

Мартин Штойр (Maxim Integrated)

## БЕСПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ – ЧТО НУЖНО УЧЕСТЬ ПРИ РАЗРАБОТКЕ?



*Процесс разработки беспроводной системы может вылиться в достаточно большую и комплексную работу, требующую учета многих факторов. Однако, при разумном подходе, данный процесс можно упростить. Данная статья затрагивает основные вопросы, возникающие при разработке беспроводных систем и приложений для них. Основное внимание уделено общим вопросам разработки беспроводных систем нелицензируемого ISM-диапазона, в частности, вопросам выбора частотного диапазона, одно- или двунаправленного обмена данными, выбора метода модуляции сигнала, стоимости системы, выбора антенн, влиянию источников питания, радиусу действия сети и протоколов ее работы.*

Почему разработчики предпочитают работать в диапазоне 868/915 (в РФ 915 является закрытой частотой – прим. переводчика) МГц по сравнению с диапазоном 433,93 МГц? Иными словами – почему вы выбираете именно те частоты, которые вы используете? Ответ может быть обоснован как минимум двумя соображениями: или данный тип приложений традиционно использует данный частотный диапазон, или же разработчик должен взвесить все аспекты работы приложения и уже после этого сделать выбор в пользу того или иного частотного диапазона (рисунок 1).

Безусловно, одним из наиболее важных вопросов при создании беспроводной системы является выбор ее частотного диапазона. Ответ на вопрос «какой частотный диапазон лучше?» может стать проще, если требования к антенне и ее размещению не являются жесткими, между узлами системы нет препятствий, устройство подключено к линейному источнику напряжения. Но, к примеру, если речь идет о системе для бытовых нужд, то вполне вероятно, что ее узлы имеют скрытую антенну (возможно размещение в стенах, потолках или фальш-панелях), и период автономной работы от батареек невысокой емкости типа CR2032 составляет несколько лет. Тогда именно эти параметры будут определять выбор частотного диапазона и элементной базы для узлов системы.

Как правило, более низкочастотные системы обеспечивают большую возможную дальность связи между узлами и менее зависимы от наличия препятствий или требований прямой видимости

между ними, но на практике более важную роль часто играют другие параметры. К примеру, геометрические размеры антенны, ее диаграмма направленности, работа в условиях реального окружения (препятствий оказывается меньше, чем в условиях планирования наихудшего варианта), влияние шумов, в том числе соседних радиочастотных систем, оказывают более сильное влияние на выбор частотного диапазона, чем просто дальность связи.

Какова должна быть выходная мощность передатчиков? Какие ограничения следует учитывать (к примеру, коэффициент гармоник)?

Высокая выходная мощность передатчика может в ряде случаев компенсировать некоторые недостатки в системе. Однако, она ограничена и возможностями источников питания, и регламентирующими документами. Очень часто приходится увеличивать мощ-

ность передатчика, чтобы скомпенсировать потери в антенном тракте.

(Для более детального рассмотрения путей потерь распространения см. AN3945 «Path Loss in Remote Keyless Entry Systems». Информацию об оценке и планировании диапазона для расчета бюджета канала можно посмотреть в документе AN5125 «Radio Link-Budget Calculations for ISM-RF Products», а также документах, упомянутых в нем).

### Одно- или двунаправленная связь

Существует большое количество приложений, в которых достаточно однонаправленной передачи данных. К примеру, действия типа разблокирования дверей автомобиля или открытия окна в комнате могут не требовать подтверждения их выполнения. Следовательно, для этих случаев возможно применение более дешевых компонентов, обеспечивающих только прием или только передачу данных. Но, несмотря на то, что однонаправленные радиосистемы востребованы на рынке, потребность в двунаправленной передаче данных для мониторинга состояния, осуществления обратной связи, отображения статуса пользователя постоянно возрастает. Существует тенденция развития однонаправленных систем для перехода к двунаправленной передаче данных. Так, при эксплуатации бесконтактных автомобильных ключей или систем доступа пользователю может быть важно удо-

