

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

ПЕРСОНАЛЬНЫЕ СЕТИ

на основе



ZigBee®

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

Санкт-Петербург

2012

Составители: Балонин Н.А., Балонин Ю.Н., Сергеев М.Б.

Содержатся указания к выполнению лабораторных работ по изучению принципов организации беспроводной персональной сети ZigBee на основе модулей ETRX2 и ETRX3 фирмы Telegesis в дисциплинах «Проектирование систем обработки и передачи информации», «Интерфейсы периферийных устройств», «Встраиваемые информационно-управляющие системы».

Лабораторные работы предназначены для студентов дневного и вечернего обучения по направлению 230100 «Информатика и вычислительная техника».

Подготовлены к изданию кафедрой вычислительных систем и сетей по рекомендации редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии [1] рассмотрены современные беспроводные сетевые технологии: стандарты передачи данных в беспроводных сетях Wi-Fi, Wi-MAX, Bluetooth, Wireless USB, Home RF, ZigBee, топологии беспроводных персональных сетей, современные реализации сетей на основе модулей ETRX2-ETRX3 фирмы Telegesis и т.п. Для закрепления практических навыков работы с модулями беспроводной сети на основе стандарта ZigBee используются данные методические указания.

Структура сети Telegesis показана на рисунке 1. Она включает три типа узлов: координатор, маршрутизаторы и конечные узлы: спящие и мобильные.

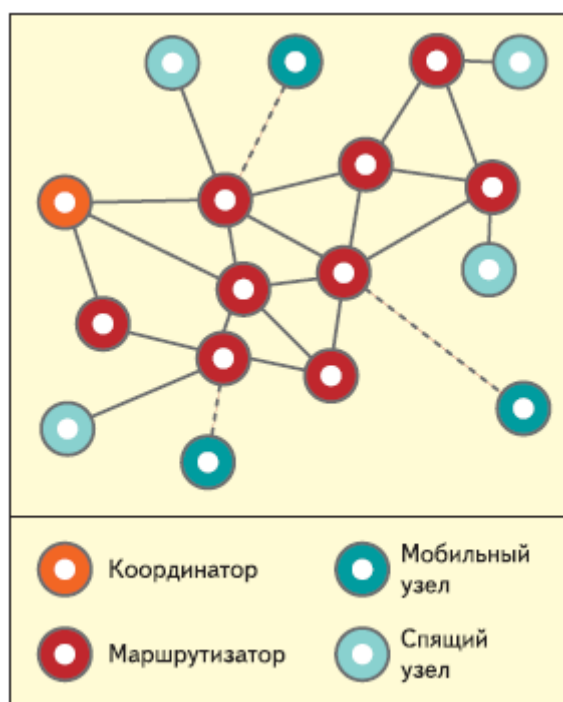


Рисунок 1 – Топология сети Telegesis

Уникальной функцией *координатора* является задача образования сети, которая заключается в сканировании эфира и выборе наименее загруженного частотного канала.

Маршрутизаторы в простейшем случае должны иметь стационарное питание и стационарное положение в пространстве. Они ретранслируют пакеты данных от других узлов и сами могут быть источниками информации.

Сток (улей, слив, sink) – частная особенность Telegesis-модулей. Когда узел определяется как сток (установкой 4-го бита регистра **S10**), его адрес транслируется остальной части сети.

Общая информация об ETRX-модулях

Миниатюрные ETRX-модули могут быть встроены практически в любое техническое устройство. Они имеют низкую стоимость и низкое энергопотребление. Основываются на лидирующем в отрасли EmberZNet ZigBee-стеке. Интеграция в широкий спектр приложений облегчена современным дизайном и простым стилем текстовых AT-команд управления. Сколь-нибудь серьезный опыт работы с модулями не требуется.

Интеграция Telegesis ZigBee модулей существенно сокращает выход продукции на рынок. Стоит отметить, что хотя текстовые AT-команды действительно весьма востребованы потребностью производства в уменьшении времени разработки новых устройств, ничто не мешает опытному специалисту, использующему технологии фирмы Ember, задать свою собственную версию прошивки.

Прошивка R3XX была протестирована и сертифицирована для MSP (производителя определенного профиля) согласно требованиям и тестам ZigBee Альянса.

Данная сертификация гарантирует, что:

- модули под управлением Telegesis AT-команд не будут вмешиваться (наносить вред) в уже существующие ZigBee-сети;
- модули под управлением Telegesis AT-команд могут присоединяться к маршрутизаторам сторонней ZigBee PRO сети;
- модули под управлением Telegesis AT-команд могут давать использовать свои возможности маршрутизации.

Для того, чтобы использовать термин ZigBee или логотип ZigBee в документации по продукту, необходимо быть членом альянса ZigBee в год выпуска продукции и придерживаться общего профиля приложения. Можно обращаться в фирму Telegesis для дополнительной информации о сертификации.

AT-команды ETRX2 и ETRX3 модулей серии ZigBee PRO комментируемой ниже прошивки R304 несколько отличаются (незначительно) от команд прошивок предыдущих серий. Стандарт R3XX не соотносим с более ранними версиями ZigBee, которые не выполняют ZigBee PRO (набор ZigBee 2007 года) соглашений. Имеет место частичная аппаратная совместимость: R3XX прошивка будет работать на серии модулей ETRX2, тогда как R2XX прошивка не будет работать на серии модулей ETRX3.

Прошивку большинства модулей можно обновлять: это ETRX2USB, ETRX2, ETRX2-PA, ETRX2HR, ETRX2HR-PA, ETRX351, ETRX357, ETRX351-LR, ETRX357-LR,

ETRX351HR, ETRX357HR, ETRX351HR-LR, ETRX357HR-LR, ETRX2CF, ETRX2EAP и ETRX2RTR модули.

В таблице 1 приведен обзор обозначений и наименований устройств сети Telegesis на основе **ETRX2**, **ETRX3** модулей, упомянутых в настоящем документе.

Таблица 1: Обзор устройств сети Telegesis

Тип устройства	Наименование	ZigBee наименование
COO	Координатор	ZigBee Coordinator координатор (ZC)
FFD	Маршрутизатор	ZigBee Router (ZR)
ZED	Конечное устройство (не спящее)	ZigBee End Device (ZED)
SED	Спящее конечное устройство	ZigBee End Device (ZED)
MED	Мобильное конечное устройство	ZigBee End Device (ZED)

Наименования "полнофункциональное устройство" (FFD) и "редуцированное устройство" (**RFD**, здесь **ZED**, **SED**, **MED**) устарели, хотя эти аббревиатуры встречаются в технических описаниях. Каждый координатор или маршрутизатор (роутер) может поддерживать до 16 или 32 (**ETRX3**) окончных спящих или мобильных устройств. Мобильное устройство исчезает из сети ввиду перемещения его, в остальном оно сходно со спящим. В состояние низкого энергопотребления вводятся только спящие конечные модули, координатор и маршрутизаторы поддерживают связность такой сети. Сообщения конечных устройств не буферизируются, отсылаются в сеть немедленно.

Сеть, таким образом, состоит из координатора (**ZC**), который создает сеть, маршрутизаторов-роутеров (**ZR**) и конечных устройств (**ZED**).

Координатор совмещает в себе функции маршрутизатора, каждый маршрутизатор поддерживает до 16-ти конечных устройств (32 для **ETRX3** серии) в любом сочетании спящих и мобильных (подвижных). Подвижное устройство исчезает из поля зрения маршрутизатора не по причине сна, а вследствие своего перемещения.

По умолчанию модуль присоединяется к персональной сети (**PAN**) как маршрутизатор, но изменением содержимого **SOA** его можно сделать конечным устройством. Невозможно сменить роль координатора или траст центра. В соответствии с ZigBee PRO стандартом доступна сеточная, но не древовидная структура.

Важной особенностью технологии для систем коммерческого учета является возможность защиты передаваемых данных. Шифрование данных осуществляется при

помощи алгоритма AES-128 с симметричным ключом, как во время передачи данных в сети, так и во время ее образования.

АТ-стиль команд

Для упрощения общения с модулями используется текстовый АТ-стиль команд, похожий на стандартный Hayes-язык управления модемами.

Каждой команде должен предшествовать "АТ" префикс (таблица 2). Любые иные данные не принимаются или вызывают сообщение об ошибке.

Таблица 2. Типы АТ-команд

АТХХХ?	Команды чтения параметров с "?".
АТХХХ=[...]	Команды записи параметров включают знак "=".
АТХХХ	Прочие команды управления модулем.

Пример чтения нулевого регистра **S00**:

АТS00? CR

CR LF FFFF CR LF

CR LF ОК CR LF

Далее, для простоты, будем опускать коды CR и LF. Перед подачей следующей команды рекомендуется подождать финальное "ОК" или "ОШИБКА: ХХ". Изменением содержимого регистров **S0E** или **S0F** можно отключить информационное сопровождение операций, снижая трафик сети.

Команды не могут быть объединены в группу: последовательности АТ команд в одну строку не поддерживаются.

Команда завершается кодом перевода каретки CR.

Команде следуют: необязательный ответ, который включает в себя CR-LF-отклик-
CR-LF, в том же формате идет сообщение об ошибке или совет (**prompt**).

Загрузчик вызывается командой **АТ+BLOAD** (ETRX2) или, на аппаратном уровне, заземлением контакта A/D2 – полезно убедиться, что этот вывод не заземлен во время пуска и сброса (по Reset). По аналогии, у ETRX3 загрузчик программы иницируется заземлением вывода PA5: с ним стоит быть осторожней. У ETRX2 размер самой длинной команды диктует 128-байтовый FIFO-буфер входящих символов. Существуют меры для предотвращения переполнения буфера входной последовательности, этот режим контролируется регистром **S12**. Когда бит 7 регистра **S12** установлен в 1, каждый ответ

или приглашение (совет) начинается с **STX** и заканчивается **ETX**, что упрощает их поиск и интерпретацию обрабатывающим команды процессором.

