

Новые 3G-модули для IoT, eCall, M2M

производства Quectel Wireless Solutions
Часть 1. Модуль Quectel UG95

Компания Quectel Wireless Solutions известна во всем мире благодаря уникальным разработкам и производству модулей мобильной связи GSM/GPRS/UMTS/HSPA/LTE, а также GNSS-модулей для систем спутникового позиционирования GPS и Glonass.

Новые 3G-модули Quectel UG95 и UG96 разработаны на базе коммуникационных платформ Intel XMM6255 и XMM6250 соответственно. Благодаря новейшим технологическим достижениям, реализованным в базовом элементе Intel XMM 62xx, модули UG95/96 найдут широкое применение в системах экстренного реагирования в аварийных ситуациях на автомобильном транспорте, а также в различных M2M-приложениях.

В первой части статьи рассмотрены модули UG95. Вторая часть статьи посвящена модулям UG96, их отличиям от модели UG95, а также особенностям программного обеспечения модулей UG95 и UG96.

Виктор Алексеев, к. ф.-м. н.

Quectel Wireless Solutions

Китайская компания Quectel Wireless Solutions определила основное направление своего развития на начальном этапе как «разработка и производство продукции, которая была бы конкурентоспособна на мировых рынках» [1]. Исходя из этой цели, для комплектации модулей Quectel выбрала таких мировых лидеров в производстве электронных компонентов, как

MediaTek, Qualcomm, Intel, RF Micro Devices, Inc. и др.

Значительное внимание Quectel уделяет сертификации своей продукции. Фирма является членом международного сертификационного союза (Global Certification Forum, GCF) и имеет все необходимые сертификаты для разных регионов: США, Канада, Европа, Россия, страны Азии. Кроме этого, модули UC15, UC20, UG95



Рис. 1. Стратегические партнеры и сертификаты продукции Quectel

сертифицированы на соответствие стандартам AT&T, а модуль M95 получил сертификат соответствия стандартам Vodafone. На все модули, реализуемые на территории РФ, имеются декларации соответствия, зарегистрированные в Федеральном агентстве связи. Стратегические партнеры и сертификаты продукции Quectel показаны на рис. 1 [2].

Тщательный анализ потребностей современного рынка, новое производственное оборудование и эффективная маркетинговая политика позволили молодой компании за короткий срок успешно развить продажи во всех регионах мира. В 2015 г. по всему миру было продано более девяти миллионов модулей. По объему продаж Quectel входит в пятерку мировых лидеров.

Головной офис фирмы находится в Шанхае (Китай). В Хефэй расположен основной R&D-центр Quectel, оснащенный самым современным оборудованием и лабораторией. Модули производятся на сертифицированных фабриках в Китае. Недавно было подписано соглашение о сотрудничестве и производстве продукции на одном из ведущих контрактных предприятий Китая — Flextronix [3], на мощностях которого собирают свои изделия крупнейшие мировые производители электроники.

В последние годы фирма стремительно продвигается на европейском и китайском рынках. В настоящее время региональные отделения Quectel имеются в Италии, Франции, Дании, России, Польше, Израиле, США, Латинской Америке, Бразилии, Австралии, Сингапуре, Южной Корее, Индии. Последний семинар дистрибьюторов Quectel, проведенный в 2015 г. в Барселоне, собрал более семидесяти участников из различных стран мира.

В России Quectel представлена со дня основания в 2009 г. [4]. За это время российские разработчики и системные интеграторы смогли по достоинству оценить основные преимущества продукции Quectel по сравнению с другими производителями. В России модули Quectel используются в областях, где необходима передача данных по сотовым сетям: это различного рода охранные и телеметрические системы, POS-терминалы, роутеры, поисковые метки и др.

В настоящее время Quectel выпускает линейку модулей для всех стандартов мобильной связи:

- 2G — M10, M85, M95, M66;
- 3G — UC15, UC20, UG95, UG96;
- 4G — EC20;
- LTE cat.1 и cat.4 — EC21, EC25 соответственно (недавно анонсированы).

Для каждой серии предусмотрены переходные модели, выполненные в одном конструктиве, которые позволяют с наименьшими затратами заменять старые модули на модули следующего поколения. Например, модуль M95 аппаратно совместим с 3G-модулями UG95 и UG96. В формате MiniPCle выпускаются 3G-модели UC15/20MiniPCle и LTE-карта EC20MiniPCle. Кроме модулей мобильной связи, Quectel выпускает также современные навигационные приемники на базе чипов MediaTek: GPS/GLONASS — L26, L76, L86 и GPS — L70, L70R, L80.

Кроме стандартных функций, которые поддерживают все производители модулей мобильной связи, Quectel реализовал в своей продукции ряд дополнительных функций. Например, функция OpenCPU позволяет разработчику получить доступ к ядру модуля и писать собственные приложения с использованием языка C (доступная, только в M66 и M85). Функция QuesCell дает возможность сканировать и предоставлять информацию о ближайших сотах и принудительно выставлять рабочую частоту передачи данных, а также запрещать работу с определенными операторами. В модулях Quectel поддерживается сервис QuesLocator (LBS Location based service), с помощью которого можно определять местоположение устройства по данным, полученным с базовых станций (БС).

Среди сервисных функций, которые поддерживаются в навигационных приемниках Quectel, можно отметить следующие:

- EASY™ — самостоятельная аппроксимация эфемерид на три дня вперед;
- Always Locate™ — адаптивная работа приемника в зависимости от характера движения;
- LOCUS — запись и хранение треков в энерго-независимой памяти;
- SBAS — работа с дифференциальными поправками;
- Anti-Jamming — мультитональный активный подавитель помех.

Недавно были анонсированы и добавлены такие полезные функции, как поддержка системы координат ECEF и функция одометра.

В качестве приоритетного направления развития фирмы на 2016 г. Патрик Кван (Patrick Qian), генеральный директор Quectel, на семинаре дистрибьюторов в Барселоне назвал производство модулей мобильной связи, предназначенных для IoT. Следует подчеркнуть, что Quectel является членом ассоциации шанхайского отделения Internet of Things.

Из других новых направлений будут развиваться модули LTE и GNSS. Также будут продолжены работы по совершенствованию модулей, предназначенных для M2M, POS, eCall [5].

Более подробную информацию о Quectel и ее продукции можно найти на сайте компании [1].

Модуль QUECTEL UG95

Базовый чипсет модуля UG95

Основой модуля UG95 является одна из последних разработок корпорации Intel «Мобильная коммуникационная платформа XMM™6255 Intel® Mobile Communications Platforms», спроектированная специально для «Интернета вещей» (Internet of Things, IoT).

В термине «Internet Of Things» слово «thing» означает любой физический объект, который может обмениваться данными через Интернет с другими аналогичными устройствами [6]. Уже сегодня можно наблюдать, как по Сети постоянно связываются между собой различные устройства, работающие без участия человека, такие, например, как: системы управления освещением; автоматические системы климат-

контроля; автоматические системы полива; метеодатчики; датчики пожарной и охранной сигнализации; системы автоматической рассылки информационных сообщений на телефоны и гаджеты; светофоры и т. д.

По данным [7], к 2020 г. концепция IoT охватит «все, что только может выиграть от подключения к Интернету», и количество «неодушевленных мобильных устройств» превысит в десятки раз количество мобильных телефонов и гаджетов. По существу, беспроводные сети с поддержкой IoT представляют собой интегрированный набор отдельных технологий, решающих конкретную прикладную задачу.

Наиболее перспективным представляется путь, когда многочисленные «вещи» будут соединены между собой с помощью недорогих и простых в эксплуатации беспроводных устройств с небольшим радиусом действия. При этом выход в Интернет будет осуществляться через соответствующие шлюзы. В этом смысле будут востребованы недорогие и надежные шлюзы, обеспечивающие выход из локальных сетей в глобальную (Интернет).

