

# Программно-аппаратный комплекс IQRF

для работы с беспроводными Mesh-сетями ISM-диапазона. Часть 1

**Компания MICRORISC под маркой IQRF выпускает трансиверы и законченные изделия ISM-диапазона. Оборудование поддерживается мощным программным обеспечением, позволяющим создавать и настраивать Mesh-сети с минимальными затратами и в кратчайшие сроки. Устройства IQRF предназначены для автоматизации промышленных процессов, коммунального хозяйства, телеметрии, контроля городского освещения и других аналогичных направлений.**

**Виктор Алексеев**

**Денис Можайков**  
Denis.Mozhaikov@euroml.ru

## Продукция IQRF

В последние годы открытый безлицензионный диапазон частот ISM широко используется в беспроводных низкоскоростных системах автоматизации с низким энергопотреблением. Основными преимуществами таких систем являются простые протоколы передачи данных и высокая проникающая способность радиоволн в зданиях и в условиях городских застроек. Поэтому трансиверы этого диапазона имеют радиус действия больше, чем Bluetooth- и ZigBee-устройства, работающие в диапазоне 2,4 ГГц.

В Российской Федерации для работы в ISM-диапазоне выделены частотные диапазоны 433,075–434,750 МГц и 868,7–869,2 МГц. Эти радиочастоты могут использоваться без оформления специального разрешения ГКРЧ при условии соблюдения требований по ширине полосы, излучаемой мощности (до 10 мВт в полосе частоты 434 МГц и до 25 мВт в полосе частоты 868 МГц) и назначению радиопередающего изделия [1].

MICRORISC постоянно совершенствует программно-аппаратный комплекс IQRF, разработанный для работы с беспроводными

Mesh-сетями ISM-диапазона [2]. Сами разработчики называют свою продукцию «развивающейся экосистемой для беспроводных Mesh-сетей». IQRF включает в себя четыре основных блока:

- интеллектуальные приемопередатчики диапазона 433, 868 и 916 МГц;
- набор программного обеспечения (ПО);
- комплекты отладочного оборудования;
- полностью законченные изделия ISM-диапазона.

Линейка IQRF-трансиверов, содержащая модели различной мощности, с разными размерами и функциями, позволяет разработчику выбрать оптимальный вариант, необходимый для решения конкретной задачи (рис. 1).

Интеллектуальные приемопередатчики IQRF содержат современные управляющие микроконтроллеры, позволяющие решать сложные прикладные задачи, связанные с пакетной передачей данных (до 64 байт в пакете). Дальность действия различных моделей варьируется в диапазоне от десятков до сотен метров (максимум 500 м). Отличительной особенностью трансиверов является очень низкое энергопотребление в спящем режиме и в режиме передачи данных.

Трансиверы IQRF работают на частотах 433, 868 и 916 МГц. Выбор рабочей частоты осуществляется на программном уровне. Скорость передачи 19,2 кбит/с. Выходная мощность 3,5–12,5 мВт. Устройства соответствуют всем требованиям ГКРЧ и могут быть использованы свободно на всей территории РФ, без дополнительных лицензий и разрешений. Трансиверы IQRF могут работать в Mesh-сетях с различными режимами маршрутизации (Full MESH, Reduced MESH, Optimized MESH). Общее количество устройств в сети может достигать 65 000 трансиверов.

**Компания MICRORISC, основанная в 1991 г., получила известность во всем мире, прежде всего, благодаря уникальным разработкам и производству модулей ISM-диапазона. Кроме того, фирма является официальным дистрибьютором Microchip, Fujitsu, Hirose, Kinetic и других ведущих производителей электронных компонентов. Департамент R&D фирмы MICRORISC разрабатывает ISM-трансиверы и программное обеспечение, предназначенные для автоматизации промышленных процессов, коммунального хозяйства, телеметрии, контроля городского освещения и других аналогичных направлений. Продукция фирмы защищена более чем двадцатью патентами. Фирма имеет сертификат соответствия ISO9001. Головной офис находится в Чехии. Филиалы — в США (Florida), Китае (Shenzhen), Германии и Польше.**