Каждый параметр AT-команды должен быть введен в формате, отвечающем стилю написания (таблица 3). Необязательные параметры ниже помечаются квадратными скобками [...].

Таблица 3. Различные форматы параметров

Параметры	Значения
N	Числа от 0-9
S	Знаки
B	Биты (0 или 1)
C	Символы
Data	Данные
Channel	Десятичный канал (IEEE 802.15.4 канал 11-26)
Password	8-символьный пароль
XX	Шестнадцатеричное число имеет цифры 0-9, a-f или A-F (8 бит)
XXXX	Шестнадцатеричное число имеет цифры 0-9, a-f или A-F (16 бит)
PID	Шестнадцатеричный идентификатор PAN ID (0000 до FFFF)
EPID	Шестнадцатеричное расширенный PAN ID (64 бит)
EUI64	64-битный шестнадцатеричный адрес
Ioread	32-битный шестнадцатеричное число для S1A
ClusterList	Список кластерных идентификаторов
FirmwareRevision	Номер прошивки

Следующие сообщения (prompts) могут появляться во время работы ETRX модулей (таблица 4). Большинство их можно отключить с помощью регистров **S0E** и **S0F**.

Таблица 4. Обзор сообщений

Сообщение	Значение
OK	OK terminator
ERROR:XX	Произошла ошибка с номером XX
ACK:XX	Сообщение XX получено
NACK:XX	Сообщение XX не прошло
SR:XX,EUI64,NodeID,...	Получено сообщение Route Record
BCAST:[EUI64,]XX=data	Сообщение из XX символов получено (Broadcast)
MCAST:[EUI64,]XX=data	Сообщение из XX символов получено (Multicast)
UCAST:[EUI64,]XX=data	Сообщение из XX символов

Сообщение	Значение
	получено (Unicast)
SDATA : [EUI64,], ioread, A/D1, A/D2, sequenceNo, Vcc	Пришли данные АЦП A/D1 и A/D2 или ADC0 и ADC1
FN0130 : [EUI64], NodeID, ioread, sequence no, S46, [A/D1], [A/D2], [A/D3], [A/D4]	Пришли данные от активированных АЦП
COO : EUI64, NodeID	Отклик координатора
FFD : EUI64, NodeID	Отклик маршрутизатора
SED : EUI64, NodeID	Отклик конечного устройства SED
MED : EUI64, NodeID	Отклик конечного устройства MED
ZED : EUI64, NodeID	Отклик конечного устройства ZED
NEWNODE : NodeID, EUI64, Parent NodeID	Подсоединение нового модуля сети
LeftPAN	Локальный модуль покинул сеть
LostPAN	Конечное устройство потеряло контакт с родителем
JPAN : channel, PID, EPID	Локальный модуль присоединился к сети с заданными параметрами
SINK : EUI64, NodeID	Выбрана новая точка слива (Sink)
ADSK : EUI64, NodeID	Получено сообщение от точки слива (Advertisement)
SREAD : NodeID, EUI64, Register, errorcode [=Data]	Данные S-регистра
SWRITE : NodeID, EUI64, errorcode	Отклик на запись в S-регистр
DataMODE : NodeID, EUI64	Режим передачи данных открыт удаленно
DataMODE : NodeID, EUI64, errorcode	Отклик на попытку открыть режим передачи данных
OPEN	Режим передачи данных открыт
CLOSED	Режим передачи данных закрыт
TRACK : EUI64 R, EUI64 S, RSSI, i/o read, AD1, AD2, Vcc, S46	Трэк: EUI источника и получателя, RSSI, входные данные, Vcc & S46-контур источника
TRACK2 : EUI64 R, EUI64 S, RSSI, I/O read, S46	Трэк: EUI источника и получателя, RSSI, I/O данные, и S46-контур источника
PWRCHANGE : XXXX	Локальное устройство сменило режим питания на XXXX
AddrResp : errorcode[, NodeID, EUI64]	Отклик на запрос адреса (или на поиск роутера)
RX : EUI64, NodeID, profileID, destinationEndpoint, SourceEndpoint, clusterID, length: payload	Входящее сообщение не адресовано финальной точке АТ-команды. EUI64 показывается, будучи включенным в заголовок фрейма
NM : ES REPORT WARNING	Превышен порог 16-ти

Сообщение	Значение
	энергетических посылов, потерян пакет
ENTERING BLOAD	Текущая загрузка инициирована другим модулем

Оптимизация работы сети

Устройство, присоединившееся к сети (координатор, маршрутизатор или конечное устройство) сохраняет параметры, даже если оно временно выключено.

Оно является участником своей первоначальной PAN-сети, предполагая (при включении), что PAN по-прежнему существует. При этом не стоит забывать, что у конечного устройства есть объективные потребности обновления S-регистров сбросом их к начальным значениям для смены режима сна, например, или поиска "новых родителей", если оно зевнуло смену сетевого ключа.

Информационные узлы могут отправлять сообщения на сток-узел с помощью команды **AT + SCAST** или различных встроенных функций. Это упрощает разработку прикладного программного обеспечения, поскольку нет нужды знать EUI64-адрес стока заранее. Устройства узнают о стоке, когда:

- (1) они получают регулярные трансляции из стока
- (2) их принуждают послать запрос на адрес стока установкой бита 8 регистра **S10** (первое сообщение в сток теряется)
- (3) используется **AT + SSINK** команда.

Чтобы уменьшить трафик к конечным устройствам, в работе они не получают рекламные трансляции стока, а информируются об адресе стока на момент присоединения к PAN. В противном случае необходимо установить бит 8 регистра **S10** на конечном устройстве. Конечные узлы не ретранслируют сообщений и поэтому могут переходить в режимы пониженного энергопотребления, что дает им возможность функционировать от батарей до нескольких лет.

Конечные узлы общаются со всей сетью через свой «родительский» маршрутизатор. Выбор «родителя» осуществляется автоматически во время образования сети. Если впоследствии «родительский» узел по каким-либо причинам перестанет функционировать, «дочерний» конечный узел найдет себе другой «родительский» маршрутизатор. Для передачи сообщения сеть автоматически находит наиболее короткий маршрут с удовлетворительным качеством связи в обоих направлениях. Если с течением

времени какой-либо из маршрутизаторов выходит из строя, то сеть автоматически осуществляет поиск нового оптимального маршрута.

Способность находить оптимальный маршрут и функционировать при выходе из строя отдельных узлов, малое энергопотребление, возможность защиты информации – важнейшие достоинства ZigBee-сети, позволяющие построить недорогую и надежную систему сбора данных с конечными устройствами, питающимися от батарей.

Лабораторная работа 1. Координатор беспроводной сети ZigBee

Для использования координатора следует скачать с сайта [2] его драйвер и установить на компьютер, после чего новому устройству (рис. 2), вставленному в USB-разъем будет присвоен номер COM-порта. Этот номер виден в стандартной программе Windows, обзорающей свойства аппаратуры системы. Он применяется для связи с модулем через терминал – специальную программу, обменивающуюся через выделенный COM-порт кодами символов, скорость обмена (boud rate) **19200**.



Рисунок 2 – ZigBee модуль ETRX2USB

Терминальная программа связи устройств через com-порт есть в составе стандартных средств операционной системы или скачивается: в сети Интернет довольно легко найти наработки аналогичных программ с удобным интерфейсом, например, comport.exe. С их помощью очень удобно изучать координатор в работе.

Терминальные программы содержат окно для ввода передаваемых кодов (отображаемых символами ASCII) и окно, на котором отображаются присылаемые в ответ коды (символы). Для того, чтобы координатор воспринимал последовательность символов как текстовую команду, необходимо, чтобы она завершалась кодом перевода каретки (кодом клавиши Enter).

ПОРЯДОК проведения лабораторной работы с координатором: перед началом работы преподаватель проверяет знание особенностей исследуемой WPAN по материалам введения. В процессе выполнения лабораторной работы студенты подают команды на

координатор и записываются ответы на подписываемый у преподавателя лист проведения испытаний.

Пример листа проведения испытаний.

ATI (с кодом перевода каретки CR) USB-координатор отвечает: **TELEGESIS ETRX3 R304X 0021ED00000468C9 ОК.**

Сообщается номер модуля ETRX, номер прошивки R304X и фабричный номер устройства 0021ED00000468C9. Это первая команда, с которой стоит начинать диалог.

ATS04? возвращает прописанный заводом в регистре **S04** номер **0021ED00000468C9**. Аналогично читается любой другой регистр модуля.

AT+EN создает сеть координатора, координатор первым присоединяется к собственной сети: следует сообщение **JPAN:25,3D84,7E04AEF1821F433C**. Указан номер 25 выбранного для связи наименее зашумленного канала, короткий и длинный идентификаторы (адреса, имена) координатора в сети: "имя" **3D84** и "фамилия" **7E04AEF1821F433C**. Довольно очевидно, что пользоваться именем проще.

AT+N выдает отмеченные выше параметры (если их забыли): первым идет функциональное назначение **+N=COO,25,03,3D84,7E04AEF1821F433C**, канал, питание, пара адресов.

AT+DASSL вынуждает модуль покинуть (свою) сеть. **ATZ** соответствует **Reset**. **AT&F** возвращает модулю начальные фабричные настройки, если их меняли. **AT+N** возвращает новый статус (не в сети): **+N=NoPAN ОК**. В таком виде устройство готово к образованию новой сети.

Команды деструкции сети стоит изучать до того, как прочие модули присоединились к координатору. Иначе возникнет конфликт, разрешаемый соглашениями, согласно которым конечные модули могут искать иную сеть. Очевидно, что тут играют роль дополнительные факторы: как именно была деструктурирована предыдущая сеть, разрешена ли модулям смена координатора, сколько времени требуется на переориентацию и т.п. На заводе выставляются весьма нежесткие требования, которые потом, по мере надобности, можно ужесточить.

В ходе набора текстовых команд нетрудно ошибиться, в таком случае модуль сообщает коды ошибок. Распространенные **коды ошибок**: 02 – неправильная команда, 05 – неверный параметр, 26 – не присоединиться, 27 – не найдена сеть, 28 – устройство уже в сети и команда (присоединения к сети) не может быть выполнена.