При разработке «Мобильной коммуникационной платформы XMM™6255» учитывались следующие требования, предъявляемые к модулю мобильной связи в приложении к «Интернету вещей»:

- небольшие габаритные размеры;
- универсальность использования в различных приложениях IoT;
- соответствующая скорость передачи данных;
- высокая надежность;
- простота и доступная стоимость интеграции;
- ремонтпригодность;
- разумная цена.

Чипсет XMM6255 включает в себя три главные части: РЧ-трансивер SMARTi UE2p, модуль коммутации (isoplexer), сигнальный процессор (baseband) X-GOLD 625 и память MCP (рис. 2).

Во многом перечисленные выше требования, предъявляемые к чипу для IoT, в новой модели

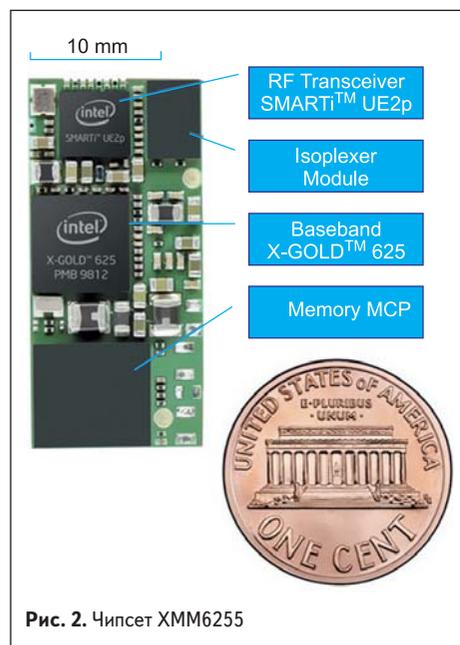


Рис. 2. Чипсет XMM6255

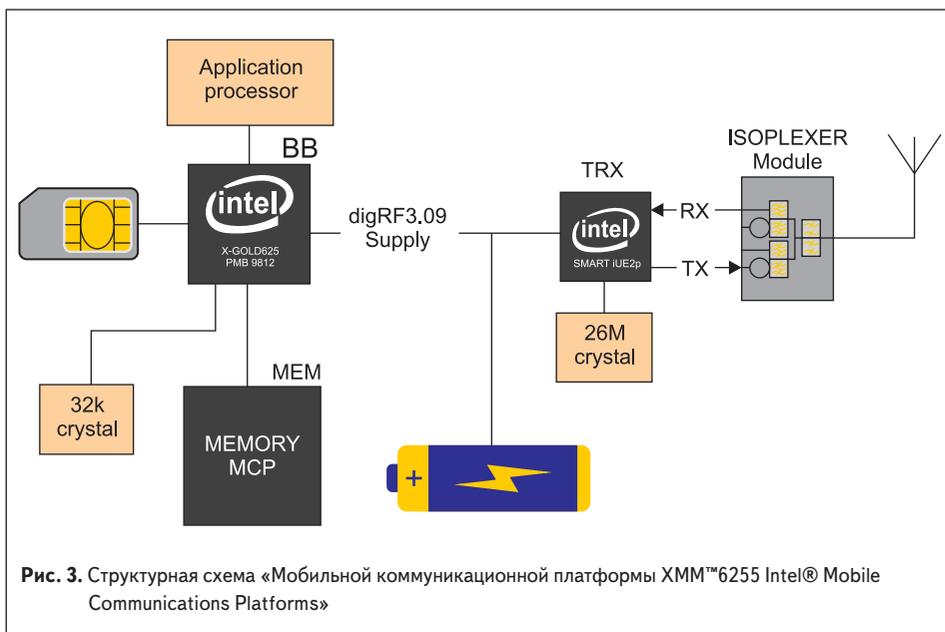


Рис. 3. Структурная схема «Мобильной коммуникационной платформы XMM™6255 Intel® Mobile Communications Platforms»

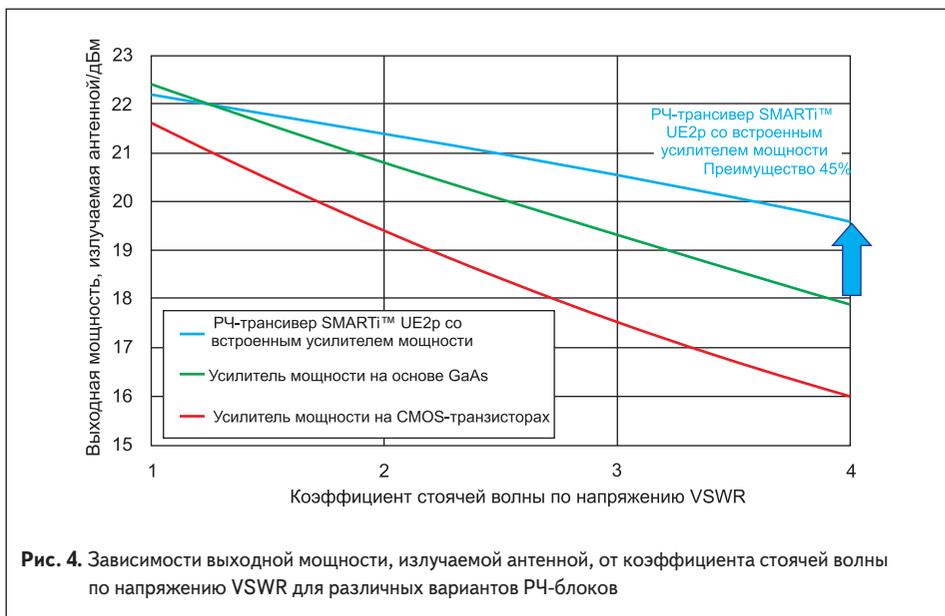


Рис. 4. Зависимости выходной мощности, излучаемой антенной, от коэффициента стоячей волны по напряжению VSWR для различных вариантов РЧ-блоков

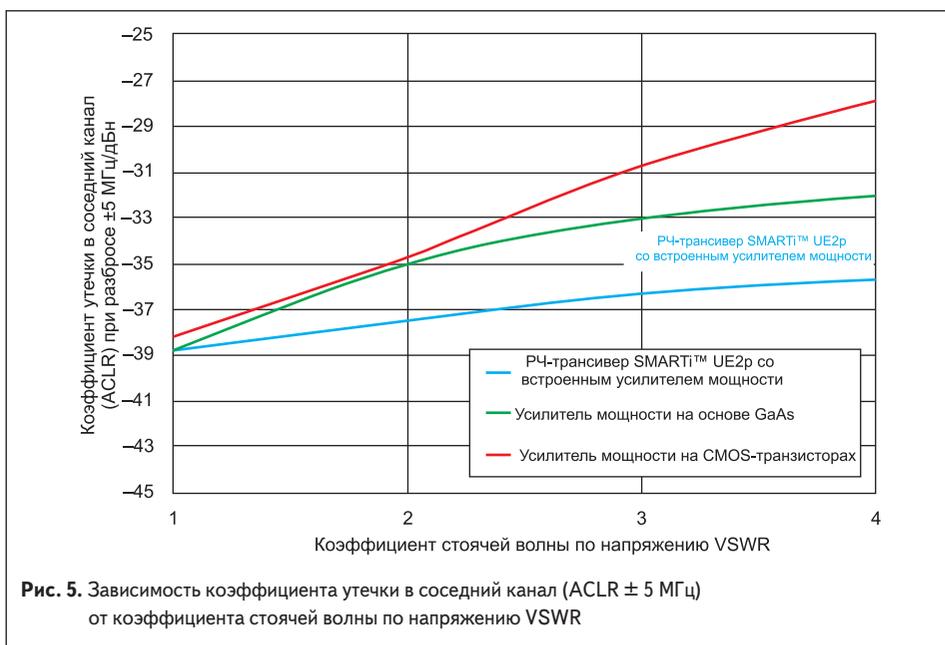


Рис. 5. Зависимость коэффициента утечки в соседний канал (ACLR ± 5 МГц) от коэффициента стоячей волны по напряжению VSWR

ХММ6255 удалось удовлетворить за счет использования нового трансивера SMARTi UE2p со встроенным 3G-усилителем мощности, разработанного с использованием уникальной технологии Intel Power Transceiver technology. Данный трансивер позволил существенно сократить габаритные размеры чипа и при этом повысить надежность при скоростях передачи в диапазонах 7,2 Мбит/с (HSDPA) и 5,76 Мбит/с (HSUPA).