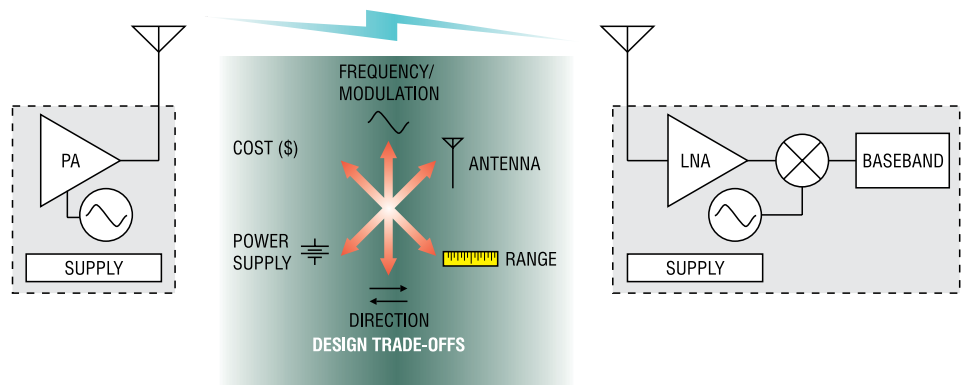


Рис. 1. Основные аспекты выбора частотного диапазона при разработке беспроводных систем

Таблица 1. Геометрические параметры антенн

Частота, МГц	Длина волны, λ, м	Размер четвертьволнового монополя, см (свободное пространство)	Размер четвертьволнового монополя, см (на текстолите FR4)	Эффективная площадь	Ближняя зона (Reactive Near Field), см	Дальняя зона, м
260	1,153	28,83	16,72	1058	18,35	2,31
300	0,9993	24,98	14,49	795	15,90	2,00
315	0,9517	23,79	13,80	721	15,15	1,90
330	0,9085	22,71	13,17	657	14,46	1,82
434	0,6907	17,27	10,02	380	10,99	1,38
435	0,6892	17,23	9,99	378	10,97	1,38
470	0,6379	15,95	9,25	324	10,15	1,28
868	0,3454	8,63	5,01	95	5,50	0,691
902	0,3324	8,31	4,82	88	5,29	0,665
915	0,3276	8,19	4,75	85	5,21	0,655
928	0,3231	8,08	4,68	83	5,14	0,646

Таблица 2. Токи потребления транзисторов Maxim

Наименование	Модуляция	Ток в режиме передачи, мА (315 МГц)	Ток в режиме передачи, мА (434 МГц)	Ток в режиме передачи, мА (915 МГц)	Ток потребления в спящем режиме, мкА
<b>MAX1472</b>	ASK	9,1	9,6	—	0,005
<b>MAX1479</b>	ASK	6,7*	7,3*	—	0,0002
	FSK	10,5*	11,4*	—	
<b>MAX7032</b>	ASK/ FSK	<12,5*	<6,7	—	<0,8
<b>MAX7044</b>	ASK	7,7**	8,0**	—	0,04
<b>MAX7049</b>	ASK	16*	16*	16*, 27***	<0,35
	FSK	21*	21*	21*, 41***	
<b>MAX7057</b>	ASK	8,1*	8,5*	—	<1,0
	FSK	12,2*	12,4*	—	
<b>MAX7058</b>	ASK	8,0*	8,3* (390 МГц)	—	<1,0
<b>MAX7060</b>	ASK	12,5*	14,2*	—	<0,05
	FSK	19*	25*	—	

Напряжение питания 3,0 В, длительность рабочего цикла при ASK 50%.

- \* — при выходной мощности +10 дБм;
- \*\* — при выходной мощности +13 дБм;
- \*\*\* — при выходной мощности +15 дБм.

