. Используются ретрансляторами согласно стандарту [2].
- Бит 0 зарезервирован.

Поле ACC — это номер доступа. Используется для определения повторяющихся фреймов и связи фреймов запроса и ответа.

SN (Session Number) — это четырехбайтное поле (первым передается младший байт). Его структура:

- ENC — биты 31–29. Определяет применение шифрования. Если значение поля «0», то шифрование не применяется; «1» — применение AES-128 в режиме счетчика; другие значения зарезервированы для будущего использования. Если используется AES-128 в режиме счетчика, то остальные байты фрейма (кроме поля CRC) будут зашифрованы.
- Time — биты 28–4. Счетчик относительных минут совместно с полем Session гарантирует, что зашифрованная передача защищена от повторяющихся атак.
- Session — биты 3–0. Индекс сеанса связи с отсчетом от нуля.

Поля M2 и A2 используются со значениями 0x8E и 0x8F поля CI, как правило, для передачи данных от концентратора на счетчик и отображают ID производителя и адрес получателя фрейма. Формат данных полей аналогичен формату полей M и A соответственно.

Прикладной уровень

Если прикладной уровень определен использованием стандарта EN 13757-3, то, в зависимости от значения поля CI, первый байт поля данных может содержать заголовок данных, описанный ниже. Определено два типа заголовка данных: короткий и длинный. Короткий задается, если поле CI принимает одно из следующих значений: 0x5A, 0x61, 0x65, 0x6A, 0x6E, 0x74, 0x7A, 0x7B, 0x7D, 0x7F и 0x8A. Его формат:

- ACC — 1 байт;
- STS — 1 байт;
- Conf — 2 байта.

Длинный заголовок задается, когда в поле CI находится одно из следующих значений: 0x5B, 0x60, 0x64, 0x6B, 0x6C, 0x6D, 0x6F, 0x72, 0x73, 0x75, 0x7C, 0x7E, 0x80, 0x84, 0x85 или 0x8B. Формат длинного заголовка приведен в таблице 6.

Набор полей «Идентификационный номер», «ID производителя», «Версия» и «Тип устройства» определяет адрес устройства в используемом прикладном уровне.

Стандарт EN 13757-3:2011 определяет два криптографических алгоритма для М-Bus протокола: DES и AES-128. Оба они работают в режиме сцепления блоков шифротекста. Коды 2–5 различают четыре различных режима шифрования: 2 и 3 определяют использование

Таблица 6. Формат длинного заголовка

Поле	Длина, байт	Назначение
Идентификационный номер	1	Уникальный код устройства из восьми двоично-десятичных символов.
ID производителя	1	Идентификатор производителя.
Версия	2	Номер версии устройства.
Тип устройства	1	Функциональный тип устройства (например, электросчетчик).
ACC	1	Номер доступа, используется для выявления повторяющихся фреймов и связывает фреймы запроса и ответа.
STS	1	Байт статуса. Значение зависит от того, был фрейм послан счетчиком или концентратором.
Conf	2	Конфигурационное слово, определяет используемый метод шифрования фрейма.

алгоритма DES, а 4 и 5 — AES-128. Код 3 требует использования длинного заголовка для инициализации режима сцепления блоков шифротекста (Cipher Block Chaining, CBC). Остальные три режима могут использоваться как с длинным заголовком, так и с коротким.

Конфигурационное слово заголовка данных содержит длину зашифрованного содержимого (в первом байте) и код метода шифрования (в четырех младших битах второго байта). Поскольку шифрование и дешифрование может быть выполнено поблочно, количество зашифрованных байт кратно размеру блока (8 для DES и 16 для AES-128). Таким образом, 3 или 4 младшие биты

первого байта конфигурационного слова не входят в количество зашифрованных байт и могут быть использованы для других целей.

В заголовке фреймов канального уровня Wireless M-Bus заданы идентификатор производителя и адрес передающего устройства в поле M и A соответственно. Совокупность этих двух полей называют «Адрес канального уровня» (Link Layer Address, LLA). В фреймах, отправленных концентратором, дополнительные поля необходимы для идентификации счетчика получателя. Для этой цели используется «Адрес прикладного уровня» (Application Layer Address, ALA). LLA и ALA отличаются относительным

положением их субполей: в LLA ID производителя является первым субполем, а в ALA он вставляется между идентификационным номером и версией кода.