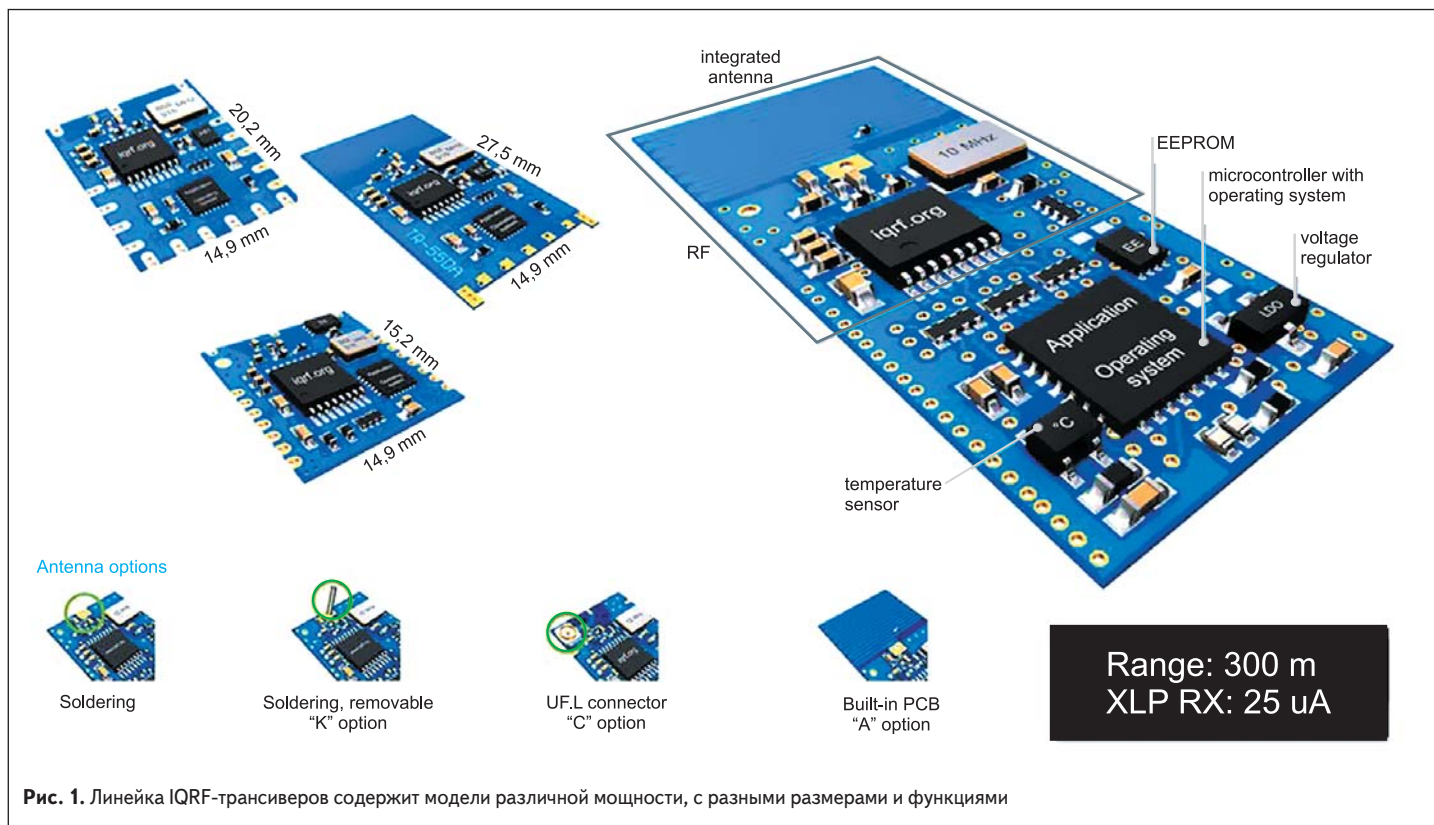


Рис. 1. Линейка IQRF-трансиверов содержит модели различной мощности, с разными размерами и функциями

На базе трансиверов выпускаются также полностью готовые к работе изделия [3]. В готовой продукции IQRF можно выделить три основные категории: шлюзы для коммутации в другие сети, ISM-роутеры и ISM-модемы для специальных целей.

В настоящее время выпускаются следующие типы шлюзов: GW-USB-05 (USB-шлюз), GW-ETH-01 (Ethernet-шлюз), GW-GSM-02A (GSM-шлюз), шлюзы с сенсорным экраном VCP-01 (Ethernet, USB, RS-485 шлюз), VCP-04 (USB, Infrared) [4].

Особый интерес в этом семействе представляет новая модель VCP-04 — полностью законченный USB/ISM-шлюз с большим сенсорным экраном (3,5", 320×480 пикселей, 262144 цвета) [5]. Этот шлюз работает под управлением двух микроконтроллеров — основного MCU PIC32MX7 и вспомогательного MCU PIC12F615. Модель имеет встроенное ПО, позволяющее настраивать параметры трансиверов в Mesh-сетях через координатор, без подключения ко внешнему ПК. Внешний вид VCP-04 показан на рис. 2.

Роутеры ISM-диапазона предназначены для масштабирования сетей IQMESH. Модель RT-230-05 выполнена на базе трансивера IQRF TR-52B. Это полностью готовый к работе ISM-модем, изготовленный в форм-факторе сетевого адаптера (аналогично зарядному устройству для телефона), который вставляется в обычную розетку 220 В [6].

В линейке модемов IQRF специального назначения выпускаются четыре модели. Пульты управления RC-03 и RC-04 посылают пакеты в ISM-диапазоне при нажатии одной из управляющих кнопок. Питание осуществляется от миниатюрной батареи. Спящий режим с минимальным потреблением позволяет

эксплуатировать эти пульты без подзарядки в течение продолжительного времени [7].

Беспроводное реле DV-SW1-05 может коммутировать токи до 3 А при получении внешней управляющей команды. Эти устройства также изготовлены в форм-факторе сетевого адаптера с питанием от сети переменного тока 220 В.

Многофункциональный, беспроводной, программируемый сенсор SHD-SE-01, разработанный на базе трансивера TR-54DA, имеет температурный датчик, трехмерный датчик движения и датчик освещенности.

Несмотря на ряд неоспоримых преимуществ и относительно низкие цены, до сих пор сети ISM-диапазона не получили в России широкого распространения. Одной из причин, сдерживающих развитие таких сетей, является отсутствие поддержки процесса их автоматического развертывания и необходимость написания достаточно сложного прикладного ПО.

Запатентованная архитектура IQRF-приемопередатчиков имеет два программных слоя:

- операционная среда IQRF OS, загруженная в модули на заводе-изготовителе;
- ПО пользователя, которое разработчики могут создавать самостоятельно с помощью специальных приложений и отладочных средств.

Трансиверы можно программировать двумя способами. В первом варианте используется нижний уровень, и программы создаются непосредственно под IQRF OS на языке Си с помощью C++ Builder XE2. Конечный файл в машинном коде с расширением *.hex* можно получить с помощью компилятора для PIC-микроконтроллеров [10].

В другом случае используется протокол высшего уровня IQRF DPA, о котором подробнее будет сказано ниже [11].

Все системные функции в IQRF OS реализуются с помощью специальных команд, например *pulseLEDG*, которая включает зеленый светодиод на удаленном устройстве. Для включения светодиода нужно послать устройству пакет со следующими командами:

```
setOnPulsingLEDG(10); //Задается время,
через 100 мс светодиод выключится
pulseLEDG(); //Включение светодиода
```

Подробно работа с функциями IQRF OS описана в [8].

IQRF OS может быть расширена с помощью дополнительных приложений, которые, в основном, поставляются производителем, но могут также быть разработаны самостоятельно. Эти специальные приложения реализованы в виде плагинов, интегрируемых в основную программную среду, и выполнены в виде отдельных библиотек, которые содержат решения для большинства реальных практических задач.