Таблица 3. Основные параметры батарей различных технологий

Тип батареи	Технология	Номинальное напряжение, В	Емкость, мАч	Диаметр/толщина, мм	Вес, г
<b>A27</b>	Алкалиновая	12*	22	8,0/28	4,4
<b>394</b>	Оксид серебра	1,55	63	9,4/3,5	1,1
<b>A312</b>	Цинково-воздушная	1,4	160	7,9/0,5	3,6
<b>CR2032</b>	Литиевая	3,0	225	20/3,2	2,9
<b>CR2450</b>	Литиевая	3,0	620	24,5/5,0	6,8
<b>CR3032</b>	Литиевая	3,0	500	30/3,2	6,8
<b>CR2</b>	Литиевая	3,0	850	15,6/27,0	11
<b>AAA</b>	Алкалиновая	1,5	1000	10/44	11
<b>AAA</b>	NiCd	1,2	250+	10/44	9,5
<b>AAA</b>	NiMH	1,2	550+	10,5/44	13
<b>9V</b>	Алкалиновая	9**	550	25,5 x 16,5 x 46	46
<b>AA</b>	Алкалиновая	1,5	2500	14/50	23
<b>AA</b>	NiCd	1,2	600+	14/50	22,7
<b>AA</b>	NiMH	1,2	1500+	14,5/50	26
<b>CGR18650</b>	Li-Ion	3,6	2250	18,6/65	45
<b>C</b>	Алкалиновая	1,5	7+ Ач	25/49	70
<b>D</b>	Алкалиновая	1,5	16+ Ач	34/60	141
<b>Автомобильные аккумуляторы</b>	Свинцово-кислотные	12**	40+ Ач	различные	различные

- \* — набор из 12 ячеек;
- \*\* — 6 ячеек.

Таблица 4. Скорости саморазряда батарей различных типов

Технология	Анод	Катод	Электролит	Скорость саморазряда (%/месяц)
Литиевая	Li	MnO <sub>2</sub>	LiClO <sub>4</sub>	<0,08
Алкалиновая	Zn	MnO <sub>2</sub>	KOH	<0,17
Оксид серебра	Zn	Ag <sub>2</sub> O	NaOH/KOH	<0,17
Li-ion	LiCoO <sub>2</sub>	LiC <sub>6</sub>	Li Salt (var)	2...3
Свинцово-кислотные	PbO <sub>2</sub>	PbO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	~6
Цинково-воздушные	Zn	O <sub>2</sub>	Zn	~8 (exposed)
NiCd	NiOOH	Cd	KOH	15...20
NiMH	NiOOH	(var)	KOH	~30

стовериться в срабатывании механизма замка двери, в случае с автоматическим открыванием окна может возникнуть необходимость в регулировке степени его открытия или потребуются узнать температуру в проветриваемом помещении. Во всех случаях потребуются переход к двунаправленной передаче данных.

### Модуляция

Существует множество методов модуляции, которые можно применить для передачи данных в ISM-диапазоне. Благодаря относительной простоте и дешевизне реализации разработчики тяготеют к использованию амплитудной модуляции (ASK) в низкочастотных диапазонах (<470 МГц). Частотная манипуляция в НЧ-системах получила путевку в жизнь с развитием систем контроля давления в шинах (*tire-pressure-monitoring system* – TPMS) – обнаружилось, что они менее восприимчивы к условиям работы (вращение колеса создавало дополнительную амплитудную модуляцию). Любой АМ-детектор использует линейный метод демодуляции сигнала, и, соответственно, достаточно чувствителен к шумам. Частотная модуляция обеспечивает лучшее соотношение сигнал-шум, но при более широкой полосе спектра (типичное значение ~200 кГц). Тем не менее, для частотной модуляции характерна достаточно быстрая потеря несущей при снижении уровня полезного сигнала ниже определенного порога.

Частотная манипуляция (FSK) используется в более высокочастотных

Таблица 5. Возможности передатчиков ISM диапазона от Maxim

Наименование	Полоса частот, МГц	Выходная мощность, дБм
<b>MAX1472</b>	300...450	10
<b>MAX1479</b>	300...450	10
<b>MAX7032</b>	300...450	10
<b>MAX7044</b>	300...450	13
<b>MAX7049</b>	288...945	15 (настраиваемая)
<b>MAX7057</b>	300...450	10
<b>MAX7058</b>	315/390 (300...450)	10
<b>MAX7060</b>	280...450	10, 14*

\* – напряжение питания 5 В.

Мощность указана для нагрузки 50 Ом и включает потери на фильтрацию гармоник.

диапазонах (>470 МГц). Работа передатчика в режиме частотной модуляции позволяет формировать непрерывный сигнал, свободный от эффектов, возникающих при включении/выключении ВЧ-усилителя в процессе формирования ASK- или OOK-сигнала. В диапазонах свыше 1 ГГц для борьбы с шумами применяются более сложные методы модуляции, в основном из-за проблемы загруженности данных частот. Это, в свою очередь, требует применения более качественных фильтров, формирующих требуемую полосу частот при приеме или передаче сигналов.