В трансивере SMARTi UE2p реализована инновационная схема антенного интерфейса и встроенные схемы защиты, обеспечивающие высокую производительность в диапазонах 3G и устойчивую работу при эксплуатации в жестких условиях. В чипсете ХММ6255 осуществляется непрерывный контроль постоянного и импульсного напряжения, потребления тока и температуры модуля. Это позволило реализовать такие функции, как, например, защита от перегрузок по току и напряжению, от бросков напряжения и высокочастотных импульсных наводок, отключение при перегреве. Таким образом, в конечном изделии на базе чипсета ХММ6255 для реализации защитных функций не требуется дополнительных датчиков температуры и цепей коррекции. Из других полезных функций следует отметить контроль работоспособности внешней антенны (импеданса нагрузки).

Высокая степень интеграции чипсета ХММ6255 предоставляет разработчикам широкие возможности при проектировании новых нетрадиционных конструктивов, а также снижает стоимость дополнительных внешних комплектующих, необходимых для проектирования конечных устройств на базе этого чипсета.

На рис. 3 показана структурная схема «Мобильной коммуникационной платформы ХММ™6255 Intel® Mobile Communications Platforms».

Модуль коммутирующего устройства (Isoplexer module) спроектирован специально для совместной работы с трансивером. Коммутационно-развязывающее устройство представляет собой двухпортовый микроволновый вентиль, который пропускает РЧ-сигналы в одну сторону. При этом практически полностью подавляется передача сигнала в обратном направлении. Таким образом это устройство обеспечивает защиту одного своего порта от влияния на него другого порта. Такой подход позволил получить приемопередатчик со встроенным усилителем мощности, который по чувствительности и производительности превосходит стандартные решения, использующие отдельные CMOS- и GaAs-блоки.

Для сравнения параметров мобильной платформы ХММ6255, имеющей интегрированный усилитель мощности, с другими аналогичными устройствами в лаборатории Intel провели стендовые испытания, в которых были задействованы усилитель мощности на основе арсенида галлия (GaAs) и усилитель мощности на CMOS-транзисторах.

На рис. 4 показаны полученные при тестовых испытаниях зависимости выходной мощности, излучаемой антенной, от коэффициента стоячей волны по напряжению VSWR [8].

Различные варианты коллизий на антенном разъеме показали примерно одинаковые,

в пределах ошибок измерения, результаты для идеальных условий ($VSWR = 1$, импеданс = 50 Ом). Однако при увеличении $VSWR$, соответствующем каким-либо коллизиям в антенне, кривые для разных типов чипсетов расходятся. Мобильная коммуникационная платформа XMM6255 показывает результат почти на 45% лучше по сравнению с чипсетами, в которых используются стандартные технологии.

На рис. 5 показана зависимость коэффициента утечки в соседний канал (Adjacent Channel Leakage Ratio, ACLR) от коэффициента стоячей волны по напряжению $VSWR$ для различных вариантов чипсетов мобильной связи [8]. Значение ACLR определяет отношение полезной мощности в полосе частот к паразитной эмиссии в соседние каналы. Из приведенных на рисунке данных следует, что чипсет XMM6255 показывает наименьшее значение утечек в соседние каналы при максимальных значениях $VSWR$, которые соответствуют наихудшим условиям связи в режиме 3G. Для XMM6255 значение ACLR, равное -36 дБн (децибел относительно уровня несущей), достигается при коэффициенте $VSWR = 4,1$. Для усилителя мощности на базе GaAs ACLR = -34 дБн при $VSWR = 4,1$.

Результаты испытаний, приведенные на рис. 4 и 5, объясняют, почему мобильная коммуникационная платформа XMM6255 может уверенно работать в условиях сильных помех и низкого уровня сигнала. Это качество особенно ценно в приложениях IoT, в которых на небольших расстояниях будет одновременно работать большое количество устройств с различными беспроводными технологиями и стандартами.

Высокая чувствительность позволяет использовать малогабаритные антенны в миниатюрных конечных изделиях, таких, например, как наручный пульсометр, контроллер-кардиостимулятор, миниатюрные 3G/GNSS-навигаторы и т. д. Кроме того, устройства на базе XMM6255 будут работать и в экранируемых объемах — подвале дома, багажнике автомобиля и т. п.

В настоящее время доступны два варианта чипсета XMM6255 с различными параметрами Isoplexer module:

- конфигурация 3G со встроенным дуплексером для частотных диапазонов 1/8, 2/5 или 1/5;
- конфигурация 2G/3G с поддержкой частотных диапазонов 1/8 или 2/5.

В состав модуля коммутирующего устройства входят согласующие цепи, дуплексеры, фильтры и TX-переключатели. Использование микроволнового вентиля TX3G-портов дает ряд преимуществ по сравнению с традиционной архитектурой и позволяет с высокой точностью контролировать импеданс нагрузки усилителя мощности. Непосредственно внутри чипа организована обратная связь между выходом усилителя мощности и узлом контроля режимов работы и энергопотребления. Поэтому, в отличие от других моделей, для чипа XMM6255 не требуются дополнительные внешние элементы для включения контроля мощности. Механизм контроля бросков мощности, обусловленных случайными наводками на антенном входе, позволяет исключить возможные искус-

Таблица 1. Ток потребления XMM6255 при напряжении питания 3,8 В для частотных диапазонов 3G (B1, B8)

Спящий режим, мА	1,1	
0 дБм, мА	127	124
22,5 дБм, мА	530	473

ственные и естественные искажения, а также контролировать корректную работу антенны. Встроенный цифровой корректор искажений обеспечивает надежную передачу и прием информации во всем интервале мощностей при работе в диапазонах 2G и 3G.

Чипсет XMM6255 можно напрямую подключать к шине внешнего питания. Встроенные понижающие DC/DC-конвертеры обеспечивают необходимые напряжения питания для ВВ-процессора (X-GOLD 625 baseband), ПЧ-блока и памяти МСР. Чипсет имеет вход для подключения кварцевого генератора DCXO. Ток потребления в различных режимах работы показан в таблице 1.

Уникальные характеристики нового чипсета Intel XMM6255 объясняют тот факт, что ведущие производители модулей мобильной связи используют его в своих последних разработках, например Telit UL865 и u-blox SARA-U2xx.

Высочайшая степень интеграции базового чипсета Intel XMM6255, с одной стороны, значительно упрощает производство конечного 3G-модуля, а с другой — значительно усиливает конкуренцию между производителями модулей. В результате большинство технических характеристик конечных 3G-модулей одинаковы для моделей различных производителей. Основная конкурентная борьба ведется в таких направлениях, как программное обеспечение, дополнительные сервисные функции, интер-



Рис. 6. Внешний вид модуля UG95

фейсы пользователя, надежность, удобство интеграции в прикладное изделие, энергопотребление, условия эксплуатации, габаритные размеры, цена.