Тестовые вопросы.

1. Назначение координатора сети WPAN?
2. Разновидности модулей ETRX?
3. В каком регистре находится заводской номер координатора?
4. Какой командой считывается номер прошивки?
5. Какая команда предназначена для создания сети?
6. Какой командой проверяются параметры координатора?
7. Какими командами производится деактивация сети и возврат заводских настроек?

Лабораторная работа 2. Минимальная сеть на основе ZigBee модуля

Для выполнения работы включаем в работу координатор и один из модулей, показанный на рисунке 3. На отладочной плате предусмотрено питание модуля шнуром от блока питания, от USB кабеля или от батарей, осуществляемое переключением джампера power.



Рисунок 3 – Модуль ETRX3

В том случае, когда прежний координатор утерян, или была произведена деактивация старой сети с образованием новой, возникает неоднозначная ситуация с идентификатором сети. Она разрешима по регулируемому настройками соглашению, согласно которому на поиск прежней сети отводится 5 минут. Далее, если эта возможность не закрыта, происходит присоединение к новой сети.

Работая с прежде используемыми в сетях модулями, надо иметь в виду этот временной интервал на старте. Идентификатор прежней сети хранится модулем даже при

отключенном питания. Подавая команду на присоединение, стоит вооружиться терпением.

Обратите внимание, что существуют две близкие по смыслу команды сканирования сети: только одна из них присоединяет новые обнаруженные модули.

ПОРЯДОК проведения лабораторной работы с модулем тот же, что и с координатором: перед началом работы преподаватель проверяет знание особенностей исследуемой WPAN по материалам введения. В процессе выполнения лабораторной работы студенты подают команды на модуль через координатор и записывают ответы на подписываемый у преподавателя лист проведения испытаний.

Пример листа проведения испытаний.

AT+PANSCAN инициирует поиск новых еще не присоединившихся модулей, выдавая сообщение о них в виде **NEUNODE: E627,000D6F00005C4AB7,0000 SR:00,000D6F00005C4AB7,E627 FFD:000D6F00005C4AB7,E627**.

В сообщении присутствует тип FFD (маршрутизатор) короткий адрес **E627** и длинный **000D6F00005C4AB7**.

В том случае, когда рядом новых включенных модулей нет, отклик **+PANSCAN:25,3D84,7E04AEF1821F433C,02,01** выдает атрибуты координатора (адрес **3D84**). Если в окрестностях координатора нет ни одного включенного модуля, то и этой информации нет (сеть не функционирует).

Найденный модуль не присоединяется к сети.

AT+SN сканирования сети с присоединением к сети найденных новых модулей, рапорт о работе координатора возвращает атрибуты подключившихся к сети модулей, в частности, их короткие адреса (формата XXXX).

Найденный модуль в данном случае присоединяется к сети. Следует помнить о том, что исследуемые модули хранят идентификатор сети после выключения питания. Поэтому **AT+SN** эффективно только при наличии достаточного выделенного на переориентацию подключаемых модулей времени (5 минут).

ATREMS:E627,04? возвращает номер уведомления о запросе ACK:13 содержимого регистра **S04**, в котором хранится заводской номер изделия, далее следует ответ модуля **SREAD:E627,000D6F00005C4AB7,04,00=000D6F00005C4AB7**. Если удаленный модуль выключен, то приходит NACK (уведомление о том, что сообщение не дошло до модуля).

ATREMS:E627,0A? интересуется типом удаленного модуля в его регистре **S0A**, ответ 0000 означает, что модуль - маршрутизатор **FFD**. Собственно, это было видно на момент присоединения этого модуля, смотрите первое сообщение, выше.

Тестовые вопросы

1. В чем состоит основное отличие AT-команд сканирования сети **PANSCAN** и **SN**?
2. Сколько времени выделено модулю на переориентацию при поиске сети?
3. Какой командой считывается заводской номер изделия?
4. В каком регистре хранится заводской номер изделия?
5. В каком регистре хранится тип модуля?
6. Сколько типов модулей существует?
7. Какие цифровые коды соответствуют типам модулей?

Лабораторная работа 3. Назначение модуля конечным устройством

Отладочная плата фирмы Telegesis показана на рисунке 4. Если пренебречь возможностями беспроводного доступа, конечное устройство можно настраивать через USB-кабель заранее, не включая координатор и не присоединяя FFD-модуль к сети. При этом придется выяснить номер COM-порта, присвоенный Windows проводному каналу связи. В этом режиме регистры модуля читаются и перезаписываются точно так же, как и регистры координатора.

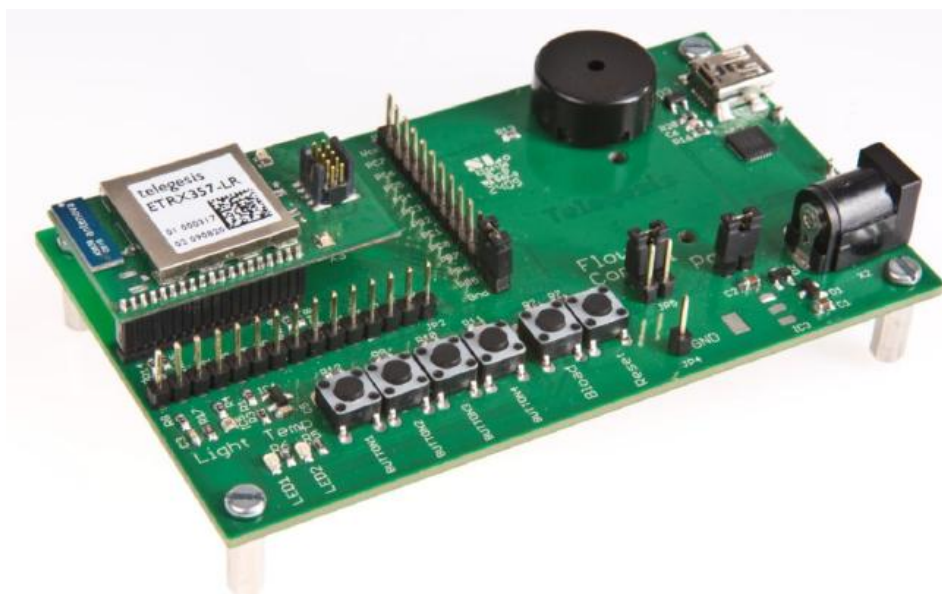


Рисунок 4 – Отладочная плата Telegesis с модулем ETRX3

На отладочной плате смонтирован разъем для подключения USB-кабеля от компьютера. Этот кабель обеспечивает питание. Помимо того, под платой есть отсек для пары пальчиковых батарей. Джампером Power можно переключить плату в режим обеспечения ее автономным питанием в случае беспроводной настройки. На плате хорошо различимы светодиоды LED1, LED2, кнопки и прочие отладочные средства для тестовых испытаний.

ПОРЯДОК проведения лабораторной работы с тестовой платой таков же, что и с координатором: перед началом работы преподаватель проверяет знание особенностей исследуемой WPAN. В процессе выполнения лабораторной работы студенты подают команды на модуль через USB-кабель или координатор и записывают ответы на подписываемый у преподавателя лист проведения испытаний.

Пример листа проведения испытаний.

Необходимо назначить модуль конечным устройством (меняя содержимое регистра типа **S0A**), для того, чтобы он мог экономить энергию батарей, размещенных у отладочного комплекта под платой и включаемых джампером.

ATS0A=4000:password назначает модуль спящим устройством **SED**.

Если проблемы питания нас не волнуют, то можно употребить код **8000**, в таком случае модуль интерпретируется как конечное устройство **ZED**. Что и стоит делать на первых порах. Пароль **password** – заводской, он хранится в отведенном для пароля регистре, его можно при желании сменить.

Менее хлопотный путь, тем не менее, связан с изменением типа модуля при помощи ресурсов сети. В таком случае модуль сначала присоединяется к беспроводной сети, выясняется его сетевой адрес E627 (например), далее меняется его тип.

ATREMS:E627,0A=4000:password назначает модуль спящим устройством **SED**.

Для того, чтобы новые настройки вступили в силу, можно для полной уверенности перезагрузить сеть.

Отметим, что поскольку при перезагрузке меняется адрес координатора (это уже не 3D84), прибегать к ней следует в крайнем случае. Самое простое, если не вдаваться в более тонкие методы, попросить координатор осуществить деструкцию сети по **AT+DASSL** и начать инициализацию заново по **AT+EN**.

При этом возникнет длинная пауза, связанная с потерей конечным модулем прежней сети, и началом (по соглашению) поиска сети новой, нового хозяина. На все это уйдет, в худшем случае, 5 минут. В момент присоединения модуля придет сообщение, причем адрес конечного модуля не изменится, но изменится его тип.

Следует отметить, что спящий режим модуля **SED** не мешает ему взаимодействовать с координатором сети. Это обеспечивается заводскими настройками: из восьми таймеров микроконтроллера первые 4 активны. Они вырабатывают прерывания, отвечая на которые модуль анализирует и исполняет поступающие АТ-команды. Остальное время (между прерываниями) используется для экономии питания. Аналогичные режимы хорошо известны, скажем, при отключении дисплея компьютера.

Тестовые вопросы

1. Чем отличаются режимы управления модулем через координатор и USB-разъем?
2. Какой пароль устанавливается на смену типа модуля?
3. Заводские настройки каких таймеров не следует трогать, чтобы не нарушить режим работы спящего модуля в сети?

Лабораторная работа 4. Установка режима экономии энергии

Итак, спящее устройство продолжает отвечать на запросы через координатор по радиоканалу. На самом деле, оно условно спит: функции первых четырех таймеров конечного модуля изначально ориентированы на организацию работы сети. Иначе в памяти координатора или маршрутизатора накопятся невостребованные сообщения и со временем (довольно коротким) сеть их утратит. Существует **четыре режима** (mode 0,1,2,3) активности конечного модуля, с порядковыми номерами 1,2,3,4. В начальном режиме (mode 0) конечный модуль не спит. Два последующих режима (1-й и 2-й) означают разные степени экономии энергии процессором: режим полубодрствования и глубокого сна (с отключением процессора). Последний 3-й режим в лабораторных не употребляется.