### Стоимость решения

Еще одним фактором при разработке беспроводных систем является невысокая стоимость системы при сохранении ее надежности. Большинство предлагаемых компанией Maxim Integrated микросхем для беспроводных приложений выпускаются в компактных кор-

пусах, требуют всего нескольких дополнительных внешних компонентов и значительно экономят место на плате. Схемы включений трансмиттеров достаточно просты – они имеют небольшое количество выводов, а внешние пассивные компоненты необходимы лишь для согласования импеданса антенны и выходных каскадов приемо-передатчика (плюс развязывающие конденсаторы). Приемники, как правило, также имеют небольшой список требуемых компонентов обвязки, позволяя снизить стоимость конечного решения, и, в то же время, обеспечивая разработчику достаточную гибкость в решениях. Радиомикросхемы с обвязкой легко размещаются на двусторонней печатной плате небольшой площади.

Кроме стоимости печатной платы, размещаемых на ней компонентов и монтажа, необходимы будут еще антенна и источник питания (для узлов с автономным питанием).

Таблица 6. Чувствительность приемников Maxim для различных частотных диапазонов

Наименование	Режим модуляции	Чувствительность приемника, 315МГц, дБм	Чувствительность приемника, 434МГц, дБм
<b>MAX1470</b>	ASK	-115	-110
<b>MAX1471</b>	ASK	-116	-115
	FSK	-109	-108
<b>MAX1473</b>	ASK	-118	-116
<b>MAX7032</b>	ASK	-114	-113
	FSK	-110	-107
<b>MAX7033</b>	ASK	-118	-116
<b>MAX7034</b>	ASK	-114	-113
<b>MAX7036</b>	ASK	-109	-107
<b>MAX7042</b>	FSK	-107	-106

## Антенна

Физические параметры антенны, такие как ее тип, размер, геометрия, расположение, важны при разработке беспроводной системы и имеют большое влияние на эффективность ее работы в целом. Форм-фактор конечного изделия важен при разработке системы для любого из приложений ISM-диапазона и может повлиять на выбор частотного диапазона.

Антенны могут иметь различную форму и тип, начиная от простых  $1/4$  монополей и полуволновых диполей — до петлевых, F-образных и пр. Также существует разделение антенн на электрические и магнитные, в зависимости от того, с какой компонентой электромагнитного поля они работают. Разработка и конструирование антенн сами по себе являются искусством.

Первым шагом при выборе антенны является определение ее максимальных размеров, допустимых для данного конкретного приложения — возможно ли будет ограничиться печатной антенной или антенной, расположенной в корпусе устройства, или же необходимо подключение внешней. В таблице 1 представлены некоторые геометрические и эксплуатационные характеристики для оценки параметров антенн на различные рабочие частоты.

Печатные антенны на текстолите FR4 имеют размер примерно 0,58 от аналогичных в свободном пространстве за счет диэлектрической проницаемости материала, ближняя зона оценивается как  $\lambda/2\pi$ , дальняя зона  $2\lambda$ , апертура приведена для изотропной антенны —  $\lambda^2/4\pi$ .

Из таблицы 1 видно, что антенны с меньшими размерами лучше применять на более высоких частотах. Однако есть ограничения: при уменьшении линейных размеров антенны уменьшается ее апертура. Меньшая апертура в свою очередь приводит к уменьшению излучаемой энергии.

При выборе антенны следует помнить о следующих простых правилах:

- диэлектрический материал подложки антенны сокращает ее эффективную длину;
- петлевые антенны генерируют магнитное поле, в то время как вибраторные антенны — электрическое;
- магнитные антенны менее чувствительны к наличию объектов в ближней зоне (пример — рука в случае устройства дистанционного управления);
- расположение и ориентация «земли» антенны может сильно повлиять на ее диаграмму направленности.

Более детально вопросы выбора и параметры антенн ISM-диапазона рассмотрены в документах:

- Application Note 3401, «Matching Maxim's 300MHz to 450MHz Transmitters to Small Loop Antennas,»

- Application Note 3621, «Small Loop Antennas: Part 1 — Simulations and Applied Theory,»

- Application Note 4302, «Small Antennas for 300MHz to 450MHz Transmitters.»