Технические характеристики модуля UG95

Внешний вид модуля UG95 показан на рис. 6, структурная схема — на рис. 7. Модуль включает в себя следующие основные блоки:

- входной антенный каскад (Front End Module, FEM);
- модуль коммутирующего устройства (Isoplexer module);
- ПЧ-трансивер (RF transceiver);
- ЦСП (Baseband);
- память (DDR+NAND);
- интерфейсы пользователя (UART, USIM, USB, PCM, I²C, NETLIGHT, Control interface).

В структурной схеме модуля UG95 блоки FEM, Isoplexer, RF transceiver, Baseband, DDR/NAND входят в состав платформы XMM6255

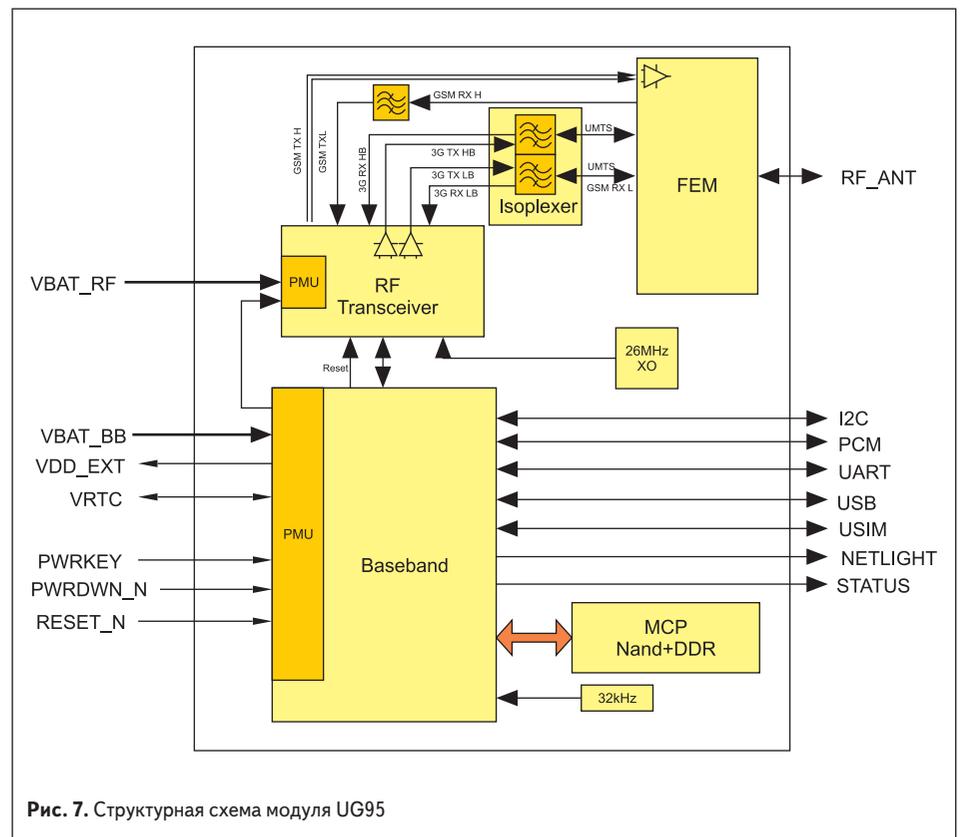


Рис. 7. Структурная схема модуля UG95

Таблица 2. Частотные диапазоны модулей UG95-A и UG95-E

Модификация	GSM 850	EGSM 900	DCS 1800	PCS 1900	UMTS 850	UMTS 900	UMTS 1900	UMTS 2100
UG95-A					Да		Да	
UG95-E		Да	Да			Да		Да

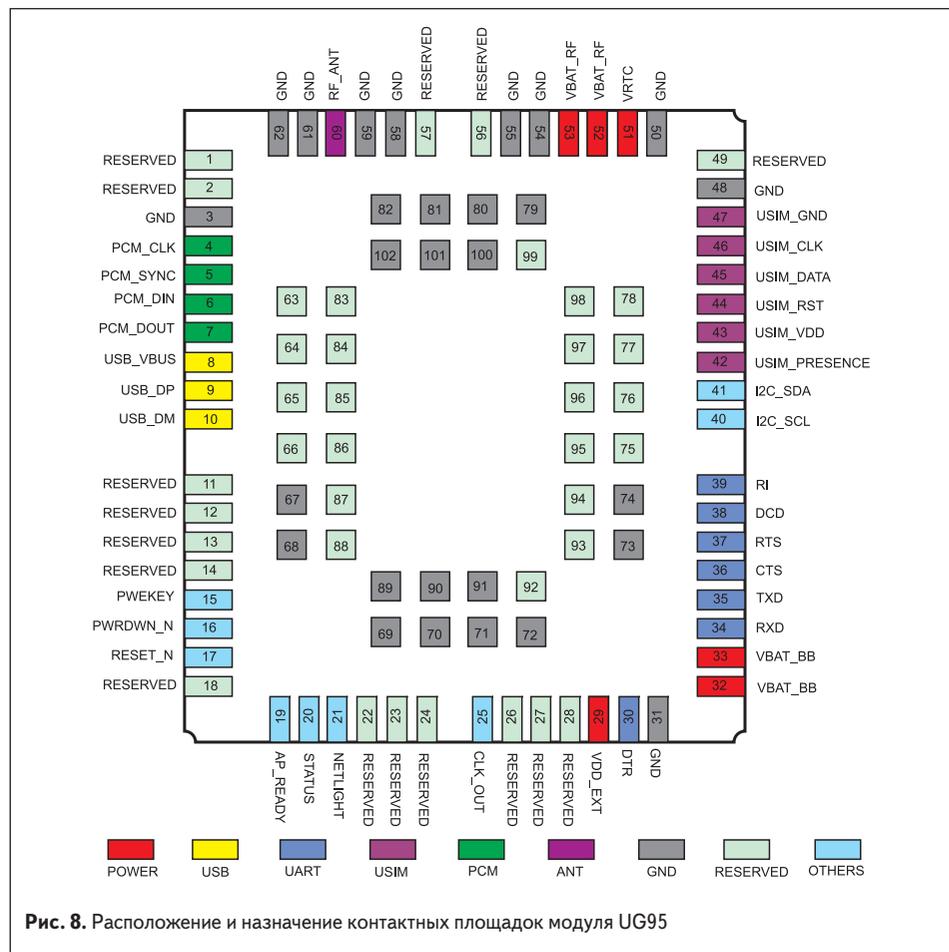


Рис. 8. Расположение и назначение контактных площадок модуля UG95

(часть 1, рис. 3). Таким образом, UG95, по существу, представляет собой чипсет XMM6255, размещенный в корпусе LGA, дополненный интерфейсами пользователя и периферийными устройствами.

Модуль полностью соответствует стандартам IMT-2000/UMTS (3GPP Release 6, 7). Данная модель позволяет одновременно предоставлять сервисы голосовой связи и передачи данных UMTS и HSPA. Конструктив модуля LGA-102, предназначенный для поверхностного монтажа, упрощает процесс сборки и ремонта.

Интерфейсы модуля выведены на контактные площадки, расположенные по всему корпусу с шагом 1,1 мм. В модели UG95 задействованы 62 контактные площадки, остальные заземлены или зарезервированы для последующих модификаций. Расположение и назначение контактных площадок модуля UG95 показано на рис. 8. На контакте 21 предусмотрена светодиодная индикация режимов работы: регистрация — быстрое мерцание светодиода; поиск сети — медленное мерцание светодиода; сеанс связи — постоянное горение светодиода.