ПОРЯДОК проведения лабораторной работы с тестовой платой таков же, что и с координатором: перед началом работы преподаватель проверяет знание особенностей исследуемой WPAN по материалам введения. В процессе выполнения лабораторной работы студенты подают команды на модуль через координатор и записываются ответы.

Пример листа проведения испытаний.

ATREMS:E627,3A=0000 обеспечивает режим активного питания на старте, регистр **S3A** содержит начальное значение регистра режима сна **S39**.

ATREMS:E627,39=0002 меняет при помощи регистра **S39** текущий режим на режим максимально возможный для радиоканала.

Внимание: режим 003 **нельзя использовать**, поскольку пробудить такой модуль от сна при помощи радиоканала или проводной связи, при отсутствии специально предусмотренных внешних воздействий, можно будет только при помощи аварийных мероприятий. Глупости натворить легко, этот путь никак не защищен, будьте осторожнее.

Можно предусмотреть пробуждение от сна (в первых двух безопасных режимах 0001 и 0002) при наличии активности в канале UART - регистр **S11, 9** бит. После чего по последовательному каналу (по проводной связи) можно управлять модулем также, как и по радиоканалу, например, для изменения конфигурации, режима работы и т.п. По умолчанию **S11=0005**, установка **1** в **9**-м бите приведет к **S11=205**.

Стоит обратить особое внимание на то, что при указании режима сна в регистрах, пробуждающих модуль таймеров, используется *порядковый номер* режима 1,2,3,4. Это связано с тем, что значение **0000** занято отключением таймера.

Тестовые вопросы

1. Сколько таймеров обеспечивает работу спящего модуля?
2. В чем принцип экономии энергии работающим модулем?
3. Какой режим экономии энергии может привести к потере модуля сетью?

Лабораторная работа 5. Управление периферией микроконтроллера

На отладочной плате имеется удобный для испытаний функционал, в частности, кнопки и штекеры для подключения цифровых или аналоговых датчиков (или эффекторов). Рядом с микроконтроллером ETRX расположена пара светодиодов: красный и зеленый, на плате установлено еще два зеленых светодиода: LED1, LED2 (рис. 5).

На рисунке помечены только зеленые светодиоды у основания, радиомикросхема расположена в гнездах, ее работу отражают зеленый и красный светодиоды. Под платой находится батарейный отсек, куда вставляются две пальчиковые батареи типа ААА. Кроме того плату можно питать от блока питания или от хоста USB с помощью кабеля.

Для переключения питания имеется джампер Power, при соединении питающей линии загораются все четыре светодиода основной платы и платы с микросхемой.

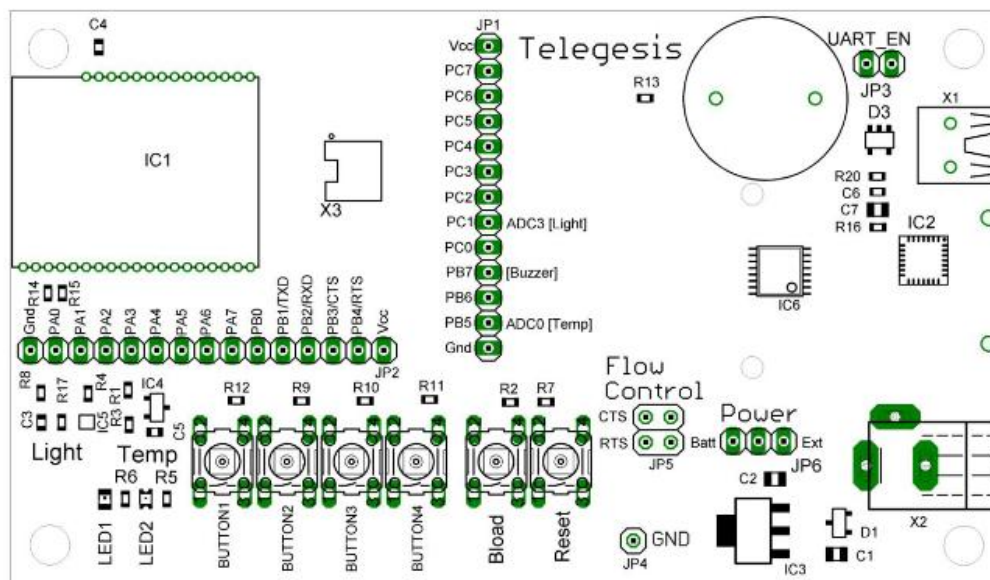


Рисунок 5 – Схема отладочной платы

ПОРЯДОК проведения лабораторной работы с тестовой платой таков же, что и ранее: перед началом работы преподаватель проверяет знание особенностей исследуемой WPAN по материалам введения. В процессе выполнения лабораторной работы студенты подают команды на модуль через USB-кабель или координатор и записываются ответы на подписываемый у преподавателя лист проведения испытаний.

Пример листа проведения испытаний.

Ножки **PC7, PC6, ... , PC0, PB7, PB6, ... , PB0, PA7, PA6, ... , PA0** образуют число в двоичном представлении, используемом для реконфигурации значений на выходах микроконтроллера с помощью регистра **S18**.

Не все ножки определены как выходы, и только часть снабжена светодиодами. Описание ножек платы вынесено в специальную справочную главу, освещающую регистры, наборы команд, функций, активизируемых таймерами и т.п. в таблицах.

Рядом с микроконтроллером расположена пара светодиодов на выходах:

PA7 – красный, **PA6** – зеленый.

В сброшенном состоянии выходов регистра (нулевом) они горят.

ATREMS:E627,18=00000040 отключает красный светодиод **PA7**, другой код **00000080** – зеленый **PA6**, **000000C0** - оба этих светодиода.

На плате установлено еще два зеленых светодиода: индикатор LED1 связан с **PB6**, индикатор LED2 связан с **PC0**. Их тоже можно включать и выключать, переворачивая биты **S18**.

ATREMS:E627,18=00004000 отключает зеленый светодиод LED1, **00010000** - зеленый светодиод LED2.

Регистр **S19** содержит стартовое значение регистра **S18**, изменение его битов приведут к изменению свечения светодиодов после отключения и включения модуля. Пара соседних регистров **S16-S17** служат для назначения и инициализации конфигурации входов-выходов микроконтроллера на старте, по умолчанию **S17=000142CC**.

Функционально часть светодиодов служит, отражая подачу питания на плату и на микроконтроллер, часть связана с некоторыми фабрично заложенными реакциями. В режиме сна для экономии батарей их стоит отключить все, используя для этого стартовый регистр **S19**.

Тестовые вопросы

1. Сколько светодиодов установлено на отладочной плате?
2. Что индицирует красный светодиод?
3. Каким регистром управляются светодиоды?
4. Какой регистр служит для назначения стартовых значений регистра выхода?
5. Что необходимо сделать для обеспечения спящего режима питания микроконтроллера?
6. Какой код необходимо записать в стартовый регистр для реализации спящего режима питания микроконтроллера?

Лабораторная работа 6. Считывание значений датчиков

На отладочной плате помимо светодиодов имеются датчики температуры и света. У комплекта с ETRX2 питание датчиков не отключается. Модуль ETRX3 имеет четыре аналоговых входа, ETRX2 – только два. Температурный датчик - National Semiconductor LM61 подпаян через джампер к входу 9: первому АЦП A/D1. У ETRX3 сенсоры температуры и света подключены к первому и последнему (четвертому) АЦП.

ПОРЯДОК проведения лабораторной работы с тестовой платой таков же, что и ранее: перед началом работы преподаватель проверяет знание особенностей исследуемой WPAN по материалам введения. В процессе выполнения лабораторной работы студенты подают команды на модуль через USB-кабель или координатор и записываются ответы на подписываемый у преподавателя лист проведения испытаний.

Пример листа проведения испытаний.

За активацию АЦП отвечает регистр **S15**: это биты с порядковыми номерами **D** и **11** в шестнадцатеричной системе счисления.

ATREMS:E627,15D=1 и **ATREMS:E627,1511=1** активирует оба интересных нам канала АЦП.

У отладочного набора ETRX3 с помощью регистра **S18** на ножки сенсоров подается питание: отвечают биты **2** и **3**, соответственно, тогда назначения

ATREMS:E627,182=1 и **ATREMS:E627,183=1** включают сенсоры.

Стартовое значение **S18** комментировалось ранее, оно содержится в регистре **S19**. Для экономии энергии желательно включать датчики только на время проведения измерений.

После подачи питания на датчики остается считать значения обоих АЦП (температуру и освещенность) из регистров **S1F** и **S22**

ATREMS:E627,1F? и **ATREMS:E627,22?** возвращает показания сенсоров температуры и света. Считывать значения сенсоров в режиме сна модуля можно по инициативе координатора, поскольку благодаря первым четырем таймерам по радиоканалу модуль периодически бодрствует.

Тестовые вопросы

1. Сколько датчиков установлено на отладочной плате?
2. Сколько АЦП содержат микроконтроллеры с ETRX2 и ETRX3?
3. Что необходимо сделать перед считыванием значений датчиков температуры и света?
4. Почему последний вариант микроконтроллера более экономичен по питанию и что для обеспечения режима экономии нужно сделать?

Лабораторная работа 7. Сбор данных с помощью таймера

Микроконтроллер имеет восемь таймеров. Первые четыре из них обеспечивают организацию работы в сети в спящем режиме. Любой из оставшихся четырех таймеров можно использовать для периодической отправки данных с датчиков на компьютер.

ПОРЯДОК проведения лабораторной работы с тестовой платой таков же, что и ранее: перед началом работы преподаватель проверяет знание особенностей исследуемой WPAN по материалам введения. В процессе выполнения лабораторной работы студенты

подают команды на модуль через USB-кабель или координатор и записываются ответы на подписываемый у преподавателя лист проведения испытаний.

