

УДК 621.396.6(035)
ББК 32.844я22
Ф59

Финкенцеллер, Клаус
Ф59 RFID-технологии. Справочное пособие / К. Финкенцеллер; пер. с нем. Союнханова Н.М. — М. : ДМК Пресс, 2016. — 490 с.: ил. — Доп. тит. л. нем. — ISBN 978-5-97060-356-7.

Данный справочник представляет собой исчерпывающий обзор систем RFID (систем радиочастотной идентификации), который ориентирован, главным образом, на практические вопросы их применения. Системы RFID находят применение в самых разнообразных областях, например в системах контроля допуска на предприятия или в гостиничные номера, в качестве электронных иммо-билайзеров или же как средства предотвращения краж в супермаркетах. Основой подобных систем являются электронные носители данных, не обладающие собственным источником питания (транспондеры). Информация с такого носителя считывается бесконтактным способом.

В книге описываются физические принципы работы систем радиочастотной идентификации, содержится информация по действующим в этой области стандартам и основным областям практического применения RFID-систем. Представлены также материалы, касающиеся физических принципов функционирования СВЧ и микроволновых систем, которые приобретают все большее значение в связи с открытием соответствующих частотных диапазонов.

Для иллюстрации достаточно сложных понятий используются многочисленные рисунки. Приводятся примеры, которые поясняют вопросы, связанные с практическим применением систем радиочастотной идентификации. В приложении содержится контактная информация, а также обзор стандартов и рекомендаций, приводятся ссылки на литературу и на источники информации в Интернете.

Предназначена для разработчиков систем радиочастотной идентификации, инженеров, студентов, а также будет полезна менеджерам, занимающимся вопросами применения устройств RFID.

УДК 621.396.6(035)
ББК 32.844я22

Все права защищены. Никакая часть этого издания не может быть воспроизведена в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотографирование, ксерокопирование или иные средства копирования или сохранения информации, без письменного разрешения издательства.

ISBN 978-3-446-22071-2 (нем.)
ISBN 978-5-94120-234-2 (Додэка)
ISBN 978-5-97060-356-7 (ДМК Пресс)

© Hanser
© Макет, Издательский дом «Додэка-XXI»
© Издание, ДМК Пресс

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к третьему изданию	13
Список используемых сокращений	15
Глава 1. ВВЕДЕНИЕ	20
1.1. Системы автоматической идентификации	21
1.1.1. Системы с использованием штриховых кодов	22
1.1.2. Системы оптического распознавания текста	23
1.1.3. Биометрические системы	23
1.1.3.1. Идентификация по голосу	23
1.1.3.2. Идентификация по отпечаткам пальцев (дактилоскопия)	24
1.1.4. Чип-карты (Smart-cards)	24
1.1.4.1. Карты памяти	25
1.1.4.2. Микропроцессорные карты	25
1.1.5. RFID-системы	26
1.2. Сравнение различных систем идентификации	26
1.3. Основные компоненты RFID-систем	28
Глава 2. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ RFID-СИСТЕМ	30
2.1. Основные характеристики систем радиочастотной идентификации	30
2.2. Основные конструкции транспондеров	33
2.2.1. Транспондеры, выполненные в форме монеты или диска	33
2.2.2. Корпус из стекла	34
2.2.3. Пластмассовый корпус	35
2.2.4. Идентификация инструмента и газовых баллонов	35
2.2.5. Ключ или брелок	37
2.2.6. Часы	37
2.2.7. Конструкция ID-1, бесконтактные чип-карты	38
2.2.8. Этикетки (Smart Label)	39
2.2.9. Антенна на кристалле	40
2.2.10. Другие конструкции	41
2.3. Рабочая частота, дальность действия и принцип взаимодействия	41
2.4. Обработка данных транспондером	43
2.5. Критерии, которыми следует руководствоваться при выборе RFID-системы	45
2.5.1. Рабочая частота	45
2.5.2. Дальность действия	46
2.5.3. Требования к безопасности данных	47
2.5.4. Объем памяти	48
Глава 3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	49
3.1. Однобитные транспондеры	50
3.1.1. Используемая радиочастота	50
3.1.2. Микроволновые системы	54
3.1.3. Делитель частоты	56
3.1.4. Системы электромагнитного типа	57