В настоящее время выпускаются две модификации: UG95-A и UG95-E, предназначенные для американского и европейского регионов. В таблице 2 приведены частотные диапазоны модулей UG95-A и UG95-E. Рабочие частоты UG95-E совпадают с диапазоном частот, разрешенных для использования сетями третьего поколения в России.

Модуль может работать как в обычных сетях GSM/GPRS/EDGE, так и в сетях третьего поколения UMTS и HSPA+. UG95 имеет интерфейсы Power supply, RTC, UART, USIM, USB, PCM, NETLIGHT (Status indication). Основные технические характеристики модуля приведены в таблице 3.

Таблица 3. Технические характеристики UG95

Напряжение питания, В		3,3-4,3 (тип. 3,8)
Скорость передачи данных (максимально)	HSDPA	7,2 Мбит/с
	HSUPA	5,76 Мбит/с
	UMTS	384 кбит/с (DL и UL)
	EDGE	236,8 кбит/с (только DL)
	GPRS	85,6 кбит/с (DL и UL)
	CSD	14,4 кбит/с
Мощность передатчика, дБм		Class 4 ((33 ± 2) дБ) для EGSM900; Class 1 ((30 ± 2) дБ) для DCS1800; Class 3 ((24 + 1,7/-3,7) дБ) для UMTS 850/900/1900/2100
HSPA/UMTS		В соответствии с 3GPP Release 7
WCDMA (скорость передачи)		В соответствии с 3GPP R4, 384 кбит/с (UL и DL), поддержка QPSK и 16-QAM модуляции
GPRS		Поддержка GPRS класс 12, Cod: CS-1, CS-2, CS-3, CS-4, Max 4 Rx слот/фрейм
EDGE		Поддержка EDGE класс 12, GMSK и 8-PSK для MCS 1-9 (DL только)
CSD		Скорость передачи — 14,4 кбит/с (непрозрачный), USSD
Интернет-протоколы		TCP/UDP/PPP, PAP, CHAP
SMS		Текст и PDU, P2P MO и MT SMS cell
USIM Interface		Поддержка USIM, 1,8 и 3,0 В. Поддержка 8-проводной USIM с индикацией состояния карты
PCM		Поддержка внешних кодеков с 16 или 32 бит (Master/Slave mode)
UART		7-проводной, нет линии DSR
USB		USB 1.1/2.0 specification (только ведомый), скорость передачи до 480 Мбит/с
Габариты, мм		19,9(±0,15)×23,6(±0,15)×2,2(±0,2)
Вес, г		2,5
Диапазон температур, °C	рабочий	-35...+80 (полная функциональность)
	с возможным увеличением погрешности параметров приема и передачи	-40...+85
	хранения	-45...+90
Обновление ПО		USB, UART, FOTA
RoHS		Все комплектующие соответствуют EU RoHS directive

Электропитание модуля UG95

Одним из преимуществ UG95 является расширенный диапазон напряжений питания — 3,3–4,3 В. В модуле используются две разные линии напряжения питания: одна для цифрового сигнального процессора BATT+BB и интерфейсов пользователя, а вторая — для РЧ-части BATT+RF и встроенного усилителя мощности. Эти напряжения питания подаются на две контактные площадки: №№ 32, 33 — BATT+BB, №№ 52, 53 — BATT+RF. Блок управления энергоснабжением модуля контролирует все основные параметры распределенного электропитания и обеспечивает следующие функции:

- автоматическая регулировка и стабилизация напряжения питания цифрового сигнального процессора с использованием неизолированного понижающего DC/DC-преобразователя и линейного стабилизатора с малым падением напряжения;
- переключение питания между отдельными блоками при реализации различных сценариев энергосбережения;
- регулировка питания USIM в режимах регистрации, чтения, записи.

Поскольку токи потребления по входам BATT+BB и BATT+RF заметно различаются, в переносных устройствах с батарейным питанием целесообразно использовать аккумуляторные батареи разного типа и разной емкости. Особенно это полезно в тех случаях, когда используются различные режимы работы модуля (+CFUN=0 или 7 или 9). Такой подход позволяет существенно увеличить срок службы аккумуляторов. Также схема разнесенного электропитания помогает избежать искажений в работе отдельных блоков модуля в те моменты, когда пиковые значения тока в режиме регистрации в сети могут достигать 2 А. Этот случай особенно важен при первоначальной загрузке модуля и при повторной перерегистрации в сети после принудительной перезагрузки. Кроме того, схема питания позволяет реализовать метод, использующий разные пороги защиты от перегрузки по напряжению и току для различных блоков модуля.

В модулях UG95 предусмотрена возможность удаленного включения и выключения через линии PWRKEY и PWRDWN_N соответственно. Для включения модуля в рабочее состояние необходимо подать на вывод PWRKEY (pin 15) импульс низкого уровня длительностью не менее 100 мс. При выходе модуля на рабочий режим сигнал PWRKEY будет низкого уровня. Следует обратить внимание на то, что линия PWRKEY не может быть использована для удаленного выключения модуля. Для этой цели используется команда *AT+QPOWD* или линия PWRDWN_N. Рекомендуется удаленно отключать модуль с помощью команды *+QPOWD*. В этом случае отключение происходит в безопасном режиме с сохранением всех данных и отсылкой на сервер уведомления о прекращении работы «POWERED DOWN».

В аварийных случаях можно отключить модуль с помощью отрицательного импульса, который подается на линию PWRDWN_N (pin 16). Следует учитывать, что такое отключение не гарантирует сохранение всех данных. Кроме

того, в UG95 предусмотрено автоматическое отключение питания в экстремальных ситуациях. Для этого используется команда *AT+QIND*. Например, если напряжение питания упадет ниже 3,3 В, то модуль сгенерирует аварийное сообщение: «+QIND: "vbatt",-2» и автоматически отключит питание.

Для перезагрузки модуля используется вывод 13 (RESET_N), на который подается импульс низкого напряжения длительностью 10 мс. Для этого рекомендуется использовать схему с открытым коллектором. При использовании этого вывода следует избегать многократных повторных перезапусков в течение короткого интервала времени.

Ток потребления модуля UG95 при работе в нормальном режиме составляет:

- GSM, голосовое соединение, максимальная мощность — 212 мА;
- UMTS, голосовое соединение, максимальная мощность — 586 мА;
- GPRS, передача данных, максимальная мощность — 490 мА;
- HSDPA, максимальная мощность — 524 мА;
- HSUPA, максимальная мощность — 563 мА.

Также UG95 может работать в режиме энергосбережения, в котором порты UART и USB будут отключены. Спящий режим задается командой *AT+QSCLK*. В таблице 4 приведены значения тока потребления в спящем режиме.

Принцип периодического режима приема (Discontinuous Reception, DRX) заключается в том, что модуль принимает данные от базовой станции не все время непрерывно, а только в заданные периоды. Таким образом, модуль в определенные моменты времени отключает свой приемник, что позволяет значительно снизить энергопотребление. В режиме DRX время функционирования модуля разбивается на следующие интервалы: onDuration, ShortDRX-onDuration, LongDRX, ShortDRXCycleTimer. В первом периоде onDuration модуль сканирует наличие сигнала от БС. Если в течение этого времени сигнал не найден, то приемник отключается до окончания периода, определяемого параметром ShortDRX-onDuration. Параметр LongDRX также определяет длительность периода ожидания до момента отключения приемника. Однако этот параметр больше, чем длительность короткого периода. Модуль начинает использовать интервал LongDRX в том случае, когда в течение работы таймера ShortDRXCycleTimer не было передачи данных от БС. После каждого приема данных от БС таймер автоматически перезапускается.

Включение продолжительного периода LongDRX позволяет еще больше снизить энергозатраты. Однако при этом также увеличивается задержка передачи данных.