Рис. 2. Внешний вид VCP-04 USB/ISM-шлюза с большим сенсорным экраном

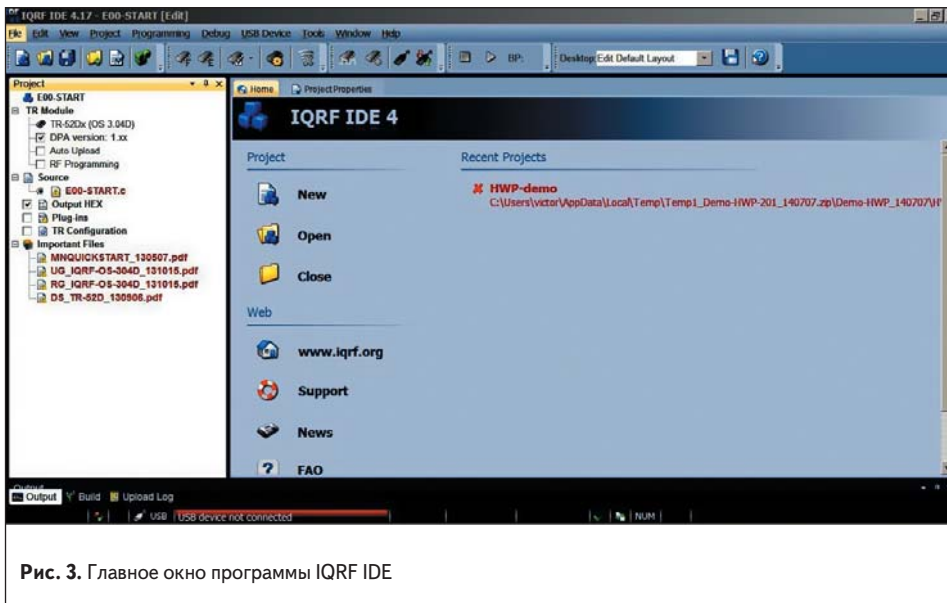


Рис. 3. Главное окно программы IQRF IDE

На сайте IQRF в свободном доступе [12] есть много примеров для C++ Builder XE2:

- работа с сетями IQMESH;
- спящий режим;
- температурные датчики;
- светодиодная индикация режимов работы;
- работа с трансивером;
- контроль состояния RAM и EEPROM;
- работа с интерфейсом SPI;
- пульт дистанционного управления;
- дистанционно управляемые реле;
- шины I<sup>2</sup>C;
- аналого-цифровой преобразователь, вольтметр;
- аналого-цифровой преобразователь, датчик освещенности;
- интерфейс 1-Wire шины, измерения температуры;
- безопасный режим передачи данных и др.

Редактировать проекты можно с помощью программы Notepad. Предварительно файлы, написанные на Си, нужно скомпилировать, используя, например, ПО [10]. Для загрузки приложений пользователя предназначен универсальный программатор-дебаггер IQRF CK-USB-04 [13]. Подробно процесс загрузки приложений пользователя в трансиверы IQRF описан в [14].

Дополнительное ПО, содержащее полный комплект приложений пользователя IQRF, — Hardware profile plug-in (HWP) [15]. Программный плагин HWP обеспечивает полномасштабный доступ ко всем ресурсам и сервисам трансиверов и IQRF OS. Файлы приложений HWP могут

быть либо в машинной кодировке *.hex*, либо в специальной кодировке *.iqrif*.

Полный пакет HWP включает в себя следующие базовые блоки ПО [16]:

- General HWP Coordinator SPI и General HWP Coordinator UART — для работы с координатором сетей IQRF по интерфейсам SPI и UART соответственно;
  - General HWP Node SPI и General HWP Node UART — для работы в сетях IQRF с узлами (node) по интерфейсам SPI и UART соответственно;
  - General HWP Coordinator/Node SPI и General HWP Coordinator/Node UART — для работы в сетях IQRF с универсальными трансиверами по интерфейсам SPI и UART соответственно.
- Все отладочные и управляющие программы IQRF объединены в одном пакете, который называется IDE (Integrated Development Environment). Это ПО позволяет не только загружать в модуль готовые проекты, но также создавать свои собственные уникальные приложения пользователя.
- Особенности IQRF IDE:
- сервисные инструменты IQRF-CATS (конфигуратор, анализатор, тестер, сканер);
  - IQMESH менеджер сети — инструменты для управления сетью IQMESH DPA, визуализация и тестирование;
  - совместимость со всеми отладочными комплектами IQRF USB (CK-USB-04, GW-USB-05, и др.);
  - работа с Windows 7/8/8.1/XP/Vista;
  - встроенный драйвер USB и компилятор C-Compiler.

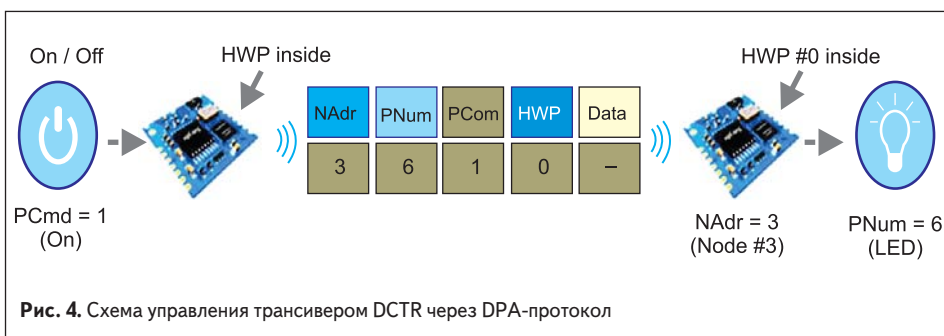


Рис. 4. Схема управления трансивером DCTR через DPA-протокол

Интерфейсы программы просты и удобны в работе. Выход в отдельные функциональные блоки и отладочные средства осуществляется из главного окна программы (рис. 3) [14].