Характеристики модуля ME50-868

Характеристики модуля ME50-868 с прошивкой, работающей согласно стандарту [1], приведены в таблице 7 [6]. Точно определяет параметры радиочасти стандарт [7].

Стандарт EN 13757-5

Как уже было сказано, протокол Wireless M-Bus описан в европейских стандартах [1] и [2]. EN 13757-5, в отличие от EN 13757-4, предусматривает построение сети со сложной топологией, например иерархической, и определяет работу устройств в нескольких режимах (рис. 7). Модули ME50-868 компании Telit поддерживают режим Q стандарта EN 13757-5 [8].

Режим Q

Режим Q описан в части 7 стандарта [2]. В данном режиме протокола Wireless M-Bus в состав сети входит головное устройство (дата-центр или концентратор) и несколько второстепенных устройств. Режим предусматривает сеть с иерархической топологией: головное устройство выступает в роли корневого узла, вторичные устройства могут исполнять роль роутеров, счетчиков или обе функции одновременно. Связь между первичным устройством и счетчиком может быть установлена напрямую или через несколько промежуточных узлов сети (роутеров). Роутеры увеличивают дальность связи, так что концентратор может связаться со счетчиком, находящимся за пределами охвата радиосвязи головного устройства. Типичный поток данных состоит из запроса головного устройства счетчику и его последующего ответа, счетчик может отправить данные на концентратор без запроса, например для отчета об аварийной ситуации. Фрейм, передаваемый головным устройством счетчику, называется нисходящим, а фрейм от счетчика к концентратору — восходящим.

Чтобы блок сбора данных мог установить связь с любым заданным узлом сети, процедура поиска и протокол управления сетью выбираются таким образом, чтобы они позволяли найти все непосредственно доступные узлы

Таблица 7. Характеристики модуля ME50-868 с прошивкой EN 13757-4:2010

Параметр	Режим	Минимальное значение	Типовое значение	Максимальное значение	Примечание
Центр. частота, МГц	S	868,278	868,3	868,322	25 ppm
	T	868,90	868,95	869	60 ppm
	R	868,313	868,330	868,347	20 ppm
	C (счетчик)	868,928	868,950	868,972	25 ppm
	C (концентратор)	869,503	869,525	869,547	25 ppm
Количество каналов	S	-	1	-	
	T	-	1	-	
	R	-	10	-	868,03+(n × 0,06) (868,03–868,57 МГц)
	C	-	1	-	
Выходная мощность, дБм	S	-	+13	+14	EN 300 220-2 v2.3.1. Выбирается программно от 0 до +14 дБм
	T	-			
	R	-			
	C	-			
Скорость передачи, кБод	S	-	32,768	-	±1,5%
	T	90	100	110	
	R	-	4,8	-	±1,5%
	C (счетчик)	-	100	-	
	C (концентратор)	-	50	-	
Девияция частоты, кГц	S	±40	±50	±80	EN 13757-4
	T	±40	±50	±80	
	R	±4,8	±6	±7,2	
	C (счетчик)	±33,75	±45	±56,25	
	C (концентратор)	±18,75	±25	±31,25	
Скважность, %	S	-	0,02	1	EN 300 220-2 v2.3.1 EN 13757-4
	T	-	-	0,1	
	R	-	-	1	
	C (счетчик)	-	-	0,1	
	C (концентратор)	-	-	10	
Чувствительность, дБм	S	-	-100	-	EN 13757-4
	T	-	-101	-	
	R	-106	-107	-108	
	C	TBD	TBD	TBD	
Ширина полосы приема, кГц	S	-	80	-	
	T	-	200	-	
	R	-	10	-	
	C (счетчик)	-	500	-	
	C (концентратор)	-	250	-	

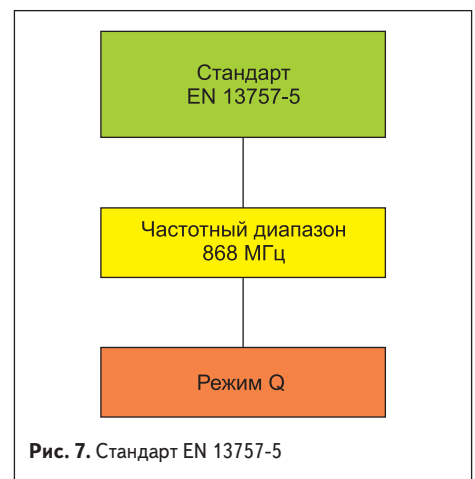


Рис. 7. Стандарт EN 13757-5

и определить путь к узлам, которые находятся вне зоны непосредственной радиосвязи.