Для контроля спящего режима прикладного процессора используются специальные выводы AP_READY (pin 19). Вывод STATUS (pin 20) используется для светодиодной индикации включения питания.

Последовательный интерфейс модуля UG95

Модули UG95 имеют 7-проводной интерфейс UART, в котором поддерживаются следующие сигналы:

- RI (Ring indicator);
- RTS (Request to send);
- CTS (Clear to send);
- TX (Transmit, передача данных);
- RX (Receive, передача данных);
- DTR (передача данных Terminal Ready);
- DCD (передача данных Carrier Detect);

Сигнал DSR (передача данных Set Ready) не поддерживается. Необходимо подчеркнуть, что UART в модуле UG95 имеет уровни сигналов 1,8 В. Поэтому для работы с микроконтроллерами 3,3 В нужно дополнительно использовать 8-битную микросхему согласования уровней.

По умолчанию аппаратное управление потоком отключено. Для включения аппаратного управления потоком данных используется команда *AT+IFC=2,2*. Команда *AT+IFC=0,0* используется для отключения аппаратного управления потоком.

Сигнал DTR может быть использован для переключения модуля из режима передачи данных в командный режим. Этот процесс реализуется с помощью команды AT&D, которая подробно описана в документе [16].

В спящем режиме UART может быть недоступен для внешних приложений. Выход из режима Sleep реализуется с помощью линии RI, которая подключается к выводу EINT процессора. Команда AT+QCFG=«uart/power»,1,2 закрывает UART-порт. Команда AT+QCFG=«uart/power»,0,0 переводит UART в режим автоматического включения/отключения. Команда AT+QSCLK=1 служит для перехода в режим Sleep.

Сигнал DTR может быть использован для переключения модуля из режима передачи данных в командный режим. Этот процесс реализуется с помощью команды AT&D, которая подробно описана в документе [13].

В спящем режиме UART может быть недоступен для внешних приложений. Выход из спящего режима реализуется с помощью

Таблица 4. Значения тока потребления модуля UG95 в спящем режиме

Диапазон	Режим работы	Периодический прием	Ток потребления, мА
GSM/GPRS	Sleep (USB отключен)	DRX=2	1,45
		DRX=5	1,12
		DRX=9	0,96
WCDMA	Sleep (USB отключен)	DRX=5	1,12
		DRX=9	0,96
		DRX=6	1,98
		DRX=7	1,46
		DRX=8	1,24
		DRX=9	1,15

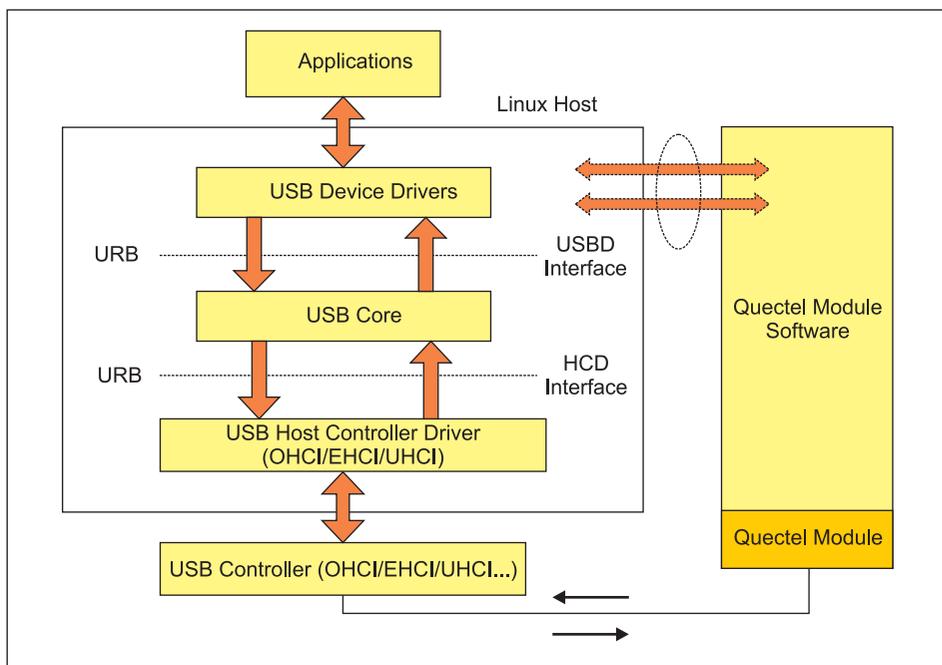


Рис. 9. Архитектура USB-драйвера модуля UG95 для работы под управлением Linux

линии RI, которая подключается к выводу EINT процессора. Команда **AT+QCFG=*uart/power*,1,2** закрывает порт UART. Команда **AT+QCFG=*uart/power*,0,0** переводит UART в режим автоматического включения/отключения. Команда **AT+QSCLK=1** служит для перехода в спящий режим.

Интерфейс USB модуля UG95

В модулях UG95 есть интерфейс USB, который поддерживает спецификации USB 2.0 High Speed (480 Мбит/с) и USB 2.0 Full Rate (12 Мбит/с). Интерфейс USB предназначен для работы с AT-командами и отладки модуля. При этом UG95 выполняет роль ведомого устройства.

В комплект программного обеспечения (ПО) модуля входят драйверы для ОС Windows XP/

Vista/7/8, Linux, Android [10, 11, 12]. После успешной загрузки драйвера Windows на компьютере автоматически устанавливаются следующие порты:

- Quectel USB Modem Port — для передачи данных по протоколам PPP, TCP/IP;
- Quectel USB AT Port1 — для работы с AT-командами и передачи данных;
- Quectel USB AT Port2 — для работы с AT-командами и передачи данных;
- Quectel USB Reserved Port1 — резервный;
- Quectel USB Reserved Port2 — резервный;
- Quectel USB Trace Port1 — тестовый порт мобильной связи;
- Quectel USB Trace Port2 — специальный тестовый.

Таким образом, в USB-интерфейсе модуля могут быть использованы основной модем-

ный порт (виртуальный USB-порт) и шесть коммуникационных портов. На рис. 9 схематически показана архитектура USB-драйвера модуля UG95 для работы под управлением Linux. Интерфейс USB имеет иерархическую структуру. Передача данных между двумя устройствами по нему реализуется с помощью контроллера (USB Controller).

Драйвер хоста включает три основных блока: USB Host Controller driver, USB core, USB device drivers. Программный модуль, который управляет непосредственно аппаратной частью, определяется блоком USB Host Controller, расположенным на нижнем уровне. В центре иерархической структуры расположен блок USB host driver, который управляет USB-шиной и подключенными к ней USB-устройствами. С помощью этого блока осуществляется доступ к системным файлам USB-интерфейса. Через блок USB device drivers контролируется взаимодействие со специальными приложениями. Подробно драйвер для работы с Linux описан в [11].

В комплект поставки UG95 входят также драйверы для работы с Android v. 2.x, 3.x, 4.x, 5.x.

Взаимодействие центральной части операционной системы аппаратного ядра (kernel) с прикладными структурами поддерживается с помощью драйвера Android RIL driver (Radio Interface Layer, RIL). Подробное описание этого драйвера приведено в [12]. Порт USB конфигурируется напрямую через kernel. Для этого последовательно выполняются следующие операции: **cd<your kernel directory>**, **make menuconfig**, **[*]Device Drivers** → **[*]USB Support** → **[*]USB Modem (CDC ACM) support**. Детальное описание этой процедуры приведено в [12].