## Питание

В зависимости от конкретного приложения источники и способы питания узлов беспроводной системы могут различаться. Основные их типы — следующие:

- стационарное питание от преобразователя, подключенного к сети переменного тока;
- автомобильные аккумуляторы (12/24 В) и шины питания (5 В);
- литиевые батареи и аккумуляторы (3 В);
- щелочные батареи (1,5 В);
- никелевые аккумуляторы (1,2 В);
- устройства сбора энергии (energy-harvested sources) и др.

В общем случае передатчик может запитываться от источника энергии одного типа, а приемник от другого (3 В литиевой батарейки у передатчика и 5 В питания автомобильной электроники у приемника).

Одним из основных вопросов при эксплуатации беспроводных систем с автономным питанием является время автономной работы узла без смены источника питания в зависимости от выходной мощности передатчика (или трансивера). Общей рекомендацией при работе от батарейных источников питания является применение эффективных передатчиков и приемников с высокой чувствительностью в сочетании с адаптированным протоколом обмена данными и режимами работы. Срок службы батареи должен учитываться во всех режимах работы системы — время запуска радиочастотной схемы, время и режим работы микроконтроллера, длительности включенного/выключенного состояний, эффективность работы усилителя мощности, потребление в режиме прослушивания каналов, токи в спящем режиме и пр.

Компоненты Maxim для построения радиоканала обладают одним из самых малых токов потребления среди аналогичных приборов, представленных на рынке. В таблице 2 представлены токи потребления трансмиттеров Maxim в различных режимах и при различных рабочих частотах.

В среднем трансмиттеры в режиме FSK-модуляции имеют ток потребления несколько больший по сравнению с режимами ASK-модуляции вследствие того, что на выходе поддерживается постоянный уровень сигнала без периодов выключения, характерных для ASK. Знание тока потребления полезно при оценке времени работы батареи

при известной ее емкости. Производители батарей указывают на них соответствующую информацию в совокупности с информацией о линейных размерах и весе (таблица 3).

Еще одним важным параметром, определяющим срок службы батареи, является ток саморазряда или период саморазряда.

Скорости саморазряда для основных типов батарей, наиболее часто применяемых в узлах сетей ISM-диапазона, представлены в таблице 4.

Литиевые батареи являются наиболее популярными в небольших бытовых устройствах благодаря их компактному размеру и длительному времени службы (низкий саморазряд). Критериями выбора батарей являются скорость разряда, рабочий диапазон температур и диапазон температур хранения. Даже если батарея способна в течение длительного периода эксплуатации сохранять стабильное выходное напряжение, в каждой технологии наступает момент деградации, связанный с увеличением внутреннего сопротивления батареи. Эта деградация часто используется для определения минимального напряжения питания радиочастотной схемы. Как правило, при достижении литиевой батареей 90% от номинального напряжения ее нагрузочная способность падает до критического уровня.

К примеру, когда литиевая батарея типа CR2032 имеет наработку 200 мАч, ее внутреннее сопротивление практически удваивается — с 15 до 30 Ом, выходное напряжение падает с 3 до 2,8 В. При наработке порядка 225 мАч внутреннее сопротивление возрастает до 50 Ом, а напряжение падает до 2,3 В, а при 240 мА оно составит уже величину порядка 120 Ом при снижении выходного напряжения до 1,5...1,8 В. Таким образом, падение напряжения со временем не так важно для питания системы, как потеря емкости батареи.

## Радиус действия

Максимально допустимое расстояние взаимодействия между узлами беспроводной системы зависит от целого ряда факторов: рабочая частота, выходная мощность передатчика, эффективность антенн, чувствительности приемника. Препятствия, перемещение объектов или узлов и даже атмосферные условия могут оказать существенное влияние на предельное расстояние между узлами или на качество связи между ними, однако это находится вне контроля разработчика беспроводной системы (хотя в ряде случаев приходится учитывать и данные факторы). Обычно разработчики ограничиваются определением необходимой выходной мощности, чувствительности приемника, а также выбором антенны.