3.1.5. Акустомагнитные системы	59
3.2. Дуплексные и полудуплексные системы	61
3.2.1. Системы с индуктивной связью	63
3.2.1.1. Передача энергии пассивному транспондеру	63
3.2.1.2. Передача данных от транспондера к считывающему устройству	66
3.2.2. Связь с помощью электромагнитного рассеяния	69
3.2.2.1. Энергоснабжение транспондера	69
3.2.2.2. Передача данных от транспондера к считывающему устройству	71
3.2.3. Системы Close-coupling	72
3.2.3.1. Источник питания транспондера	72
3.2.3.2. Передача данных от транспондера к считывающему устройству	74
3.2.4. Передача данных от считывающего устройства к транспондеру	74
3.2.5. Электрическая связь	75
3.2.5.1. Передача энергии пассивному транспондеру	75
3.2.5.2. Передача данных от транспондера к считывающему устройству	77
3.3. Последовательные методы	77
3.3.1. Системы с индуктивной связью	77
3.3.1.1. Передача энергии транспондеру	77
3.3.1.2. Сравнение дуплексных/полудуплексных и последовательных систем	78
3.3.1.3. Передача данных от транспондера к считывающему устройству	80
3.3.2. Транспондеры, использующие поверхностные акустические волны	81
Глава 4. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ RFID-СИСТЕМ	85
4.1. Магнитное поле	86
4.1.1. Напряженность магнитного поля H	86
4.1.1.1. Распределение напряженности магнитного поля $H(x)$ для индуктивного витка	87
4.1.1.2. Оптимальный диаметр антенны	90
4.1.2. Магнитный поток и плотность магнитного потока	91
4.1.3. Индуктивность L	92
4.1.3.1. Индуктивность витка катушки	93
4.1.4. Взаимная индуктивность M	93
4.1.5. Коэффициент связи k	95
4.1.6. Закон электромагнитной индукции (закон Фарадея)	96
4.1.7. Резонанс	99
4.1.8. Примеры практического использования транспондеров	103
4.1.8.1. Напряжение питания транспондера	103
4.1.8.2. Стабилизация напряжения питания	104
4.1.9. Минимальная напряженность магнитного поля H_{\min} , при которой транспондер еще способен работать	106
4.1.9.1. Энергетическая дальность действия транспондера	108
4.1.9.2. Зона считывания ридера	110
4.1.10. Система ридер — транспондер	112
4.1.10.1. Трансформированный импеданс транспондера Z'_T	114
4.1.10.2. Параметры, которые влияют на Z'_T	117
4.1.10.3. Модуляция нагрузкой	124
4.1.11. Измерение параметров системы	131
4.1.11.1. Измерение коэффициента связи k	131
4.1.11.2. Измерение резонансной частоты транспондера	132
4.1.12. Материалы с магнитными свойствами	134
4.1.12.1. Материалы с магнитными свойствами и ферриты	134

4.1.12.2. Ферритовые антенны для низкочастотных транспондеров	136
4.1.12.3. Ферритовое экранирование при наличии металлических объектов.	136
4.1.12.4. Установка транспондеров в металл.	137
4.2. Электромагнитные волны	140
4.2.1. Возникновение электромагнитных волн	140
4.2.1.1. Переход от ближней к дальней зоне для индуктивного витка.	141
4.2.2. Плотность излучения S	143
4.2.3. Волновое сопротивление и напряженность поля E	143
4.2.4. Поляризация электромагнитных волн	144
4.2.4.1. Отражение электромагнитных волн.	145
4.2.5. Антенны	148
4.2.5.1. Коэффициент усиления и направленность.	148
4.2.5.2. EIRP и ERP.	150
4.2.5.3. Входной импеданс	150
4.2.5.4. Эффективная площадь и эффективное сечение рассеяния.	151
4.2.5.5. Эффективная длина	154
4.2.5.6. Дипольная антенна	154
4.2.5.7. Антенна типа «волновой канал»	156
4.2.5.8. Плоская, или микрополосковая, антенна.	157
4.2.5.9. Щелевые антенны	160
4.2.6. Практическое применение транспондеров с щелевыми антеннами.	160
4.2.6.1. Эквивалентная схема транспондера.	161
4.2.6.2. Питание пассивного транспондера	162
4.2.6.3. Питание активного транспондера	170
4.2.6.4. Отражение и затухание	170
4.2.6.5. Чувствительность срабатывания транспондера	172
4.2.6.6. Модуляция эффективного сечения рассеяния.	172
4.2.6.7. Дальность считывания	175
4.3. Поверхностные акустические волны	178
4.3.1. Возникновение поверхностных акустических волн	178
4.3.2. Отражение поверхностных акустических волн	181
4.3.3. Функциональная схема транспондера на ПАВ	181
4.3.4. Сенсорный эффект.	184
4.3.4.1. Отражательная линия задержки	186
4.3.4.2. Резонансные датчики	187
4.3.4.3. Импедансные датчики	189
4.3.5. Коммутируемые датчики.	189