Узлы сети могут быть переведены в режим пониженного энергопотребления, в котором радиоприемник обычно отключен и периодически включается на короткие промежутки времени. Сигнал пробуждения может быть послан перед кадром данных с целью убедиться, что конечный узел вышел из режима пониженного энергопотребления и готов к приему кадра данных. В модуле ME50-868 длительность сигнала пробуждения составляет 5,2 с, таким образом, узел сети гарантированно получит фрейм данных, если его радиоприемник включается хотя бы каждые 5 с.

Перед отправкой фрейма данных узел сети прослушивает радиоканал, чтобы определить, не ведет ли передачу другой узел сети в данный момент, и, соответственно, уменьшить вероятность коллизии. Механизм подтверждения может быть использован для обеспечения обратной связи по результату успешного приема фрейма данных. Если процедура подтверждения активна, на каждом этапе передачи от источника получателю принимающий узел должен подтвердить получение фрейма данных, иначе передающий будет ретранслировать этот фрейм, пока не получит подтверждение или не превысит максимальное число попыток.

Физический уровень

Протокол Wireless M-Bus по стандарту [2] использует модуляцию GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying — вид частотной манипуляции модуляцией, при которой используется фильтр Гаусса) в частотном диапазоне 868 МГц. В режиме Q устройство может использовать 10 различных радиоканалов, центральная частота первого радиоканала 868,03 МГц, шаг 60 кГц между соседними каналами; фрейм передается со скоростью 4,8 кбит/с с NRZ-шифрованием.

Канальный уровень

Фрейм данных канального уровня в режиме Q стандарта EN 13757-5 имеет структуру, показанную в таблице 8.

Максимальная длина кадра канального уровня — 225 байт. Адрес узла сети состоит из семи байт и может быть одного из следующих типов:

- Адрес устройства, т. е. идентификатор конкретного узла связи. Наиболее значимый бит первого байта всегда равен «0». Этот адрес может быть как физическим (определяется заводом-изготовителем перед реализацией и уникален во всем мире), так и логическим, в последнем случае — чтобы различные устройства в одной сети правильно передавали пакеты между собой. При выборе логического адреса необходимо соблюдать следующее правило: первые три байта (за исключением двух старших бит первого байта) адреса должны быть одинаковыми для всех устройств сети, а последние два байта должны быть уникальными для каждого устройства. Часть логического адреса из первых трех байт, которые являются общими для всех узлов сети, называют «маска адреса» (маска сети).

Таблица 8. Структура фрейма данных канального уровня в режиме Q

Поле	Длина, байт	Назначение
L	1	Отображает длину фрейма, включая и само поле L.
DA	7	Адрес назначения.
SA	7	Адрес источника.
FC	1	Контрольное поле фрейма. Формат указан в таблице 9.
DLY	2	Задержка в миллисекундах, как правило, беззнаковое число с первым младшим байтом. Обозначает время между тем, когда данные прикладного уровня сгенерированы и когда фрейм данных отправлен по радиоканалу. Специальные значения 0xFFFE и 0xFFFF указывают на переполнение и недопустимое значение соответственно.
Поле данных	N	Может содержать данные сетевого или прикладного уровня.
FCS	2	Проверочная последовательность кадра.

Таблица 9. Формат поля FC

Поле	Бит	Значение «1»	Значение «0»
Data	1	Передается фрейм данных.	Передается фрейм подтверждения.
Acknowledge	1	Принимающий узел должен отправить в ответ фрейм подтверждения.	
Reserved	1		
Direct	1	Фрейм передается от источника узлу назначения без промежуточных узлов.	Передача фрейма ведется в несколько этапов.
Search	1	Фрейм передается с использованием процедуры поиска соседнего узла.	
Reserved	3	Биты, зарезервированные под будущее использование. Должны быть установлены в «0».	