Пример листа проведения испытаний.

Точкой сбора данных, ульем или стоком в автоматических системах сбора данных естественно назначить координатор сети.

ATS104=1 взводит **4**-й бит регистра **S10** координатора, назначая его точкой сбора.

Предположим, что (см. материал предыдущей работы) с помощью регистра **S15** АЦП конечного модуля активированы, с помощью регистра **S18** на датчики света и температуры подано питание.

ATREMS:E627,31=0008 задает в регистре **S31** период 2 с первого свободного таймера (**пятого**), значение **0004** соответствует интервалу в 1 с.

В соседнем таймеру регистре **S32** задается функция из перечня его функций. Например, функция с номером **0110** вынуждает передать на приемник (точку стока) данные с первых двух АЦП. В версии прошивки модуля **R304** появилась функциональность **0130**, позволяющая отправлять результаты измерений любых активных каналов АЦП. Чтобы перезапустить таймер и повторить действие, надо взвести старший знаковый разряд, выйдет **8110** или **8130**. Таблица с перечнем функций прилагается.

ATREMS:E627,32=8110 обеспечивает циклическую передачу данных от первых двух АЦП в точку сбора данных, улей.

Автоматический режим имеет тот недостаток, что обязывает компьютер с координатором ожидать и регистрировать приходящие сообщения, притом питание сенсоров представляет собой отдельную заботу, их надо включать и выключать особо. Учитывая, что спящий модуль по радиоканалу (благодаря таймерам) бодрствует, проще опрашивать модули по инициативе компьютера.

Тестовые вопросы

1. Сколько таймеров свободно для организации сбора данных?
2. Назовите регистры таймеров.
3. Как выбирается функция таймера?
4. Каковы достоинства и недостатки автоматического режима сбора данных?

Лабораторная работа 8. Передача данных по радиоканалу

В ряде практических применений модуль беспроводной связи может использоваться для передачи на расстояние команд на подсоединенный через UART микроконтроллер.

ПОРЯДОК проведения лабораторной работы с тестовой платой таков же, что и ранее: перед началом работы преподаватель проверяет знание особенностей исследуемой WPAN по материалам введения. В процессе выполнения лабораторной работы студенты подают команды на модуль, координатор считывает их с модуля через USB-кабель. Результаты записываются на подписываемый у преподавателя лист проведения испытаний.

Пример листа проведения испытаний.

В ОС Windows новообразованному каналу связи компьютера с подключенным к нему координатором сети будет присвоен номер COM-порта, отличающийся от номера координатора. Скорость обмена информацией (boud rate) составляет 19200. Запустим вторую терминальную программу. Теперь при выполнении работы имеется возможность отслеживать передаваемую информацию в канале связи – не только факт передачи, но и факт приема.

AT+UCAST:E627=Hello передает через координатор адресованную модулю E627 текстовую информацию "Hello". На выходе UART фиксируется прием сообщения в формате **UCAST:000D6F000026C5A9,05=Hello**.

Принимаемое модулем частное сообщение (unicast) от 000D6F000026C5A9 (идентификатор координатора) содержит, помимо прочего, количество символов 5 передаваемого текста и сам текст "Hello".

Данные можно передавать более широковещательно, безадресно (broadcast).

AT+BCAST:00,Hello передает через координатор сообщение безадресно (режим 00). На выходе UART фиксируется прием сообщения в формате **BCAST:000D6F000026C5A9,05=Hello**.

Существуют более гибкие методы адресации, когда адрес уточняется обращением к справочной таблице адресов (косвенная адресация MultiCast).

AT+DMODE:E627 переводит модуль в режим последовательной передачи данных, при котором приемный модуль принимает (без отклика о доставке) любые переданные в канал данных сообщения, скажем, Hello.

+++ закрытие канала передачи данных на обеих сторонах помечается сообщением **CLOSED**.

Тестовые вопросы

1. Чем отличается передача данных от управления светодиодами и считывания показаний датчиков?
2. Какие режимы передачи данных существуют?
3. Каков режим выхода из передачи данных?

Справочная информация по модулям Telegesis

Таблица 5.Краткий перечень доступных команд.

Команда	Содержание
Конфигурирование и управление модулем	
ATI	Отобразить идентификатор продукции
ATZ	Команда перезагрузки Reset
AT&F	Восстановить фабричные настройки
AT+BLOAD	Войти в меню загрузчика
AT+CLONE	Клонировать с модуля на модуль (ETRX2)
AT+PASSTHROUGH	Закачать прошивку (ETRX3)
AT+RECOVER	Recover FromFailed Clone Attempt
ATS	Доступ к S-регистру
ATREMS	Удаленный доступ к S-регистру
ATSALL	Удаленный доступ к S-регистру
AT+TOKDUMP	Отобразить все S-регистры
Конфигурирование и управление сетью	
AT+ESCAN	Сканировать энергию всех каналов
AT+PANSCAN	Сканировать неподключенные модули
AT+EN	Создать Personal Area Network (PAN)
AT+JN	Присоединиться к сети
AT+JPAN	Присоединиться к выделенной сети
AT+SJN	Присоединиться молча
AT+DASSL	Отсоединить локальный модуль от сети
AT+DASSR	Отсоединить удаленный модуль от сети (ZDO)
AT+N	Отобразить информацию о сети
AT+NTABLE	Отобразить Neighbour-таблицу (ZDO)
AT+RTABLE	Отобразить Routing-таблицу (ZDO)
AT+IDREQ	Запрос ID модуля (ZDO)
AT+EUIREQ	Запрос EUI модуля (ZDO)
AT+NODEDESC	Запрос описания модуля (ZDO)
AT+POWERDESC	Запрос описания питания (ZDO)
AT+ACTEPDESC	Запрос Active Endpoint List модуля (ZDO)
AT+SIMPLEDESC	Запрос Endpoint's Simple Descriptor модуля (ZDO)
AT+MATCHREQ	Найти модуль по совпадению Specific Descriptor (ZDO)
AT+ANNCE	Анонсировать локальный модуль (ZDO)
AT+SR	Установить Source Route для удаленного модуля
AT+FNDsr	Найти Source Route к удаленному модулю
AT+POLL	Запрос родительских данных (parent)

Команда	Содержание
AT+REJOIN	Переприсоединить сеть
AT+SN	Сканировать сеть
AT+KEYUPD	Обновить ключ сети (ZDO)
AT+BECOMETC	Назначить trust-центр локальных модулей
AT+BECOMENM	Назначить менеджер локальных модулей
AT+CCHANGE	Сменить канал сети
Сообщения	
AT+ATABLE	Отобразить таблицу адресов
AT+ASET	Записать строку таблицы адресов
AT+MTABLE	Отобразить Multicast таблицу
AT+MSET	Записать строку Multicast таблицы
AT+BCAST	Передать сообщение Broadcast
AT+BCASTB	Передать бинарные данные (Broadcast)
AT+UCAST	Передать сообщение Unicast
AT+UCASTB	Передать бинарные данные (Unicast)
AT+SCAST	Передать данные в точку слива (Sink)
AT+SCASTB	Передать бинарные данные (Sink)
AT+SSINK	Искать точку слива Sink
AT+MCAST	Передать сообщение Multicast
AT+MCASTB	Передать бинарные данные (Multicast)
AT+DMODE	Войти в режим передачи данных (Serial Link Mode)
+++	Покинуть режим передачи данных
AT+IDENT	Настройка Remote Devboard
AT+RDATA	Послать бинарные Raw Data

Более подробно команды описаны в справочнике фирмы Telegesis, из которого выберем некоторые, самые распространенные.

Таблица 6. Наиболее распространенные AT-команды

Команда	Описание
<p>Выполнить команду: ATI</p> <p>Примечание: модули до 2007 года отличаются форматом вывода DeviceName.</p>	<p>Реакция: Telegesis DeviceName Firmware Revision EU164 OK</p> <p>DeviceName – код устройства, Firmware Revision – версия прошивки и EU164 - имя (идентификатор) модуля.</p>
<p>Выполнить команду: ATZ</p>	<p>Реакция: Перезгрузка (reset)</p>

Команда	Описание
	Все не сбрасываемые (non-volatile) S-регистры сохраняют назначенные значения: если модуль был частью сети, он остается в ней.
<p>Выполнить команду: AT&F</p>	<p>Реакция: Полная перезагрузка, все не сбрасываемые (non-volatile) S-регистры приобретают фабричные значения, модуль покидает сеть, к которой он присоединился.</p>
<p>Команда чтения: ATSXX[x[x]]?</p> <p>Примеры: ATS00? ATS0AE? ATS1812? XX – номер считываемого S-регистра. В качестве опции разрешается добавлять номер [x] бита линейки из 16 бит, шестнадцатеричный формат [xx] применяется для 32-битовых регистров.</p>	<p>Реакция: ДАННЫЕ ОК или ERROR:КОД ОШИБКИ</p> <p>Модуль передает содержимое выбранного S-регистра или выдает сообщение об ошибке.</p> <p>Все 16- или 32-битные регистры доступны с точностью до бита, указываемого опцией [x[x]], значение бита 0 или 1.</p>
<p>Команда записи: ATSXX[x[x]]=ДАННЫЕ[,ПАРОЛЬ]</p> <p>Примеры: ATS00=3FFC ATS0AE=1:password</p> <p>Примечание: запись в некоторые S-регистры подпаролена. Пароль, по определению, "password". Некоторые регистры предназначены только для чтения, при попытке записи в них следует сообщение об ошибке. Опцией можно указывать индивидуальный бит [x[x]], имеющий значение 0 или 1.</p>	<p>Реакция: ОК или ERROR:КОД ОШИБКИ</p> <p>Данные записываются в S-регистр номер XX и, если разрешено, также в non-volatile память (сохраняющую значение при выключении питания). Формат данных индивидуален для каждого S-регистра и приводится в описании регистров. Опцией можно указывать индивидуальный бит [x[x]], имеющий значение 0 или 1.</p>
<p>Команда удаленного чтения: ATREMS:АДРЕС,XX[X[x]]?</p> <p>Примеры: ATREMS:000D6F0000AAC93,00? ATREMS:000D6F0000AAC93,0AE? ATREMS:000D6F0000AAC93,1812?</p> <p>АДРЕС может быть идентификатором модуля EUI64, NodeID или индексом адресной таблицы, XX – номер читаемого S-регистра. В качестве</p>	<p>Реакция: SEQ:XX ОК или ERROR:КОД ОШИБКИ</p> <p>Модуль выдает значение удаленного S-регистра, опираясь его адрес (unicast-сообщение). Это значит, что высылается также порядковый номер сообщения (предваряется символами ACK или NACK).</p>