Таблица 7. Основные типы областей применения беспроводных систем ISM-диапазона

Область применения		Характер обмена	Частотный диапазон, МГц	Метод модуляции	Примечания
Автомобильные системы	Центральный замок в дистанционном управлении (RKE)	Однонаправленная передача данных	315, 434	ASK	В последнее время идет тенденция к наличию обратной связи – двусторонний обмен данными
	Пассивный бесконтактный центральный замок (PKE)	Двунаправленный обмен	0,125; 13,56	ASK	—
	Системы мониторинга давления шин (TPMS)	Однонаправленная передача данных	315, 434	FSK	—
	Открытие ворот (GDO)	Однонаправленная передача данных	315, 390	ASK	В ряде районов США частота 390 МГц используется военными, в данных случаях применяется диапазон 315 МГц
	Автоматические системы взимания платы за проезд (ETC) и автоматической идентификации автотранспорта (AVI)	Однонаправленная передача данных	—	—	—
	Беспроводные системы сбора данных	Однонаправленная передача данных	315, 434	ASK	Мониторинг условий эксплуатации, характера движения и т.д.
Автоматическое считывание показаний счетчиков (AMR)	Водные счетчики	Однонаправленная передача данных	470, 868, 915	FSK	AMR является развивающейся областью автоматизации для крупных энергетических компаний производителей счетчиков. Применяется в сетях датчиков (HAN, NAN, сеть типа mesh)
	Счетчики расхода газа	Однонаправленная передача данных	868, 915	FSK	—
	Электросчетчики	Двунаправленный обмен	868, 915	FSK	Часто используется для централизованного сбора показаний по дому или подъезду
Домашняя автоматика (HA)	Системы беспроводного управления	Однонаправленная передача данных	434	ASK, FSK	Замещение ИК управления, аудио-, видеосистемы, системы ДУ в пределах нескольких помещений, телеметрия
	Освещение	Однонаправленная передача данных	390, 418, 434	ASK	Настройка освещения
	Управление двигателями	Однонаправленная передача данных	434	ASK	Управление сценическими прожекторами, задвижками, координация с системами вентиляции и кондиционирования
	Охранно-пожарные системы	Однонаправленная передача данных; Двунаправленный обмен	345, 434	ASK	—
	Открытие дверей/ворот	Однонаправленная передача данных	315, 390	ASK	Открытие дверей, контроль безопасности
	Системы генерации/аккумуляции тепла	Однонаправленная передача данных	—	—	—
	Управление энергопотреблением	Двунаправленный обмен	—	—	Программируемые термостаты, устройства отображения потребленной мощности
	Контроль климата в помещении	Однонаправленная передача данных	—	—	Распределенные датчики
RFID	Отслеживание товаров	Двунаправленный обмен	915, 2450, 5800	ASK, FSK, BPSK	—
	Железнодорожные грузоперевозки	Двунаправленный обмен	915, 2450, 5800	ASK, FSK, BPSK	—
Беспроводные сети	Bluetooth LE	Двунаправленный обмен	2450	FHSS	IEEE 802.15.1
	Wi-Fi	Двунаправленный обмен	2450, 5000	DSSS, FHSS, OFDM	IEEE 802.11
Мониторинг перемещения животных	Земля/вода/воздух	Однонаправленная передача данных	410	PSK	Спутниковая система ARGOS

Выходная мощность передатчика может вносить наибольший вклад в радиус действия системы. Довольно часто для компенсации малой эффективности антенны (например, в случае, если размеры антенны меньше, чем четверть длины волны) используют повышение мощности передатчика сверх разрешенного предела, особенно в низкочастотных системах, где эффективность антенны может быть даже менее 10% (например, в беспроводных ключах). Тем не менее, важно не превышать установленную для данного диапазона выходную мощность. Большие мощности могут быть применены в случае,

если рабочий цикл передатчика соответствует установленным нормам.

Основные моменты при выборе выходного усилителя мощности для системы:

- более высоким выходным мощностям соответствует более высокий ток потребления;
- энергозатраты на работу в более высоких частотах будут больше (в основном из-за работы ФАПЧ-генератора);
- повышению выходной мощности препятствуют ограничения на максимально разрешенную для данного диапазона выходную мощность, занимаемую полосу частот, коэффициент гармоник.

На приемной стороне системы чувствительность приемника играет определяющую роль в увеличении дистанции связи. Как и в случае передатчика, высокая чувствительность приемника может помочь скомпенсировать низкую эффективность антенн или плохие условия приема.