Кроме работы с нижним уровнем и программирования на Си, в IQRF OS имеется возможность работы с верхним уровнем через протокол связи DPA (Direct Peripheral Access). Программный плагин HWP обеспечивает работу с протоколом DPA [11]. Протокол DPA позволяет удаленно управлять работой модулей с помощью отправки пакетов, содержащих специальные команды и данные.

Трансиверы IQRF выпускаются в двух вариантах: стандартные трансиверы TR, программируемые только через операционную среду IQRF OS, и трансиверы DCTR с расширенным программным обеспечением General HWP. Полностью протокол DPA поддерживают только трансиверы DCTR. Трансиверы TR поддерживают только упрощенную версию Demo DPA.

Принцип управления трансивером через DPA-протокол показан на рис. 4.

DPA является байт-ориентированным протоколом, определяющим правила и последовательность выполнения функций в IQRF OS, которые используются для управления устройствами в IQMESH-сетях. Протокол распространяется в виде независимо компилируемого программного модуля IQRF, который динамически подключается к среде IQRF OS.

В протоколе DPA информация передается через интерфейс SPI или UART в виде байт-структурированных сообщений (DPA message). Каждое такое сообщение всегда содержит четыре обязательных параметра: NAdr, PNum, PCom, HwProfile. Кроме того, DPA message может дополнительно содержать байт PData, в котором передается служебная или пользовательская информация. Все параметры записываются в шестнадцатеричном формате.

Параметр PNum занимает объем 1 байт и определяет тип и периферийный адрес для основного и вспомогательного оборудования: координатор, узел, термометр, UART, SPI и другие аналогичные устройства. Сетевой адрес для различных устройств задается с помощью параметра NAdr (объем 2 байта). Так, например, стандартный узел (Node) имеет сетевой адрес «01-EF». Сетевой адрес координатора (Coordinator) — «00». У локальных устройств (Local device) сетевой адрес — «FC». Действие, которое должно быть выполнено сетевым устройством, обусловлено параметром PCom (объем 1 байт).

Особое значение имеет параметр HwProfile (2 байта), который определяет конкретные функциональные параметры адресуемого устройства, выполняемые действия, реакцию на запросы других узлов. При этом только то устройство, которое имеет тот же параметр HwProfile, содержащийся в полученном им запросе, выполнит указанные в сообщении действия.

Для различных типов трансиверов используются разные версии DPA:

- «чистый» координатор;
- стандартный узел;
- трансивер, который может быть использован как в качестве координатора, так и в качестве стандартного узла.

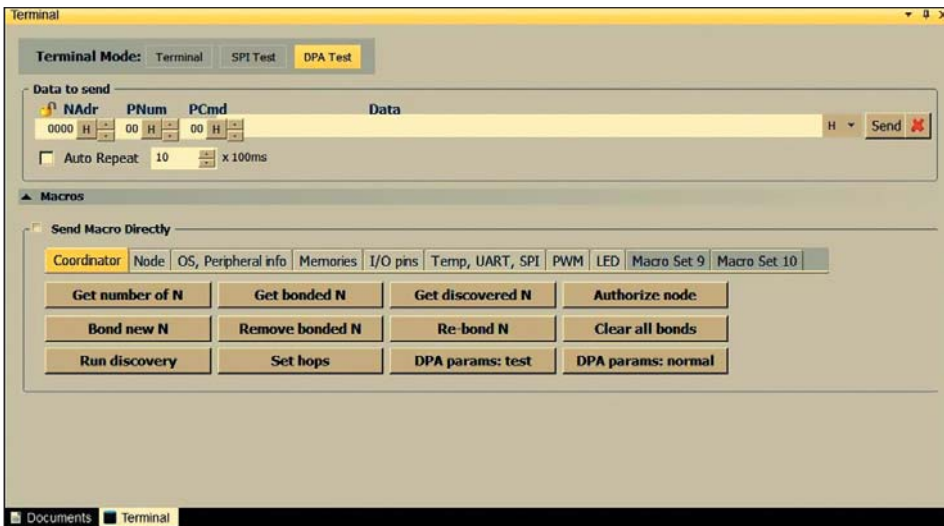


Рис. 5. Окно программы IDE для работы с протоколом DPA



Рис. 6. Окно программы IDE для конфигурирования параметров DPA

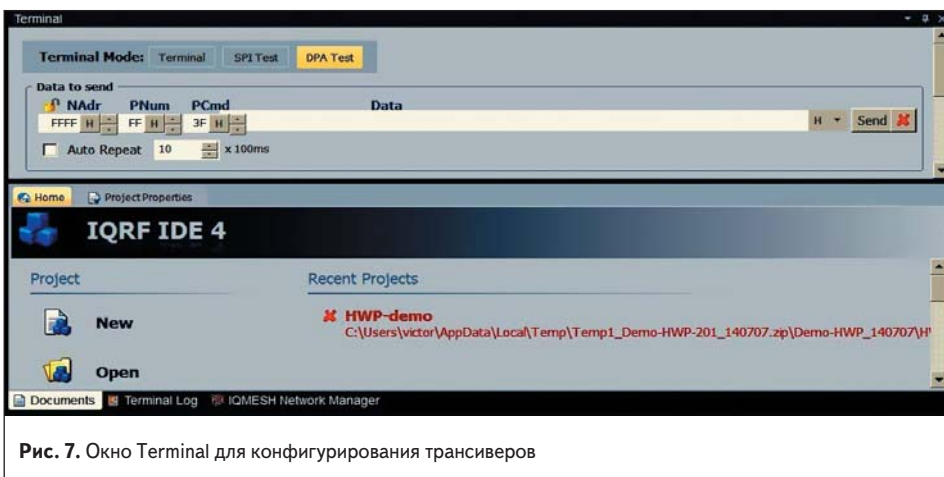


Рис. 7. Окно Terminal для конфигурирования трансиверов

Работа с DPA реализуется с помощью программы IDE (рис. 5). Конфигурацию протокола можно изменять с помощью IDE (DPA-parametre). Значение «0x00» устанавливается по умолчанию при перезагрузке координатора, изменить его можно, используя функцию **Autoexec** (рис. 6).