Команда	Описание
<p>опции разрешается добавлять номер [x] бита линейки из 16 бит, шестнадцатеричный формат [xx] применяется для 32-битовых регистров, значение бита 0 или 1.</p>	<p>Сообщение: SREAD:NodeID,EUI64,РЕГИСТР, КОД ОШИБКИ[=ДАнные]</p> <p>NodeID и EUI64 - идентификаторы удаленного модуля, РЕГИСТР – номер запрошенного регистра, КОД ОШИБКИ равен 00 (при успешном чтении) или значению, раскрывающему суть затруднений. Содержимое регистра передается только при успешном чтении.</p>
<p>Команда удаленной записи: ATREMS:АДРЕС,XX[x[x]]=ДАнные [,ПАРОЛЬ]</p> <p>Примеры: ATREMS:000D6F0000012345,00=3FFC ATREMS:000D6F0000012345,0AE=1:password</p> <p>АДРЕС может быть идентификатором модуля EUI64, NodeID или индексом адресной таблицы, XX – номер читаемого S-регистра. В качестве опции разрешается добавлять номер [x] бита линейки из 16 бит, шестнадцатеричный формат [xx] применяется для 32-битовых регистров, значение бита 0 или 1.</p> <p>Примечание: некоторые S-регистры требуют пароль для записи. Пароль, по умолчанию, "password". Опцией можно указывать индивидуальный бит [x[x]], имеющий значение 0 или 1.</p>	<p>Реакция: SEQ:XX ОК или ERROR:КОД ОШИБКИ</p> <p>Данные записываются в S-регистр номер XX и, если разрешено, также в non-volatile память (сохраняющую значение при выключении питания). Формат данных индивидуален для каждого S-регистра и приводится в описании регистров. Высылается порядковый номер сообщения (предваряется символами АСК или NACK).</p> <p>Сообщение: SWRITE:NodeID,EUI64,КОД ОШИБКИ</p> <p>NodeID и EUI64 - идентификаторы удаленного модуля, КОД ОШИБКИ равен 00 (при успешной записи) или значению, раскрывающему суть затруднений.</p>
<p>Выполнить команду: AT+PANSCAN</p> <p>Используется: любые модули</p> <p>Примечание: сканирование активных сетей может занять до 4 секунд времени.</p>	<p>Реакция: +PANSCAN:КАНАЛ,PID,EPID,XX,b ОК или ERROR:КОД ОШИБКИ</p> <p>Указывается список всех найденных сетей. Данный КАНАЛ содержит код выделенного канала связи, PID - идентификатор сети (PAN ID), EPID – расширенный идентификатор (extended PAN ID), XX – профиль ZigBee-стека</p>

Команда	Описание
	(00 = Custom, 01 = ZigBee, 02 = ZigBee PRO) и b отражает готовность присоединить модуль (1 отвечает готовности). Модуль не присоединяется ни к одной из найденных сетей.
<p>Выполнить команду: AT+EN</p> <p>Используется: любые не присоединившиеся к сети модули.</p> <p>Примечание: выполнение этой команды приводит к назначению локального устройства координатором COO (или доверительным центром – Trust Centre), на организацию сети тратится до 16 секунд. Команда выполняется только на модуле, еще не ставшем частью сети.</p>	<p>Реакция: JPAN:КАНАЛ,PID,EPID OK или ERROR:КОД ОШИБКИ</p> <p>Локальный модуль становится координатором и определяет энергетические уровни каналов в S00. Затем образует сеть PAN с оригинальным PAN ID и расширенным extended PAN ID идентификаторами на наиболее спокойном канале. Если PAN ID и/или extended PAN ID указаны в S02 или S03, они используются вместо случайно назначаемых, если они ранее не засветились в прочих сетях.</p>
<p>Выполнить команду: AT+DASSL</p> <p>Используется: на всех устройствах</p> <p>Примечание: осторожнее с координатором, иначе дезорганизуем сеть PAN.</p>	<p>Реакция: OK или ERROR: КОД ОШИБКИ</p> <p>Сообщение: LeftPAN</p> <p>Вынуждает устройство покинуть сеть PAN.</p>
<p>Команда чтения: AT+N?</p> <p>Используется: на всех устройствах</p>	<p>Реакция: +N=ТИП,КАНАЛ,ЭНЕРГИЯ,PID,EPID или +N=NoPAN затем следует OK</p> <p>ТИП отвечает функциональности модуля (COO, FFD, ZED, SED, MED), ЭНЕРГИЯ – выходной энергетический отклик модуля в дБм, КАНАЛ отвечает IEEE 802.15.4 номеру радио-канала (11-26), PID – идентификатор PAN ID и EPID – расширенный идентификатор extended PAN ID.</p>
<p>Выполнить команду: AT+SN[:nn]</p> <p>Сканирование nn звеньев (hops) цепочки присоединенных модулей. Если nn = 01, тогда выдаются только прямые соседи, значение nn = 00 отвечает всей сети</p> <p>Используется: COO, SINK</p>	<p>Реакция: OK или ERROR:КОД ОШИБКИ</p> <p>Сообщения: FFD:EUI64,NodeID [syy,zz] MED:EUI64,NodeID [syy,zz] SED:EUI64,NodeID [syy,zz] ZED:EUI64,NodeID [syy,zz]</p> <p>Параметры: nn ранжируется 00 до 30.</p>

Команда	Описание
<p>Примечание: по умолчанию длина цепочки nn=30. Команда имеет смысл только для координатора COO или стока (sink)</p>	<p>Если бит С регистра S10 установлен, то передается RSSI-уровень (suu в дБм) и LQI (шестнадцатеричное zz) последнего звена. Источники сообщений тоже отображаются.</p>
<p>Выполнить команду: AT+BCAST:nn,ДАННЫЕ</p> <p>Example: AT+BCAST:00,Hello world</p> <p>Используется: на всех устройствах</p> <p>Примечание: безадресные broadcast-сообщения не экономны! Спецификация ZigBee разрешает любому модулю ретранслировать до 8 таких сообщений в течении каждых 8-ми секунд.</p>	<p>Реакция: OK или ERROR:КОД ОШИБКИ</p> <p>Параметры: nn ранжируется от 00 до 30.</p> <p>Передается максимум до 82 байт (с адресом EUI только 74 байт). Отклик OK отвечает успешному посылу, что не гарантирует прием сообщения на приемной стороне. Чтобы гарантированно передать данные конкретному модулю, используйте адресные unicast-сообщения. Только nn-звеньев в цепочке модулей получат сообщение. Случай nn = 01 отвечает рассылке соседям, вариант n = 00 рассчитан на всю сеть (максимум до 30 звеньев).</p> <p>Сообщение: BCAST:[EUI64,]ДЛИНА=ДАННЫЕ</p> <p>Каждый модуль PAN, получающий широковещательное broadcast-сообщение, получит адрес источника EUI64, ДЛИНУ сообщения и пересланные ДАННЫЕ. Адрес EUI64 отображается, если разрешено присоединять такие заголовки (бит 0 регистра S10 не разрешает рассылку EUI64).</p>
<p>Выполнить команду: AT+UCAST:АДРЕС=ДАННЫЕ</p> <p>Example: AT+UCAST:000D6F0000012345,Hello</p> <p>Используется: на всех устройствах</p> <p>Примечание: адресное сообщение (unicast) использует идентификатор EUI64, NodeID или</p>	<p>Реакция: SEQ:XX OK или ERROR:КОД ОШИБКИ</p> <p>Уведомление: ACK:XX или NACK:XX</p> <p>Сообщение длиной до 82 байт распространяется вдоль цепочки длиной до 30 звеньев (hops). Успешный прием</p>

Команда	Описание
<p>индекс адресной таблицы приемника. Передается до 82 байт, срезанных на 8 байт расширенного идентификатора заголовка сети EUI (по умолчанию) и еще на 2 байта на звено в случае предвычисления источника. Последнее обстоятельство трудно учитывается, при том, что его нельзя вполне игнорировать.</p>	<p>помечается номером сообщения и "ОК", помимо того генерируется уведомление "АСК" или "НАСК", если сообщение не воспринято. НАСК не связан с фактом утраты сообщения в сети, это информация о его неприятии конечным модулем.</p> <p>Сообщение: UCAST:[EUI64,]ДЛИНА=ДАнные</p> <p>EUI64 – адрес источника, ДЛИНА сообщения задается шестнадцатеричным числом. Адрес EUI64 отображается только, если он присутствует в заголовке (бит 0 регистра S10 не разрешает присоединять адрес EUI64 к исходящему сообщению).</p>
<p>Выполнить команду: AT+SCAST:ДАнные</p> <p>Example: AT+SCAST:Hello world</p> <p>Используется: на всех устройствах</p> <p>Примечание: если бит 8 регистра S10 установлен и сток (sink) не откликается на три последовательные трансмиссии, он полагается недостижимым (и новый ищется). Уведомления АСК и/или НАСК могут быть деактивированы регистром S0E. Адрес EUI64 укорачивает длину сообщения до 74 байт: максимальная длина сообщения в 82 байта сокращается 8-ю байтами расширенного EUI заголовка (по умолчанию) и 2 байтами на звено в случае предвычисления источника. Последнее обстоятельство трудно учитывается, при том, что его нельзя вполне игнорировать.</p>	<p>Реакция: SEQ:XX ОК или ERROR: КОД ОШИБКИ</p> <p>Уведомление: АСК:XX или НАСК:XX</p> <p>Параметры: до 82 байт передаются на сток (sink). Сообщению присваивается номер и "ОК". Успешный прием помечается номером сообщения и "ОК", помимо того генерируется уведомление "АСК" или "НАСК", если сообщение не воспринято. НАСК не связан с фактом утраты сообщения в сети, это информация о его неприятии конечным модулем.</p> <p>Сообщение: UCAST:[EUI64,]ДЛИНА=ДАнные</p> <p>EUI64 – адрес источника, ДЛИНА сообщения задается шестнадцатеричным числом. Адрес EUI64 отображается только, если он присутствует в заголовке (бит 0 регистра S10 не разрешает присоединять адрес EUI64 к исходящему сообщению).</p>
<p>Команда чтения: AT+SSINK</p>	<p>Реакция: ОК или ERROR: КОД ОШИБКИ</p>