Глава 5. ДИАПАЗОНЫ ЧАСТОТ И ПРАВИЛА, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЧАСТОТ 190

5.1. Используемые частотные диапазоны.	190
5.1.1. Диапазон частот 9...135 кГц.	191
5.1.2. Диапазон частот 6.78 МГц.	193
5.1.3. Диапазон частот 13.56 МГц.	194
5.1.4. Диапазон частот 27.125 МГц.	194
5.1.5. Диапазон частот 40.680 МГц.	194
5.1.6. Диапазон частот 433.920 МГц.	195
5.1.7. Диапазон частот 869.0 МГц.	195
5.1.8. Диапазон частот 915.0 МГц.	195
5.1.9. Диапазон частот 2.45 ГГц.	196
5.1.10. Диапазон частот 5.8 ГГц.	196
5.1.11. Диапазон частот 24.125 ГГц.	196

5.1.12. Выбор рабочей частоты для RFID-системы с индуктивной связью	196
5.2. Действующие в Европе правила, регламентирующие использование радиочастот	199
5.2.1. Стандарт CEPT/ERC REC 70-03	199
5.2.1.1. Приложение 1. SRD-устройства общего назначения	201
5.2.1.2. Приложение 4. Применение на железнодорожном транспорте	202
5.2.1.3. Приложение 5. Устройства для автомобильного транспорта и телематические устройства для отслеживания дорожного движения	202
5.2.1.4. Приложение 9. Индуктивные устройства	202
5.2.1.5. Приложение 11. Устройства радиочастотной идентификации	203
5.2.1.6. Частотный диапазон 868 МГц	203
5.2.2. Стандарт EN 300330: 9 кГц...25 МГц	204
5.2.2.1. Мощность несущей — предельные значения для передатчиков, использующих H -поле	205
5.2.2.2. Паразитное излучение	206
5.2.3. Стандарты EN 300220-1, EN 300220-2	207
5.2.4. Стандарт EN 300440	208
5.3. Национальные правила, действующие в странах Европы	209
5.3.1. Федеративная Республика Германия	209
5.4. Национальное законодательство в других странах	211
5.4.1. США	211
5.4.2. Взгляд в будущее: США — Япония — Европа	213
Глава 6. СПОСОБЫ КОДИРОВАНИЯ И МОДУЛЯЦИИ	214
6.1. Кодирование в основной полосе частот	215
6.2. Способы цифровой модуляции	218
6.2.1. Амплитудная манипуляция (ASK)	219
6.2.2. Модуляция 2-FSK	221
6.2.3. Модуляция 2-PSK	222
6.2.4. Модуляция с использованием поднесущей	223
Глава 7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ	225
7.1. Использование контрольной суммы	225
7.1.1. Проверка четности	225
7.1.2. Метод LRC	226
7.1.3. Метод CRC	227
7.2. Методы множественного доступа — предупреждение коллизий	231
7.2.1. Пространственное разделение каналов (SDMA)	233
7.2.2. Частотное разделение каналов (FDMA)	235
7.2.3. Временное разделение каналов (TDMA)	236
7.2.4. Примеры практической реализации методов предупреждения коллизий	238
7.2.4.1. Метод ALOHA	238
7.2.4.2. Метод Slotted-ALOHA	241
7.2.4.3. Алгоритмы двоичного поиска	245
Глава 8. БЕЗОПАСНОСТЬ ДАННЫХ	254
8.1. Двусторонняя симметричная аутентификация	255
8.2. Аутентификация с производным ключом	256
8.3. Шифрование при передаче данных	257
8.3.1. Последовательное шифрование	259