Следует учитывать, что для работы с интерфейсами SPI и UART используются разные плагины. По умолчанию DPA поддерживает SPI-интерфейс. Для поддержки UART используется версия с расширением IFACEUART. Протокол DPA соответствует байтам DM и DS протокола IQRF SPI. Работа с SPI-интерфейсом подробно описана в [19].

Для работы с UART используется следующая конфигурация: «8 data bits», «1 stop bit», «no parity bit». Скорость передачи данных через UART задается в HWP Configuration.

Используя протокол DPA, можно опрашивать устройства в сети и включать исполнительные устройства, менять их конфигурацию. Так, например, включить зеленый светодиод на удаленном узле с адресом «0x0A» можно с помощью следующих сообщений:

```
DPA request (master→slave)
NAdr=0x000A, PNum=0x07, PCmd=0x01,
HwProfile=0xFFFF
DPA confirmation (slave→master)
NAdr=0x000A, PNum=0x07, PCmd=0x01,
HwProfile=0xFFFF, Data={0xFF}, {0x07}, {0x06, 0x03}
DPA notification (slave→master) at remote node side
NAdr=0x0000, PNum=0x07, PCmd=0x01, Data=<none>
DPA response (slave→master)
NAdr=0x000A, PNum=0x07, PCmd=0x81,
HwProfile=0xABCD, Data={0x00}, {0x06}
```

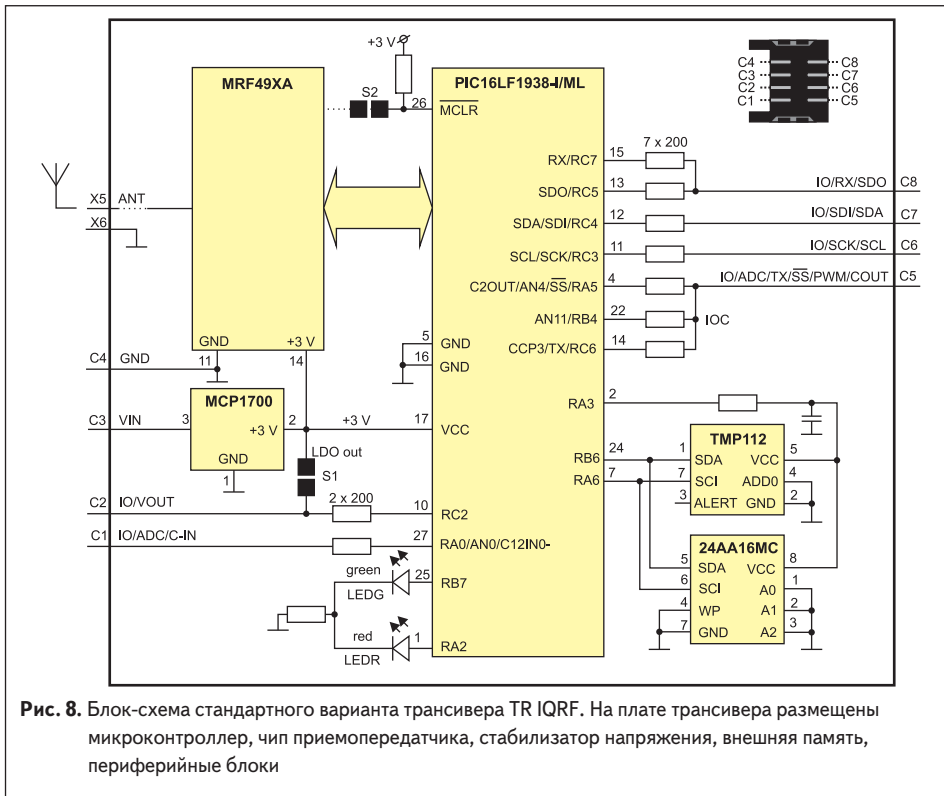
Основное преимущество DPA заключается в том, что программирование трансиверов в IQMESH-сетях может проводиться в автоматическом режиме.

В программе IDE есть специальный раздел **IQMESH Network Manager**, в котором предусмотрен режим визуализации всех подключенных к сети устройств. Чтобы послать сообщение какому-нибудь узлу, нужно в разделе **Terminal** (рис. 7) выбрать нужное устройство из предлагаемого списка подключенных устройств и определить желаемое действие, например **LED Red Pulse** (включить красный светодиод).

Программа автоматически установит значения параметров NAdr, pNum, PCmd, HwProfile для выбранного узла. Кроме того, программа зафиксирует все подключенные к сети активные устройства и рассчитает путь доставки. При нажатии на кнопку **Send** сообщение будет автоматически отослано по оптимальному маршруту. Этот проект можно сохранить и использовать в дальнейшем по умолчанию.

Подробно работа с протоколом DPA описана в [11]. Для настройки оборудования и создания прикладных программ с помощью протокола DPA существует отладочный комплект DS-DPA-01 [20]. При этом трансивер можно подключать к компьютеру через универсальный программатор СК-USB-04A [13]. В [21] приведена подробная пошаговая инструкция по практическому изучению протокола DPA.

Операционная среда IQRF OS обеспечивает работу модулей со следующими топологиями:



В трансиверах IQRF можно с помощью DPA задавать режим формирования сети (discovery), в котором выбирается топология сети, необходимая для передачи данных между узлами, расположенными вне зоны прямой видимости координатора. Более подробно работа трансиверов IQRF в Mesh-сетях будет рассмотрена далее.

## Трансиверы IQRF для работы в диапазоне ISM

На сегодня линейка трансиверов IQRF содержит семь серий: TR-52D, TR-54D, TR-55D, TR-56D, TR-58D-RJ, TR-62D, TR-72D [22].

За исключением двух новых серий TR-62/72, трансиверы IQRF представляют собой маломощные (3,5 мВт, 300 м), миниатюрные (20×15 мм) интеллектуальные приемопередатчики, работающие на частотах 868/916 МГц. Серия TR-54D поддерживает также частоту 433 МГц. Новые серии TR-62D и TR-72D имеют увеличенные по сравнению с другими моделями мощности и, соответственно, радиус действия, достигающий 500 м.