Команда	Описание
<p>Поиск стока (sink) в сети рассылкой безадресных сообщений (broadcast), вынуждающие все точки стока отвечать. По умолчанию, если сток уже известен и не нашлось более выгодной точки, никаких сообщений не генерится. Индекс заранее известной точки стока в таблице адресов равен 05.</p> <p>Используется: на всех устройствах</p>	<p>Сообщение: SINK:EUI64,NodeID или ADSK:EUI64,NodeID</p>
<p>Выполнить команду: AT+DMODE:АДРЕС</p> <p>Где АДРЕС-ом могут быть EUI64, NodeID или индекс таблицы адресов.</p> <p>Используется: на всех устройствах</p> <p>Примечание: переход в режим последовательной передачи данных на конечные устройства, скорость зависит от их настроек. В этом режиме отклики сети отключены. Отмечаются идентификаторы удаленного устройства по DataMODE:NodeID,EUI64 OPEN.</p>	<p>Реакция: SEQ:XX OK или ERROR:КОД ОШИБКИ</p> <p>Сообщение: ACK:XX или NACK:XX</p> <p>Сообщение: DataMODE:NodeID,EUI64,КОД ОШИБКИ [OPEN]</p> <p>Система переходит в режим передачи данных при нулевом коде ошибки.</p>
<p>Выполнить команду: +++</p> <p>Сигнал покинуть режим передачи данных +++ должен следовать не ранее 500 мс после приема последнего символа последнего сообщения. Если сообщение содержит +++, то режим передачи данных гарантированно сохранится, если между +++ и предыдущим переданным символом прошло менее 250 мс.</p> <p>Используется: на всех устройствах</p>	

Таблица 7. Описание S-регистров

S-регистр	Назначение S-регистра	Локальное Чт./Зап.	Удаленное Чт./Зап.
S00	Маска канала	(••)	(••)

S-регистр SXX	Назначение S-регистра	Локальное Чт./Зап.	Удаленное Чт./Зап.
S01	Уровень энергии передачи	(•/•)	(•/•)
S02	Предпочитаемый PAN ID	(•/•)	(•/•)
S03	Предпочитаемый расширенный PAN ID	(•/•)	(•/•)
S04	Локальный EUI	(•/-)	(•/-)
S05	Локальный NodeID	(•/-)	(•/-)
S06	Родительский EUI	(•/-)	(•/-)
S07	Родительский NodeID	(•/-)	(•/-)
S08	Ключ сети Network Key	(-/•)	(-/•)
S09	Ключ связи Link Key	(-/•)	(-/•)
S0A	Основная функция	(•/•)	(•/•)
S0B	Считываемое пользователем имя	(•/•)	(•/•)
S0C	Пароль password	(•/•)	(•/•)
S0D	Информация об устройстве	(•/-)	(•/-)
S0E	Активация сообщений 1	(•/•)	(•/•)
S0F	Активация сообщений 2	(•/•)	(•/•)
S10	Расширенная функция	(•/•)	(•/•)
S11	Специфика устройства	(•/•)	(•/•)
S12	Настройка UART	(•/•)	(•/•)
S13	Возможность Pull-up	(•/•)	(•/•)
S14	Возможность Pull-down	(•/•)	(•/•)
S15	Конфигурация входов-выходов I/O	(•/•)	(•/•)
S16	Направление I/O Port (volatile)	(•/•)	(•/•)
S17	Начальное значение S16	(•/•)	(•/•)
S18	Буфер порта выходов I/O (volatile)	(•/•)	(•/•)
S19	Начальное значение S18	(•/•)	(•/•)
S1A	Буфер порта входов I/O (volatile)	(•/-)	(•/-)
S1B	Специальная функция Pin 1 (volatile)	(•/•)	(•/•)
S1C	Начальное значение S1B	(•/•)	(•/•)
S1D	Специальная функция Pin 2 (volatile)	(•/•)	(•/•)
S1E	Начальное значение S1D	(•/•)	(•/•)
S1F	АЦП A/D1 (ETRX3: ADC0)	(•/-)	(•/-)
S20	АЦП A/D2 (ETRX3: ADC1)	(•/-)	(•/-)
S21	АЦП A/D3 (ETRX3: ADC2)	(•/-)	(•/-)
S22	АЦП A/D4 (ETRX3: ADC3)	(•/-)	(•/-)
S23	Функциональность прерывания IRQ0	(•/•)	(•/•)
S24	Функциональность прерывания IRQ1	(•/•)	(•/•)

S-регистр SXX	Назначение S-регистра	Локальное Чт./Зап.	Удаленное Чт./Зап.
S25	Функциональность прерывания IRQ2	(•/•)	(•/•)
S26	Функциональность прерывания IRQ3	(•/•)	(•/•)
S27	Функциональность загрузки 1 Boot-up	(•/•)	(•/•)
S28	Функциональность при присоединении к сети	(•/•)	(•/•)
S29	Пауза Timer/Counter 0	(•/•)	(•/•)
S2A	Функциональность для Timer/Counter 0	(•/•)	(•/•)
S2B	Пауза Timer/Counter 1	(•/•)	(•/•)
S2C	Функциональность для Timer/Counter 1	(•/•)	(•/•)
S2D	Пауза Timer/Counter 2	(•/•)	(•/•)
S2E	Функциональность для Timer/Counter 2	(•/•)	(•/•)
S2F	Пауза Timer/Counter 3	(•/•)	(•/•)
S30	Функциональность для Timer/Counter 3	(•/•)	(•/•)
S31	Пауза Timer/Counter 4	(•/•)	(•/•)
S32	Функциональность для Timer/Counter 4	(•/•)	(•/•)
S33	Пауза Timer/Counter 5	(•/•)	(•/•)
S34	Функциональность для Timer/Counter 5	(•/•)	(•/•)
S35	Пауза Timer/Counter 6	(•/•)	(•/•)
S36	Функциональность для Timer/Counter 6	(•/•)	(•/•)
S37	Пауза Timer/Counter 7	(•/•)	(•/•)
S38	Функциональность для Timer/Counter 7	(•/•)	(•/•)
S39	Режим питания/сна (volatile)	(•/•)	(•/•)
S3A	Начальный режим питания	(•/•)	(•/•)
S3B	Текст стартовой функциональности A	(•/•)	(•/•)
S3C	Текст стартовой функциональности B	(•/•)	(•/•)
S3D	Подведенное напряжение	(•/-)	(•/-)
S3E	Начало Multicast Table 00	(•/•)	(•/•)
S3F	Начало Multicast Table 01	(•/•)	(•/•)
S40	Источник и точки назначения xCASTs (volatile)	(•/•)	(•/•)
S41	Начальное значение S40	(•/•)	(•/•)
S42	Идентификатор Cluster ID xCASTs (volatile)	(•/•)	(•/•)
S43	Начальное значение S42	(•/•)	(•/•)
S44	Идентификатор Profile ID xCASTs (volatile)	(•/•)	(•/•)
S45	Начальное значение S44	(•/•)	(•/•)
S46	Стартовая функциональность 32-битовое число (volatile)	(•/•)	(•/•)
S47	Дескриптор питания	(•/•)	(•/•)

S-регистр SXX	Назначение S-регистра	Локальное Чт./Зап.	Удаленное Чт./Зап.
S48	Конечная точка 2 Profile ID	(•/•)	(•/•)
S49	Конечная точка 2 Device ID	(•/•)	(•/•)
S4A	Конечная точка 2 Device Version	(•/•)	(•/•)
S4B	Конечная точка 2 Input Cluster List	(•/•)	(•/•)
S4C	Конечная точка 2 Output Cluster List	(•/•)	(•/•)
S4D	Пауза для мобильного устройства	(•/•)	(•/•)
S4E	Пауза для конечного устройства	(•/•)	(•/•)
S4F	Задержка MAC	(•/•)	(•/•)

С некоторыми исключениями S-регистры сохраняются в энергонезависимой памяти (non-volatile) и сохраняют назначенные пользователем значения до перезагрузки настроек по команде **AT&F**. Регистры S16, S18, S1A, S1B, S1D, S39, S40 и S42 непосредственно соединены с I/O регистрами для предохранения сбоя памяти на входах-выходах. Регистры S17, S19, S1C, S1E, S3A, S41 и S43 представляют энергонезависимые регистров, сохраняющие содержание S16, S18, S1B, S1D, S39, S40 и S42 после перепрошивки или перезагрузки по reset.