При выборе приемника руководствуются следующими правилами:

- обычно чувствительность приемника для ASK модуляции выше;
- приемники, как правило, демонстрируют лучшую чувствительность на более низких частотах;
- скорость передачи данных также влияет на чувствительность приемника —

Таблица 8. Основные приоритетные задачи и типовые пути их решения

Приоритет	Частотный диапазон	Модуляция	Примечания	Компромиссы
Дальность связи	Нижний, средний	ASK	Полноразмерные антенны, работа на более низких частотах, ASK-модуляция, в диапазоне средних частот разрешены большие выходные мощности.	Стоимость решения, время жизни батареи, простота, прямая видимость, скорость передачи данных, борьба с интерференционными помехами
Стоимость	Нижний	ASK	Небольшие и простые схемы. Предпочтительнее ASK-модуляция. ASK-трансиверы имеют более простые схемы включения.	Дальность связи, время жизни батареи, скорость передачи данных, борьба с интерференционными помехами, совместимость
Время жизни батареи	Нижний	ASK	Токи потребления микросхем оперирующих на более низких частотах ниже, ASK-модуляция требует меньших затрат энергии, чем FSK	Дальность связи, стоимость, прямая видимость, простота, скорость передачи данных, борьба с интерференционными помехами
Размеры	Средний	—	Если в размер входят размеры антенны, тогда предпочтительнее диапазон 868/915 МГц, при котором размер антенн минимален. В иных случаях вопросы стоимости могут быть приоритетнее.	Дальность связи, стоимость, прямая видимость
Прямая видимость (LOS)/преграды	Нижний	FSK	Волны низких частот менее подвержены влиянию препятствий и затуханию при прохождении сплошных препятствий. FSK-модуляция менее чувствительна к паразитной амплитудной модуляции (например из-за вращения) и более устойчива к интерференции сигнала из-за многолучевого распространения.	Время жизни батареи, размеры
Простота	Нижний	ASK	Реализация ASK-модуляции проще. Более длинные волны менее чувствительны к влиянию формы печатной платы, размерам компонентов.	Дальность связи, время жизни батареи, скорость передачи данных, интерференция, совместимость
Скорость передачи данных	Верхний	FSK, PSK, расширение спектра	Более высокие скорости передачи данных требуют более широкой полосы частот. Высокие скорости передачи, высокие частоты и расширение спектра приводят к повышению рабочего тока. Уменьшение эффективной площади антенн и расширение полосы частот негативно сказываются на дальности связи.	Дальность связи, стоимость, время жизни батареи, простота
Подавление помех	Средний, верхний	Расширение спектра	Расширение спектра позволяет эффективно подавлять несущие частоты. Широкая полоса частот для работы доступна на более высоких частотах.	Дальность связи, стоимость, время жизни батареи, простота
Частотная совместимость	Нижний	—	Более важна на высоких частотах. Узкие фильтры подавления помех позволяют улучшить чувствительность и расширить дальность связи, аналогично в случае применения более точных тактовых генераторов на нижних частотах (однако это повышает стоимость решения).	Стоимость, простота

обычно для более низких скоростей чувствительность приемника более высокая.

В таблице 6 представлена чувствительность приемников Maxim для различных частотных диапазонов.

Все данные, представленные в таблице 6, даны для средней мощности сигнала. Чувствительность по средней мощности несущей будет на 3 дБм ниже, по пиковой мощности на 3 дБм выше.

### Протоколы

Выбор протокола для приложения может быть или финальным этапом при разработке системы, или же начальным, в зависимости от характера приложения. Протоколы определяют порядок обмена данными между узлами, структуру передаваемых данных, способы кодирования, процедуры установления соединения и методы доступа к среде передачи. Для выбора доступно множество стандартизованных протоколов, а также множество проприетарных. Одним из критериев выбора является необходимость одно- или двунаправленного обмена данными. Безусловно, протоколы для обеспечения двунаправленной связи сложнее из-за необходимости отслеживания состояния среды передачи для предотвращения коллизий.

### Основные приложения

Все разнообразие приложений беспроводных систем можно объединить в

несколько групп по характеру обмена данными, типу используемой модуляции, общим требованиям или ограничениям. В таблице 7 обобщены основные типы областей применения беспроводных систем ISM-диапазона, основные требования к ним, частоты и виды модуляции.