Для отключения USB в спящем режиме используются следующие команды:

- **AT+QCFG=*uart/power*,1,2;**
- **AT+QCFG=*uart/power*,0,0;**
- **AT+QSCLK=1.**

Интерфейс USIM

Интерфейс USIM модуля UG95 поддерживает карты с напряжениями 1,8 В и 3,0 В и полностью соответствует требованиям ETSI и IMT-2000. Отличительной особенностью USIM является поддержка как стандартного шестипроводного, так и расширенного восьмипроводного интерфейсов.

Восьмипроводной USIM позволяет контролировать наличие карты в держателе. Схема его подключения показана на рис. 10. Этот интерфейс имеет две дополнительные линии USIM_PRESENCE и Dedicated USIM Ground по отношению к стандартному шестипроводному USIM. В зависимости от уровня сигнала между этими линиями модуль вырабатывает URS-сообщение, характеризующее статус USIM.

Данный процесс управляется командой **AT+QSIMDET**. Наличие карты характеризуется напряжением 1,8 В на выводе USIM_PRESENCE. Формат команды: **AT+QSIMDET=<enable>**, **<insert_level>**. Параметр **<enable>** может принимать два значения контроля наличия SIM/USIM-карты: «1» — контроль наличия включен, «0» — контроль отключен. Параметр **<insert_level>** определяет уровень сигнала на выводе USIM_PRESENCE при наличии SIM/USIM-карты: «0» — низкий, «1» — высокий.

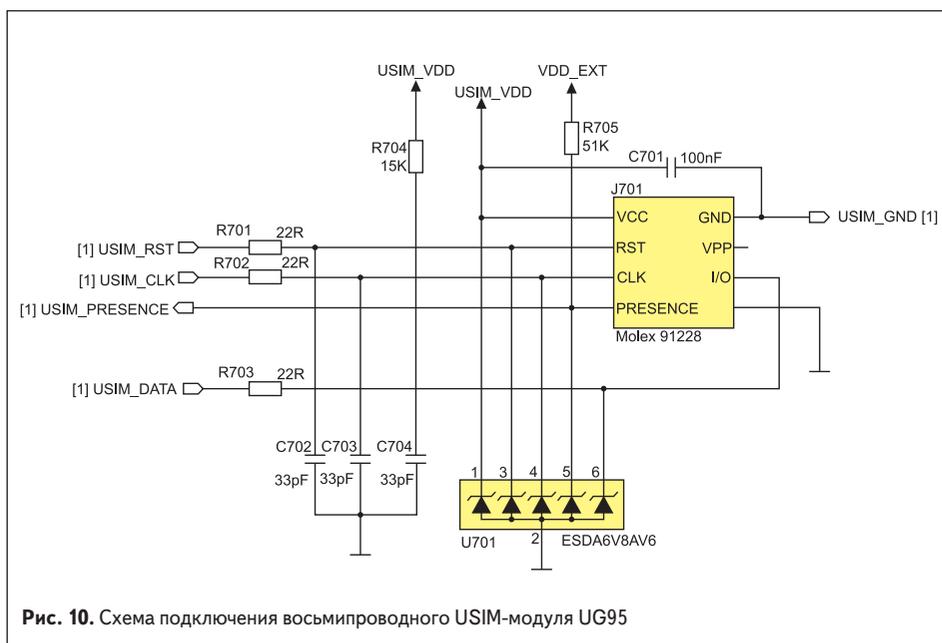


Рис. 10. Схема подключения восьмипроводного USIM-модуля UG95

Например, команда **AT+QSIMDET=1,0** означает, что модуль сообщает о наличии карты в держателе при низком уровне на контакте USIM_PRESENCE.

С помощью команды **AT+QSIMSTAT** формируется запрос о состоянии карты. Использование функции USIM card detection позволяет менять карту «на ходу» (hot-plugging), без выключения питания. Эта функция может оказаться полезной при проектировании устройств с переключением между USIM-картами различных операторов.

На рис. 10 резисторы R701–R703 используются для уменьшения уровня электромагнитных наводок. Резистор R704 (Pull-UP) улучшает помехозащищенность. Сборка ESDA6V8AV6 предохраняет USIM-карту от электростатических повреждений. В схеме с восьмипроводным интерфейсом рекомендуется использовать держатель карты типа Molex 91228.

В тех приложениях, где нет необходимости контролировать наличие USIM и использовать функцию hot-plugging, можно применять стандартную шестипроводную схему и простые держатели карт, такие, например, как Amphenol C707. В этом случае выводы USIM_PRESENCE и Dedicated USIM Ground оставляют свободными. Подробные схемы выводов интерфейсов модуля UG95 приведены в [14].

В модулях UGxx поддерживается технология USIM Application Toolkit (USAT). Эта технология, регламентированная в стандартах 3GPP TS 11.14, 3GPP TS 31.111 и ETSI TS 102223, позволяет записывать небольшие приложения пользователя непосредственно на USIM-карту и обрабатывать их в модуле, минуя внешний управляющий процессор. Основная функция

USAT заключается в том, чтобы позволить модулю посылать AT-команды через USIM-интерфейс. При этом сами приложения выполняются внутри USIM-карты, вне зависимости от того, как именно они были подготовлены. Команды, управляющие работой USAT, рассмотрены ниже.

Интерфейсы PCM и I²C

Модуль UG95 оснащен современным цифровым аудиоинтерфейсом с поддержкой импульсно-кодовой модуляции (Pulse Code Modulation Interface, PCM).

Цифровой PCM-интерфейс обладает следующими свойствами:

- сигналы — PCM_CLK (pin 4), PCM_SYNC (pin 5), PCM_IN (pin 6), PCM_OUT (pin 7);
- уровень сигналов 1,8 В;
- режимы Master или Slave;
- частота семплирования — программируемая, от 8 до 48 кГц;
- разрядность квантования — программируемая, 16 или 32 бит;
- самый старший бит передается первым (MSB-First);
- общая синхронизация для приема и передачи.

Цифровой аудиоинтерфейс модуля UG95 позволяет использовать его для связи с другими устройствами с поддержкой PCM в таких приложениях, как, например, голосовая связь через Интернет (Voice over Networks, VoIP), цифровые беспроводные аудиосистемы, охранная сигнализация, беспроводные системы аварийного оповещения и т. д.

Для конфигурирования цифрового аудиоинтерфейса модуля UG95 используется команда **+QDAC**. Формат команды:

AT+QDAC=<io>,<mode>,<sample_rate>,<data_length>,<channel_mode>,<data_format>

Параметр **<io>** позволяет выбрать внешнее приложение с PCM-интерфейсом. Значение **<io>=1** соответствует выбору любого внешнего устройства с интерфейсом PCM, параметры которого задаются другими AT-командами [13]. Программное обеспечение модуля имеет встроенные блоки, обеспечивающие работу PCM-интерфейса модуля UG95 с внешними аудиокодеками NAU8814, ALC5616, MAX9860. Параметр **<mode>** определяет режим работы: «0» — Master, «1» — Slave. Параметр **<sample_rate>** задает частоту семплирования: 8, 11, 12, 16, 22, 24, 32, 44, 48 кГц. С помощью параметра **<data_length>** выбирается разрядность квантования: 16 или 32 бит. Варианты параметра **<channel_mode>** определяют характер аудиоканала — моно или стерео. Выбор интерфейса для подключения внешнего устройства осуществляется параметром **<data_format>**: «0» — PCM, «1» — I²C.

Модуль UG95 имеет последовательный интерфейс I²C (Inter-Integrated Circuit), поддерживающий сигналы I2C_SCL (pin 40) и I2C_SDA (pin 41). Данный интерфейс предназначен для управления аудиокодеком, а также может быть использован для связи с другими устройствами. Сигнальные линии этого интерфейса I2C_CLK (I²C Serial Clock) и I2C_DAT (I²C Serial Data) выведены на контакты 40 и 41 и подключены через подтягивающие резисторы.