- Короткий адрес. Два старших бита первого байта имеют значения «1» и «0» соответственно. Оставшаяся часть первого байта вместе со вторым и третьим байтами берется из «адресной маски» устройства, четвертый и пятый байт устанавливаются в 0xFF, а последние два байта соответствуют последним двум байтам устройства. Узел сети, получивший фрейм с адресом этого типа, должен его обработать, если адресная маска и последние два байта адреса назначения совпадают с маской адреса и последними двумя байтами адреса этого узла.
- Групповой адрес. Два старших бита первого байта установлены в «1». Аналогично короткому адресу, оставшаяся часть первых трех байт содержит маску адреса, а оставшиеся байты установлены в 0xFF. Устройство, получившее фрейм данных с групповым адресом назначения, должно его обработать,

если адрес маски фрейма соответствует адресу маски устройства.

- Широковещательный адрес. Все биты поля адреса назначения установлены в «1». Каждое устройство, получившее фрейм с таким адресом назначения, должно его обработать.

Сетевой уровень

Если фрейм передается непосредственно от источника получателю, т. е. бит Direct поля FC установлен в «1», то поле данных содержит только данные прикладного уровня. Если фрейм должен передаваться через промежуточные узлы до конечного узла, то первая часть поля данных содержит заголовок сетевого уровня с информацией, необходимой промежуточным узлам для маршрутизации фрейма до его получателя. Данные прикладного уровня следуют за заголовком сетевого уровня. Формат заголовка сетевого уровня показан в таблице 10.

Таблица 10. Заголовок сетевого уровня

Поле	Длина, байт	Назначение
NCtrl	1	Поле контроля сети.
TID (Transfer Identification)	1	Используется для определения соответствия запроса от головного устройства второстепенному и ответа второстепенного устройства. Значение TID увеличивается на единицу при каждом последующем запросе первичного устройства, и в ответе устанавливается в то же значение, что и в запросе. Значение «0» зарезервировано для нежелательных сообщений от вторичных устройств.
Destination	7	Адрес второстепенного устройства на одном конце маршрута между источником и получателем.
Source	7	Адрес головного устройства на другом конце маршрута между источником и получателем.
TTL (Time To Live)	1	Количество промежуточных этапов между источником и получателем (максимум 10). Инициализируется источником и уменьшается на единицу на каждом промежуточном узле.
SNR (Signal to Noise Ratio)	1	Соотношение сигнал-шум радиоканала между соседними узлами. Инициализируется узлом-отправителем и может быть обновлено каждым узлом на пути от источника к получателю, в соответствии с содержимым поля NCtrl. Узел сети, который не поддерживает измерения соотношения сигнал-шум, не обновляет значение данного поля.
Nodes	1	Количество промежуточных узлов между источником и получателем (максимум девять).
Current	1	Указатель на узел-приемник для текущего перехода. Во время нисходящей передачи это поле устанавливается в «1» источником и увеличивается на единицу на каждом промежуточном узле; при передаче данных вверх это поле устанавливается в значение поля Nodes источником и уменьшается на единицу на каждом промежуточном узле.
Address List	Nx2 байта	Список промежуточных узлов между источником и получателем в порядке нисходящего потока. Каждая запись — это два байта сокращенного адреса, соответствующих двум младшим байтам адреса промежуточных узлов.

Таблица 11. Поле NCtrl

Поле	Бит	Значение «1»	Значение «0»
Reserved	1		
Req/Resp	1	Во фрейме запроса (нисходящем).	Во фрейме ответа.
Error	1	Во фрейме, содержащем информацию об ошибках в их прикладном уровне.	
Agg SNR	1	Каждый промежуточный узел может обновить поле SNR в заголовке сетевого уровня, чтобы получить минимальное значение соотношения сигнал—шум на маршруте от источника до получателя.	Только узлы в последнем переходе (ближайшие к второстепенному устройству) могут обновить значение поля SNR, чтобы получить соотношение сигнал—шум между счетчиком и ближайшим маршрутизатором.
Reserved	4	Зарезервированные биты. Должны быть установлены в «0»	

Таблица 12. Формат TLV

Поле	Длина, байт	Назначение
Tag	1	Код типа данных прикладного уровня в поле Value.
Length	1	Длина в байтах поля Value.
Value	N	Содержит данные прикладного уровня, длина этого поля определяется полем Length.