Основные параметры различных серий трансиверов IQRF приведены в таблице 1.

Трансиверы IQRF предназначены для использования в следующих областях:

- телеметрия;
  - автоматизация зданий и сооружений;
  - контроль и управление;
  - удаленный сбор данных;
  - линии связи;
  - беспроводные сети;
  - организация прямого беспроводного соединения в топологии «точка-точка».
- Блок-схема стандартного варианта трансивера TR IQRF показана на рис. 8.

- одноранговые, или пиринговые сети (peer-to-peer, P2P — «равный к равному»);
- IQMESH — ячеистые сети.

В одноранговых сетях отсутствуют координаторы, и каждый узел имеет одинаковый приоритет. Поэтому любые сетевые устройства могут обмениваться друг с другом данными.

Эта топология позволяет формировать сложные сетевые конфигурации. Сеть P2P может быть самоорганизующейся и самовосстанавливающейся. Топология P2P позволяет организовать многошаговые маршруты доставки сообщений от одного участника к другому. Эта топология установлена в модулях IQRF по умолчанию.

Таблица 1. Основные параметры серий трансиверов IQRF

Серия	TR-52D	TR-54D	TR-55D	TR-56D	TR-58D-RJ	TR-62D	TR-72D		
Вид монтажа	SIM	SMT	SIM вертикальный	SMT	Разъем RJ-45	SIM	SIM		
Количество выводов	8	18	12	18	8	8	8		
Пользовательские вводы/выводы I/O	6	12	10	12	4	6	6		
Микроконтроллер PIC	16LF1938								
Память	Flash		16 Кбайт×14 бит						
	RAM		1024 байт						
	EEPROM		256 байт						
Внешняя память EEPROM	256×8 бит								
Базовый ISM-чип приемопередатчика	MRF49XA				MRF49XA	SI4431	SPIRIT1		
Рабочая частота, МГц	868/916	868/916/433			868/916				
Скорость передачи данных, кбит/с	1,2–57,6								
Мощность передатчика, мВт	3,5					7,0	12,5		
Радиус действия, м	300 м					350	530		
Ток потребления	Спящий режим		1,9 мкА	380 нА	380 нА	380 нА	1,9 мкА	1 мкА	1,9 мкА
	Передача Rx	STD	13 мА					30 мА (13 дБм)	22 мА (11 дБм)
		LP	330 мкА					нет данных	
		XLP	25 мкА					нет данных	
Прием Tx		14–24 мА		19 мА	10 мА				
Температурный датчик	TMP112	—	—	—	TMP112				
Линейные регуляторы напряжения	MCP1700T	—	—	—	MCP1700T				
Напряжение питания, В	3,1–5,3	3,0–3,4				3,1–5,3			
Светодиоды	2	—	2	—	2				
Аналого-цифровые входы	3	4	3	4	2	—	нет данных		
Стандартные размеры, мм	25,0×14,9	20,2×14,9	—	15,2×14,9	—	25,0×14,9			
Размеры моделей со встроенными антеннами, мм	31,8×14,9	26,4×14,9	27,5×14,9	—	29×40×52	31,8×14,9			
Рабочий диапазон температур, °С	–40...+85								
Версия ПО	3.05D					—	3.10D		
Стадия производства	Массовое производство					Новая серия	Опытные образцы		

Все трансиверы IQRF изготовлены на базе микроконтроллера PIC16LF1938-I/ML Microchip, который имеет встроенный АЦП (10 бит), ОЗУ (1024 байт), шину данных (8 бит), интерфейсы EUSART и SPI. В памяти микроконтроллера зашита IQRF OS, с помощью которой осуществляется работа трансиверов в сложных IQMESH-сетях. Верхняя область памяти отведена под приложения пользователя.

Для связи с внешними устройствами в трансиверах IQRF используются интерфейсы UART или SPI. IQRF OS позволяет работать с SPI-интерфейсом и подключать модуль к USB-порту компьютера, например с помощью USB-шлюза IQRF (СК-USB-04). Работа с интерфейсами I<sup>2</sup>C и UART может быть реализована с помощью прикладных программ пользователя. Также IQRF OS поддерживает «спящий» режим работы модулей, при которых токи потребления составляют, в зависимости от мощности модели, от 380 нА до 1,9 мкА.

В старых сериях TR-52D, TR-54D, TR-55D, TR-56D, TR-58D используется базовый ISM-чип приемопередатчика MRF49XA Silicon Labs с модуляцией FSK, FHSS, чувствительностью -110 дБм и небольшой мощностью передатчика (+7 дБм). Чип имеет небольшие токи в режиме передачи и приема: 14 и 24 мА.

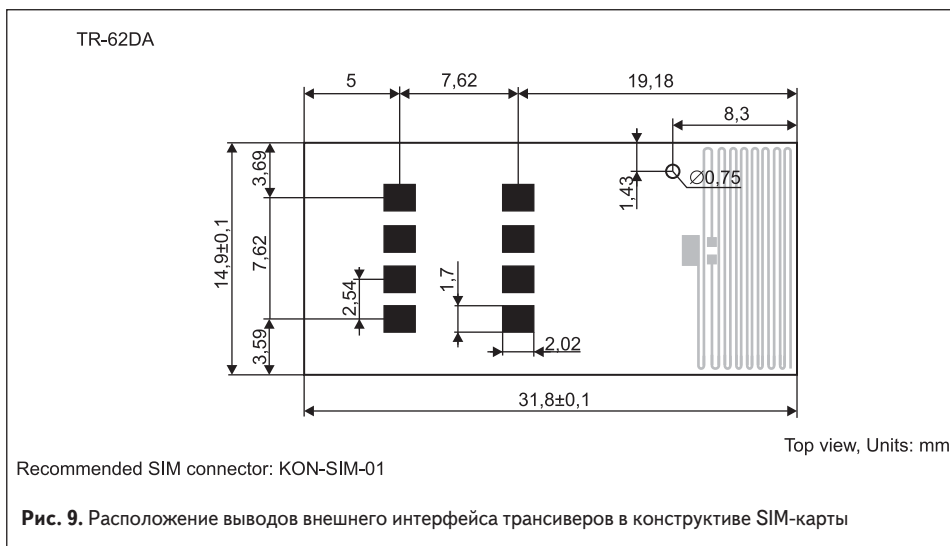
В серии TR-62 используется радиочип RF IC SI4431 Silicon Labs с чувствительностью -121 дБм и выходной мощностью +13 дБм, который поддерживает модуляцию FSK, GFSK, OOK. Этот чип потребляет всего 1 мкА в спящем режиме.