При работе с интерфейсом I²C модуль UG95 выступает в качестве ведущего устройства и управляет линией I2C_CLK. Линия I2C_CDAT

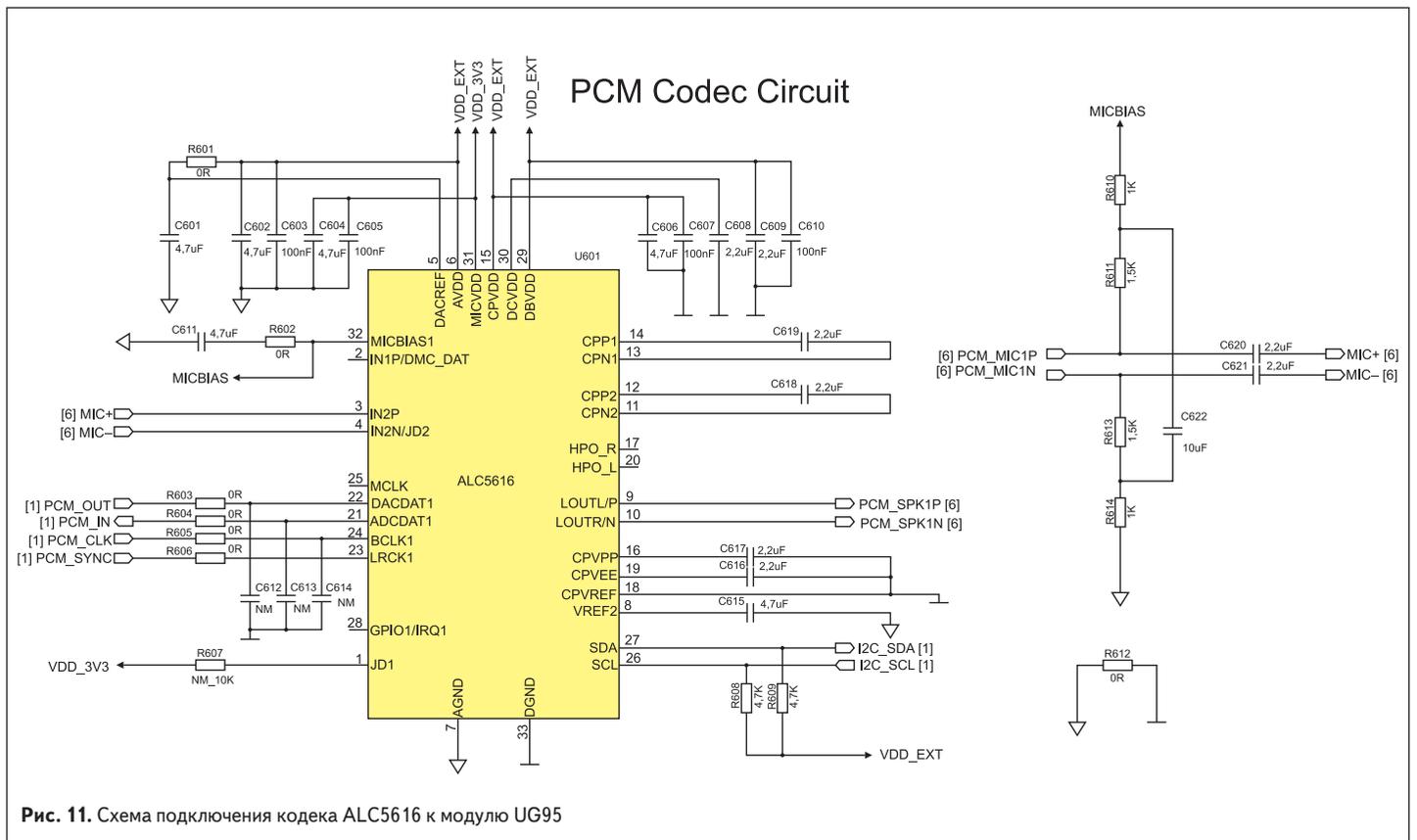


Рис. 11. Схема подключения кодека ALC5616 к модулю UG95

является двунаправленной. Каждому устройству, подключенному к шине I²C, присваивается уникальный 7-битный адрес, позволяющий в любой момент организовать связь в режиме «мастер-ведомый».

На рис. 11 показана схема подключения кодака ALC5616 к модулю UG95.

В модуле UG95 предусмотрен специальный вывод CLK_OUT (pin 25), предназначенный для тактовой частоты внешнего аудиокодека. Этот вывод управляется командой **AT+QPCMLK**.

С помощью команды **AT+QPCMON** определяются частоты PCM_CLK (BCLK) и PCM_SYNC.

Для настройки аудиоинтерфейса модуля UG95 используется сложная многопараметрическая разветвленная команда **AT+QAUDCFG**. Подробное описание работы с этой командой приведено в [13].

В документе [14] можно найти детальные инструкции использования аудиоинтерфейса модуля UG95 с примерами реальных принципиальных схем.

Интерфейс RTC

Часы реального времени (Real Time Clock, RTC) предназначены для учета текущего времени, даты, дня недели и других хронометрических данных в условиях отсутствия основного питания V_BAT. Питание интерфейса RTC в модуле UG95 может быть реализовано с помощью внешнего конденсатора, подключенного к вы-

воду V_RTC. Этот конденсатор заряжается при включенном питании с помощью встроенного Low Dropout (LDO) регулятора напряжения, а при выключении основного питания поддерживает работу памяти RTC за счет своего заряда. Емкость конденсатора определяет время работы RTC при отсутствии питания. Встроенный резистор (1 кОм) ограничивает ток по линии V_RTC. Оценить время работы RTC можно по формуле:

$$C = \text{Time_RTC} * I / (V_RTC - V_{\text{RTC_MIN}}),$$

где:

- V_RTC — напряжение заряда конденсатора (1,8 В);
- V_RTC_MIN — минимальное рабочее напряжение RTC (1,0 В);
- I — ток потребления RTC (2 мкА);
- Time_RTC — время работы RTC при выключенном питании V_BAT;
- C — емкость внешнего конденсатора.

Современные суперконденсаторы (SuperCap) при габаритных размерах 10×15 мм имеют емкость больше 10 Ф. Такие суперконденсаторы могут обеспечить длительную работу RTC при отсутствии основного питания V_BAT. ■

Литература

1. <http://quectel.com>
2. <http://quectel.com.ru>

3. www.flextronics.com/
4. www.linkedin.com/pulse/european-machine-m2m-communications-market-jayson-bilag
5. www.linkedin.com/pulse/quectel-successfully-hosts-first-european-distributor-jayson-bilag?forceNoSplash=true
6. www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
7. www.visionmobile.com/blog/2014/10/kingmakers-internet-things/
8. www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/white-papers/xmm-6255-smarti-ue2p-paper.pdf
9. UG95 Hardware Design, UMTS/HSPA Module Series, Rev. V1.5, Date: 2015-12-21
10. UGxx, Windows USB Drivers, Installation Guide, UMTS/HSPA Module Series, Rev. V1.1, Date: 2015-06-15
11. WCDMA<E Linux USB Driver User Guide, UMTS/HSPA/LTE Module Series, Rev. V1.4, Date: 2015-11-03
12. Android RIL Driver User Guide, GSM/GPRS/UMTS/HSPA/LTE Module Series, Rev. V1.3, Date: 2015-07-10
13. WCDMA UGxx, AT Commands Manual, UMTS/HSPA Module Series, Rev. V1.5, Date: 2015-08-18.
14. WCDMA UGxx, Audio Design Note, UMTS/HSPA Module Series, Rev. V1.2, Date: 2015-12-21