Таблица 13. Параметры модуля ME50-868 в режиме Q

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	2,0–3,6
Частотный диапазон, МГц	868,0–868,6
Количество радиоканалов	10
Скорость радиоканала, кбит/с	4,8
Выходная мощность при напряжении 3,6 В, мВт	1–25 (настраивается программно)
Чувствительность, дБм	–108
Ток потребления при передаче (мощность 25 мВт), мА	39
Ток потребления при приеме, мА	28
Ток потребления в спящем режиме, мкА	1,9 (радиоприемник активен)
	1,4 (радиоприемник отключен)

Формат поля NCtrl показан в таблице 11.

Каждый промежуточный узел от источника до получателя обновляет поля TTL и Current заголовка сетевого уровня получаемого фрейма данных и направляет этот фрейм к следующему узлу, используя информацию, содержащуюся в заголовке. Если адрес следующего узла является сокращенным, то он преобразуется в короткую форму адреса, используя адрес маски следующего узла сети. Это значит, что адреса маски всех второстепенных устройств заданной сети должны быть одинаковыми, чтобы получать фреймы друг от друга.

Прикладной уровень

Для формирования данных прикладного уровня используется формат TLV, показанный в таблице 12.

Поле данных прикладного уровня может содержать несколько форматов TLV — при

условии, что размер фрейма не превышает максимального значения (255).

Параметры модуля ME50-868 в режиме Q

В таблице 13 приведены параметры модуля ME50-868 компании Telit в режиме Q.

Заключение

Протокол Wireless M-Bus является наиболее интересным решением для построения сетей, предназначенных для получения данных с устройств учета расхода энергии, будь то электросчетчики, счетчики расхода газа и воды, теплосчетчики и др. Протокол беспроводной, что упрощает установку счетчиков расхода, так как не требуется монтаж проводного интерфейса. Устройства, использующие данный протокол для передачи данных, не потребуют больших дополнительных энергозатрат для коммуникации. Протокол описан в двух европейских стандартах [1] и [2], которые

описывают работу устройств на физическом, канальном и сетевом (для EN 13757-5) уровнях. Режимы работы по радиоканалу, заданные этими стандартами, просты для понимания и реализации. Стандарты предусматривают работу в трех частотных диапазонах: 169, 433 и 868 МГц (в России диапазон 169 МГц закрыт для гражданского использования).

Модули компании Telit ME50-868 работают в разрешенном частотном диапазоне с выходной мощностью 1–25 мВт, что позволяет использовать эти модули без дополнительной сертификации и получения разрешения. Модули ME50-868 поставляются со встроенным стекком и легко настраиваются через последовательный порт при помощи ПО SR Manager Tool компании Telit и AT-команд. Небольшие габариты, малое энергопотребление, легкость монтажа и управления модулями делает их прекрасным решением для использования в устройствах учета. ■

Литература

- EN 13757-4:2010 Communication systems for meters and remote reading of meters. Part 4. Wireless meter readout (Radio meter reading for operation in the 868 MHz to 870 MHz SRD band).
- EN 13757-5:2010 Communication systems for meters and remote reading of meters. Part 5. Wireless relaying.
- ETSI EN 300 220-1 V2.4.1. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW. Part 1. Technical characteristics and test methods.
- Telit Wireless M-Bus 2010. Part 4. User Guide. Rev. 4. 2012-11-09.
- Texas Instruments. Application Note: AN067 — Wireless MBUS Implementation with CC1101 and MSP430 (Rev. A).
- Telit Wireless M-Bus. Part 4, 5. Mode R2. User Guide. Rev. 5. 2011-06-23.
- ETSI EN 300 220-2 V2.3.1. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Short Range Devices (SRD); Radio equipment to be used in the 25 MHz to 1 000 MHz frequency range with power levels ranging up to 500 mW. Part 2. Harmonized EN covering essential requirements under article 3.2 of the R&TTE Directive.
- Telit Wireless M-Bus. Part 5. Mode Q. User Guide. Rev. 1. 2011-05-06.