В новой серии TR-72 применена одна из последних моделей чипов производства STMicroelectronics — SPIRIT1QTR, который может работать с различными типами модуляции: 2-FSK, GFSK, MSK, GMSK, OOK и ASK. Выходная мощность выбирается на программном уровне, в зависимости от решаемой задачи (max +16 дБм).

Все серии трансиверов IQRF оснащены EEPROM 24AA16/MC, Microchip, организованной в виде восьми блоков 256×8 бит. Доступ к памяти осуществляется через двухпроводной последовательный интерфейс. Имеется страница для записи данных 16 байт.

Точность и стабильность питающих напряжений в сериях TR-52D, TR-58D-RJ, TR-62D, TR-72D обеспечивается с помощью линейных стабилизаторов с малым падением напряжения LDO (Low DropOut) марки Microchip MCP1700T. Эти регуляторы работают в диапазоне входных напряжений 2,3–6 В, обеспечивая стабильные выходные напряжения 1,2–3 В. Благодаря системе питания и малым рабочим токам трансиверы IQRF могут использоваться в устройствах с батарейным питанием. С помощью MCP1700T организована защита по входу от переполюсовки и значительного превышения входного напряжения при неправильном подключении элементов питания. Кроме того, выходы этого стабилизатора обеспечивают режим (Sleep Mode), в котором отключается выходное напряжение и существенно снижается ток потребления. Также введена защита от протекания обратного тока (Reverse Bias Protected).

Часть моделей серий TR-52D, TR-58D-RJ и TR-62D имеют встроенный датчик температуры



TMP112 Texas Instruments. В серии TR-72 используется температурный датчик MCP9808E/MC. Эти высокоточные, малопотребляющие цифровые сенсоры с двухпроводным последовательным интерфейсом позволяют использовать трансиверы указанных серий в качестве интеллектуальных беспроводных температурных датчиков в промышленных, коммунальных и сельскохозяйственных сетях.

Различаются между собой серии трансиверов назначением, мощностью, радиусом действия, токами потребления, конструктивом, количеством контактов внешнего интерфейса, количеством пользовательских выводов/выводов (табл. 1).

Серии TR-52, TR-55, TR-62, TR-72 выполнены в конструктиве SIM-карты (все внешние контакты трансивера выведены на корпус аналогично держателю SIM-карты) (рис. 9). Специально для таких модулей IQRF выпускает разъем KON-SIM-01. Наименования и назначение выводов внешнего интерфейса

трансиверов, изготовленных в таком конструктиве, приведены в таблице 2.

В трансиверах серий TR-52, TR-62, TR-72 выводы C3, C4 предназначены для подачи напряжения питания. Никаких дополнительных электронных компонент не требуется, достаточно подать питание на эти контакты, и трансивер начнет работу по заданному в заводских настройках алгоритму. Трансиверы поставляются как со встроенными антеннами, так и без них. Для таких моделей нужна внешняя антенна. Остальные контактные площадки предназначены для пользовательских программируемых выводов/выводов I/O. В зависимости от заданных параметров эти выводы/выводы будут подключены к соответствующим I/O микроконтроллера и базового RF-чипа. Для идентификации заданных режимов работы используется контакт C8, который в первые 250 мс первоначальной загрузки ПО используется в качестве вывода на микроконтроллер.

В этих сериях есть линейный регулятор напряжения LDO, температурный датчик,

**Таблица 2.** Назначение выводов трансиверов IQRF с интерфейсным SIM-разъемом

Наименование контактной площадки	Назначение контактной площадки
C1	Ввод/вывод общего назначения АЦП-вход Компаратор вход
C2	Ввод/вывод общего назначения (по умолчанию) Вывод LDO при включении перемычки S1
C3	Напряжение питания
C4	Земля GND
C5	Ввод/вывод общего назначения Выбор режима работы SPI (Slave select) АЦП-вход Компаратор выход PWM-выход UART TX Подтягивающий резистор и ввод прерывания АЦП-вход
C6	Ввод/вывод общего назначения SPI clock вход I <sup>2</sup> C clock
C7	Ввод/вывод общего назначения pin Данные — SPI data Данные — I <sup>2</sup> C data
C8	Ввод/вывод общего назначения pin Данные SPI data out UART RX

Таблица 3. Варианты трансиверов IQRF с различными антенными опциями

Наименование	Антенна	Температурный датчик	Дополнительный электромагнитный экран
TR-52D	Посеребрённые контакты	—	—
TR-52DC	U.FL-разъём	—	—
TR-52DA	PCB-антенны	—	—
TR-52DF	Посеребрённые контакты	—	Да
TR-52DCF	U.FL-разъём	—	Да
TR-52DAF	PCB-антенна	—	Да
TR-52DT	Посеребрённые контакты	Да	—
TR-52DCT	U.FL-разъём	Да	—
TR-52DAT	PCB-антенна	Да	—
TR-52DTF	Посеребрённые контакты	Да	Да
TR-52DCTF	U.FL-разъём	Да	Да
TR-52DATF	PCB-антенна	Да	Да

светодиоды. Трансиверы DCTR-52, DCTR-62, DCTR-72 в полном объеме поддерживают все функции IQRF OS: HWP, DPA, IDE.

На разных моделях трансиверов имеются также дополнительные контактные площадки, размещенные вне SIM-разъема.