Таблица 8. S-регистры и их настройки

Регистр	Настройки
Регистр типа S0A Энергонезависимый (non-volatile). Перезаписываемый R/W непосредственно или удаленно. Активизируется при организации или присоединении к сети (биты F-E) и начально (биты B-0). Пример записи: ATS0A=XXXX:password ATREMS:АДРЕС,0A=XXXX:password Примечание: подпаролен	Содержание: XXXX 16-тиричное число. Диапазон: 0000 – FFFF Биты F-E: Назначение устройства F-E биты 0 0 Router (FFD) 1 0 End Device 0 1 Sleepy End Device 1 1 Mobile End Device Bit D: Резервирован Bit C: Резервирован Bit B: Включить custom endpoint 2 Bit A: Не запрашивать Trust Centre link key Bit 9: Не использовать Central Trust Centre Bit 8: Использовать предконфигурационный

Регистр	Настройки
	<p>Link Key</p> <p>Bit 7: Использовать кэшированный Link Key Bit 6: Резервирован Bit 5: Не разрешать устройствам соединение Bit 4: Высылать Network key (предписанный Link Key)</p> <p>Bit 3: Не позволять незащищенным устройствам соединяться Bit 2: Высылать Network key незащищенным устройствам Bit 1: Резервирован Bit 0: Не позволять присоединяться к сети (через)</p> <p>Фабричная настройка: 0000</p>
<p>Функциональность модуля: S10</p> <p>Энергонезависимый (non-volatile). Перезаписываемый R/W непосредственно или удаленно (бит 8, если трансмиссии в сток редки!)</p>	<p>Содержание: XXXX 16-тиричное число.</p> <p>Диапазон: 0000 – FFFF</p> <p>Bit F: Не покидать режим передачи данных (при потере связи) Bit E: Не входить в режим передачи данных Bit D: Концентратор High RAM вместо Low RAM Bit C: Отражать RSSI и LQI последнего звена для AT+SN или AT+ANNCE Bit B: UCASTs и SCASTs ждут ACK Bit A: Дезактивировать играющие настройки при получении AT+IDENT Bit 9: Включить задержку одного символа входных данных xCASTB Bit 8: Активизировать поиск стока (sink) если его нет Bit 7: Не заменять сток на лучший (lower cost) Bit 6: Не заменять сток sink после трех безуспешных попыток смены Bit 5: Точка слива не должна отвечать на поисковые сигналы для нее Bit 4: Устройство является стоком (sink) Bit 3: Изменения S01 отражаются немедленно Bit 2: Высылать BCAST[B]-сообщения только роутерам Bit 1: Высылать UNICAST сообщения безадресно Bit 0: Кадрировать посылку сообщений (frame) Заводская установка: 0000</p>

Таблица 9: Обзор реализуемых функций

N	Функция
0000	Нет операций прерывания/таймера/цикла
0001	Задать режим питания (сна) 0
0002	Задать режим питания (сна) 1
0003	Задать режим питания (сна) 2
0004	Задать режим питания (сна) 3
...	Зарезервировано
0010	Конечное устройство запрашивает данные
0011	Обновить Network key (рандомизировать)
0012	Проверить с трех попыток наличие сети, если нет, то попытаться соединиться к иной, используя ключ сети (network key) – подцикливается с этой точки. Не для СОО.
0013	Проверить с трех попыток наличие сети, если нет, то попытаться соединиться к иной, используя ключ сети (network key), и при неудаче пытаться присоединиться незащищено (ключом) – подцикливается с этой точки. Не для СОО.
0014	Проверить с трех попыток наличие сети, если нет, то попытаться соединиться к иной, используя ключ сети (network key), и при неудаче пытаться присоединиться current link key – подцикливается с этой точки. При неудаче – в следующий раз покинуть сеть и подцикливаться с этой точки. Не для СОО.
0015	Неприсоединенное к сети устройство пытается присоединиться к лучшей сети.
0016	Зарезервировано.
0017	Разрешить соединение через локальное устройство в течение 60 секунд (если запрещено битом 0 регистра S0A).
0018	Копировать локальные входы на удаленные выходы: считать локальные данные с регистра S1A и если они изменились, записать на удаленный регистр S18, чей адрес содержится в S3B.
001D	Выйти из режима передачи данных (если активирован режим Data Mode).
003x	Переключить входы-выходы I/O.
004x	Временно притянуть вниз входы-выводы I/O в течение 250 мс.
005x	Установить входы-выходы I/O в 0.
006x	Установить входы-выходы I/O в 1.
0108	The unit sends the contents of S3B to the networks sink
0109	The unit sends the contents of S3C to the networks sink
0110	Выслать данные с I/O, A/D1 и A/D2 или ADC0 и ADC1, V и также 8-битовый нарастающий номер счетчика в точку стока, если сток не задан, устройство начнет искать его, как только будет установлен бит 8 регистра S10.
0111	То же самое, что и 0110, но (чтобы подтолкнуть внешний RC-таймер) идет импульс вверх у высокоимпедансной ножки ETRX2:I/O7 или ETRX3:PA3 в момент посылки данных.
0112	Посылка трекового сообщения всем ближайшим роутерам, передающим это сообщение, и чтение RSSI-послания ближайшей точки стока.

N	Функция
0113	То же самое, что и 0112, но (чтобы подтолкнуть внешний RC-таймер) идет импульс вверх у высокоимпедансной ножки ETRX2:I/O7 или ETRX3:PA3 в момент посылы данных.
0114	То же самое, что и 0112, но трековое сообщение не включает данные АЦП для сохранения энергии в цепочке (TRACK2 Prompt)
0115	То же самое, что и 0114, но (чтобы подтолкнуть внешний RC-таймер) идет импульс вверх у высокоимпедансной ножки ETRX2:I/O7 или ETRX3:PA3 в момент посылы данных.
0120	Выслать содержимое S3B как RAW-передачу.
0121	Выслать содержимое S3C как RAW-передачу.
0130	Послать в точку стока данные I/O, и 8-битовый нарастающий номер счетчика, содержимое S46 и содержимое любых A/D [1..4], активированных через S15 (ETRX3) или S11 (ETRX2), если сток не задан, устройство начнет искать его, как только будет установлен бит 8 регистра S10 .
0131	То же самое, что и 0130, но (чтобы подтолкнуть внешний RC-таймер) идет импульс вверх у высокоимпедансной ножки ETRX2:I/O7 или ETRX3:PA3 в момент посылы данных.
02XX	Для точки стока: разослать данные о себе вдоль цепочки модулей длиной x (max. 30 звеньев). Для координатора COO активизировать роутеры центра (Trust Centre). NB-сообщение не рассылается конечным устройствам.
0300	Увеличить S46
0301	Уменьшить S46
0302	Очистить S46
0400	Показать статус при помощи ножки ETRX2:I/O3 или ETRX3:PA7. Светодиод LED загорается (при низком уровне на ножке) = нет соединения. Быстрое мигание = поиску PAN. Медленное мигание = соединенный с PAN. Соответствующий регистр счетчика определяет интервал обновления. Заметим: ножка I/O3/PA7 должна быть объявлена выходом.
0401	Показать статус (как в случае 0400, но иной выводной ножкой) при помощи ножки ETRX2:I/O10 или ETRX3:PB7.
2000	При последовательных срабатываниях содержимое соответствующего счетчика посылается в точку стока, вместе с данными входов-выходов. Заметим: для подцикливания установить S23 , S24 , S25 или S26 в 24XX.
2001	При активации этого действия завершается командная строка, и, как только число байтов сообщения в канале последовательного порта сравняется с числом N, содержащимся в соответствующем регистре таймера/счетчика, SCAST из этих символов будет отправлен в точку стока. Заметим: это действие подцикливается по факту приема символа, N меньше 64.
2100	Содержимое S3B посылается в командную строку, завершаемую символом возврата каретки. Заметим: AT-префикс не требуется!
2101	Содержимое S3C посылается в командную строку, завершаемую символом возврата каретки. Заметим: AT-префикс не требуется!
24XX	Старт таймеров, отмечаемых в XX.
25XX	Переключение таймеров, отмечаемых в XX.

N	Функция
26XX	Остановка таймеров, отмечаемых в XX.
3XXX	Смена порта I/O порта для LSB
4XXX	Изменение направлений посылы данных у порта I/O для LSB

Таблица 10. Выводы ETRX35x *

Имя	Индекс	Ножка	S17	Основная функция	Альтернатива	S15
PC7	17	4	In			
PC6	16	3	In			
PC5	15	2	In		Активировать TX_active ETRX357	
PC4	14	24	In			
PC3	13	23	In			
PC2	12	22	In			
PC1	11	26	In		ADC3 (датчик света)	
PC0	10	27	Out	LED		
PB7	F	28	In		ADC2, PWM	
PB6	E	29	Out	Кнопка 4, LED, IRQ3	ADC1	
PB5	D	30	In		ADC0 (датчик температуры)	
PB4	C	8	In			
PB3	B	6	In			
PB2	A	18	In		RXD	*
PB1	9	17	Out		TXD	*
PB0	8	25	In	Кнопка 3, IRQ2		
PA7	7	5	Out	LED		
PA6	6	16	Out	LED		
PA5	5	15	In	Загрузка (Bootload)		
PA4	4	14	In			
PA3	3	12	Out	Питание датчика		
PA2	2	11	Out	Питание датчика		
PA1	1	10	In	Кнопка 2, IRQ1		
PA0	0	9	In	Кнопка 1, IRQ0		

* S17=0142CC, альтернативные установки содержит S15=00000600

Литература

1. Балонин Н.А., Сергеев М.Б. Беспроводные персональные сети на основе ZigBee / учебное пособие. – СПб: ГУАП, 2012. – 58 с.
2. Ресурс сети Интернет www.telegesis.com – дата последнего обращения 30 января 2012 г.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	3
Общая информация об ETRX-модулях	4
AT-стиль команд.....	6
Оптимизация работы сети	9
Лабораторная работа 1. Координатор беспроводной сети ZigBee	11
Лабораторная работа 2. Минимальная сеть на основе ZigBee модуля	13
Лабораторная работа 3. Назначение модуля конечным устройством.....	15
Лабораторная работа 4. Установка режима экономии энергии	17
Лабораторная работа 5. Управление периферией микроконтроллера	18
Лабораторная работа 6. Считывание значений датчиков	20
Лабораторная работа 7. Сбор данных с помощью таймера	21
Лабораторная работа 8. Передача данных по радиоканалу.....	23
Справочная информация по модулям Telegesis	25