### Приоритеты и решения

Каждая область применений, рынок или приложение ставят свои приоритеты, определяющие путь разработки и развития системы. В таблице 8 представлены основные приоритетные задачи, с которыми сталкиваются разработчики беспроводных систем.

### Заключение

Все микросхемы, предлагаемые компанией Maxim Integrated для ISM-диапазона, имеют в документации типовые схемы включения, позволяющие быстро начать разработку системы. Как правило, для приемопередатчиков и передатчиков необходимо несколько внешних компонентов — микроконтроллер или иное устройство управления, развязывающие конденсаторы, цепи согласования с антенной, стабилизатор питания. Для приемников — компоненты для задания нужного частотного диапазона, источник питания и контроллер, принимающий данные. В документации также отражены основные требования и реко-

мендации по подготовке печатных плат. Более подробно с данными вопросами можно ознакомиться в документах:

- Tutorials 4636, «Avoid PC-Layout 'Gotchas' in ISM-RF Products» ;
- Tutorials 5100, «General Layout Guidelines for RF and Mixed-Signal PCBs».

Дополнительная информация по передатчикам Maxim отражена в документах:

- Application note 1954, «Designing Output-Matching Networks for the MAX1472 ASK Transmitter»
- Application note 3401, «Matching Maxim's 300MHz to 450MHz Transmitters to Small Loop Antennas»;

По приемникам:

- Application note 1017, «How to Choose a Quartz Crystal Oscillator for the MAX1470 Superhetrodyne Receiver»
- Application note 1830, «How to Tune and Antenna Match the MAX1470 Circuit»
- Application note 3671, «Data Slicing Techniques for UHF ASK Receivers».

Все упомянутые в тексте документы доступны на официальном сайте Maxim — <http://www.maximintegrated.com/>.

Получение технической информации, заказ образцов, поставка — e-mail: [analog.vesti@compel.ru](mailto:analog.vesti@compel.ru)

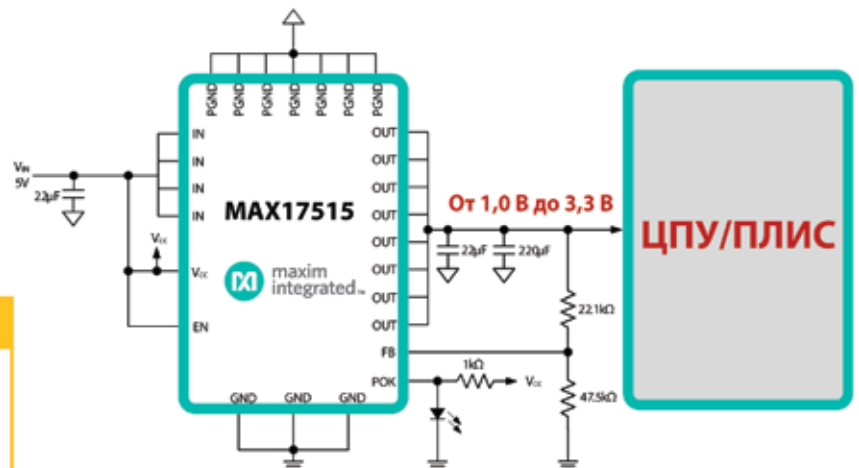


## MAX17515 Модуль питания для высокопроизводительных систем



### Преимущества

- Не требует внешних компонентов
- Простота использования
- Высокая эффективность (КПД до 94%)
- Высокий уровень защиты
- Вывод сигнала «Power Good»
- Удобный корпус SIP 6,5 × 2,8 мм
- Соответствует стандарту EN55022B и CISPR-22 класс B



Логотип Maxim Integrated — торговая марка Maxim Integrated Products, Inc.

Москва  
Тел.: (495) 234-7764, доб. 2328  
Соколов Андрей  
E-mail: [a.sokolov@compel.ru](mailto:a.sokolov@compel.ru)

Санкт-Петербург  
Тел.: (812) 327-9403, доб. 4219  
Червинский Михаил  
E-mail: [cmv.spb@compel.ru](mailto:cmv.spb@compel.ru)

Компэл  
[www.compel.ru](http://www.compel.ru)