Например, в серии TR-52 предусмотрены следующие дополнительные выводы:

- X5 — вывод для подключения антенны;
- X6 — общая «земля»;
- P1/P5 — контрольные отладочные контакты;
- S1 — вывод LDO;
- S2 — резервный.

В трансиверах серии TR-54, TR-55, TR-56 нет температурного датчика, линейного регулятора напряжения, светодиодов.

В моделях серии TR-55 поддерживается два типа монтажа. Восемь основных контактов, размещенных на лицевой стороне, предназначены под держатель SIM-карты (табл. 3). Кроме того, на торцевой части платы выведены 12 контактных площадок, восемь из которых соответствуют указанным в таблице 3, и четыре дополнительные площадки, предназначенные для программируемых I/O, на которые выводятся сигналы АЦП, UART, PWM. Такая конструкция позволяет монтировать трансивер на печатной плате в вертикальном положении.

В моделях серий TR-54 и TR-56 восемнадцать контактных площадок выведены по периметру модуля (SMT-монтаж). Восемь основных сигналов соответствуют приведенным в таблице 2. Дополнительные десять контактных площадок предназначены для подключения дополнительных UART, АЦП, ЦАП, светодиодов и других периферийных устройств.

Серия TR-56 отличается от TR-54 тем, что модель TR-56D-433 поддерживает новое ПО, позволяющее трансиверам работать на частоте 433 МГц.

Серия TR-58DA-RJ — это полностью законченные и готовые к работе трансиверы

со встроенной PCB-антенной. В трансиверах этой серии есть линейный регулятор напряжения, контрольные светодиоды, прецизионный температурный датчик MCP9804. Все сигналы выведены на стандартный разъем RJ-45. Трансиверы этой серии выполнены в корпусе защищенном от УФ-лучей и готовы для уличного применения.

В новых сериях TR-62 и TR-72 увеличена мощность передатчика, что позволяет работать с ними в радиусе до 500 м. В трансиверах этой серии встроен протокол M-Bus, EN 13757-4:2005, Modes S1, T1, S2, T2. Для согласования с последовательным портом используется конвертер UART–Wireless M-Bus. Трансиверы TR-62 работают на частоте 868 МГц. В них не поддерживается IQRF OS.

Протокол M-Bus используется в тех областях, где данные передаются на сервер напрямую или через концентраторы шины M-Bus в варианте стандартной архитектуры «клиент–сервер». Поэтому серия TR-62 наилучшим образом подходит для работы с приборами учета электричества, воды, газа и других аналогичных устройств. Серия TR-72 является по существу более мощным и современным вариантом серии TR-52.

В рамках каждой серии выпускается несколько моделей, отличающихся ПО, а также наличием антенны или антенного разъема. Модули с полной поддержкой HWP, DPA, IDE имеют первые четыре буквы наименования DCTR. Модули без поддержки HWP имеют только две первые буквы в наименовании TR. Далее следует название серии.

Так, например, наименование DCTR-52DATF означает:

- DC — полная поддержка HWP, DPA, IDE;
- TR — трансивер;
- 52 — серия 52;
- D — процессор PIC16LF1938;
- A — встроенная PCB-антенна;
- T — температурный датчик;
- F — дополнительный металлический кожух.

Варианты трансиверов IQRF с различными антенными опциями описаны в таблице 3.

Для каждой из рассмотренных серий существуют отладочные комплекты [23]. В рамках одной статьи невозможно рассмотреть все технические детали продукции IQRF. Подробная техническая документация есть в свободном доступе на сайте производителя [22].

*Продолжение следует*

## Литература

1. Решения Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) № 08-24-01-001 от 28.04.2008 и № 07-20-03-001 от 07.05.2007.
2. [www.IQRF.org](http://www.IQRF.org)
3. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products)
4. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=gateways](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=gateways)
5. IQVSP Smarter Control. Simply, Visual Control Panels, technology for manufacturers and system integrators
6. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=rt-230-05&ot=routers&ot2=rt-230-05](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=rt-230-05&ot=routers&ot2=rt-230-05)
7. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=end-devices](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=end-devices)
8. IQRF OS. Operating System. Ver. 3.05D for TR-5xD. Reference Guide.
9. IQRF OS. Operating System. User Guide.
10. CC5X C Compiler for the PICmicro Devices. Ver. 3.5. User's Manual.
11. IQRF DPA Framework. Technical guide. Ver. 2.01 for IQRF OS v3.05D.
12. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=support&id=for-tr&ot=code-examples&ot2=for-tr](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=support&id=for-tr&ot=code-examples&ot2=for-tr)
13. CK-USB-04, IQRF. Programmer and Debugger. Firmware v1.00. User's Guide.
14. IQRF Quick Start Guide for IQRF OS v3.04D and higher, for IQRF IDE v4.14 and higher (iqrf\_ide\_417\_setup).
15. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=support&id=download&kat=52](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=support&id=download&kat=52)
16. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=support&id=download&kat=54&ids=352](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=support&id=download&kat=54&ids=352)
17. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=support&id=download&kam=searchd](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=support&id=download&kam=searchd)
18. IQRF Startup package. OS v3.04D – IDE4 Help.
19. SPI Implementation in IQRF TR modules.
20. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=ds-dpa-01&ot=development-tools&ot2=development-sets](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=ds-dpa-01&ot=development-tools&ot2=development-sets)
21. IQRF DPA. Quick Start Guide. For DPA framework v2.00, for IQRF OS v3.05D and higher, for IQRF IDE v4.15 and higher.
22. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=transceivers](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=transceivers)
23. [www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=development-kits&ot=development-tools&ot2=development-kits](http://www.iqrf.org/weben/index.php?sekce=products&id=development-kits&ot=development-tools&ot2=development-kits)
24. Vladimir Sulc, MICRORISC, s.r.o. Jicin, Czech Republic, Radek Kuchta, Radimir Vrba. IQMESH, Reliable Technology for Wireless Mesh Networks. Faculty of Electrical Engineering and Communication Brno University of Technology Brno, Czech Republic.
25. DS-MESH-02D. Development set for IQMESH. User's Manual.