Глава 9. НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ	262
9.1. Идентификация животных	262
9.1.1. ISO 11784 — Структура кода	263
9.1.2. ISO 11785 — Техническая концепция	263
9.1.2.1. Требования	264
9.1.2.2. Дуплексные и полудуплексные системы	266
9.1.2.3. Последовательные системы	266
9.1.3. ISO 14223 — Транспондеры с расширенными функциями	267
9.1.3.1. Часть 1 — Радиочастотный интерфейс	267
9.1.3.2. Часть 2 — Структура кодов и команд	270
9.2. Бесконтактные чип-карты	272
9.2.1. ISO 10536 — Чип-карты Close-coupling	273
9.2.1.1. Часть 1 — Физические характеристики	273
9.2.1.2. Часть 2 — Размер и положение зон, которые обеспечивают электромагнитное взаимодействие	273
9.2.1.3. Часть 3 — Электронные сигналы и процедура перезагрузки	274
9.2.1.4. Часть 4 — Ответ на сигнал сброса и протокол передачи	275
9.2.2. ISO 14443 — Чип-карты Proximity-coupling	276
9.2.2.1. Часть 1 — Физические характеристики	276
9.2.2.2. Часть 2 — Радиочастотный интерфейс	276
9.2.2.3. Часть 3 — Инициализация и предотвращение коллизий	281
9.2.2.4. Часть 4 — Протокол передачи	289
9.2.3. ISO 15693 — Чип-карты Vicinity-coupling	294
9.2.3.1. Часть 1 — Физические характеристики	294
9.2.3.2. Часть 2 — Радиочастотный интерфейс и инициализация	295
9.2.4. ISO 10373 — Методы испытаний чип-карт	299
9.2.4.1. Часть 4 — Методы испытаний чип-карт, относящихся к категории Close-coupling	300
9.2.4.2. Часть 6 — Методы испытаний чип-карт, относящихся к категории Proximity	301
9.2.4.3. Часть 7 — Методы испытаний чип-карт, относящихся к категории Vicinity-coupling	304
9.3. DIN/ISO 69873 — Носители данных для инструмента и зажимных устройств	305
9.4. ISO 10374 — Идентификация контейнеров	305
9.5. VDI 4470 — Системы охраны товаров	306
9.5.1. Часть 1 — Правила приемки RFID-системы на основе контрольных ворот	306
9.5.1.1. Определение доли ложных срабатываний	307
9.5.1.2. Определение коэффициента обнаружения	307
9.5.1.3. Формы документов, которые устанавливаются в стандарте VDI 4470	308
9.5.2. Часть 2 — Правила приемки деактивирующего устройства	308
9.6. Логистика и управление товарными запасами	309
9.6.1. Серия стандартов ISO 18000	309
9.6.2. Инициатива GTAG	310
9.6.2.1. Транспортный уровень GTAG	312
9.6.2.2. Коммуникационный уровень и уровень приложений GTAG	313
Глава 10. АРХИТЕКТУРА ЭЛЕКТРОННЫХ НОСИТЕЛЕЙ ИНФОРМАЦИИ	314
10.1. Транспондер, который обеспечивает функции хранения данных	315
10.1.1. Высокочастотный интерфейс	315
10.1.1.1. Пример схемы — модуляция нагрузкой с использованием поднесущей	316

10.1.1.2. Типовая схема — высокочастотный интерфейс для транспондера, соответствующего ISO 14443	317
10.1.2. Схема адресации и обеспечения защиты данных	320
10.1.2.1. Конечный автомат	321
10.1.3. Организация памяти	322
10.1.3.1. Транспондер Read-only	322
10.1.3.2. Транспондеры, которые позволяют записывать данные	324
10.1.3.3. Транспондеры, которые поддерживают криптографические функции	324
10.1.3.4. Сегментация памяти	327
10.1.3.5. Директории приложений MIFARE®	330
10.1.3.6. Двухпортовая EEPROM-память	333
10.2. Микропроцессоры	336
10.2.1. Карты с двумя интерфейсами	338
10.2.1.1. Карты MIFARE-plus	340
10.2.1.2. Современная концепция карт с двумя интерфейсами	341
10.3. Технологии микросхем памяти	344
10.3.1. RAM-память	344
10.3.2. EEPROM-память	345
10.3.3. FRAM-память	346
10.3.4. Сравнение возможностей двух типов памяти: FRAM и EEPROM	348
10.4. Измерение физических величин	349
10.4.1. Транспондер с функциями датчика	349
10.4.2. Проведение измерений с помощью микроволнового транспондера	351
10.4.3. Сенсорный эффект для транспондеров на поверхностных акустических волнах	352
Глава 11. СЧИТЫВАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА	355
11.1. Поток данных в приложении	355
11.2. Компоненты, из которых состоит считывающее устройство	356
11.2.1. Высокочастотный интерфейс	358
11.2.1.1. Система с индуктивной связью, FDX/HDX	358
11.2.1.2. Микроволновая система полудуплексного типа	359
11.2.1.3. Транспондеры последовательного типа	361
11.2.1.4. Микроволновая система с использованием ПАВ-транспондера	362
11.2.2. Схема управления	363
11.3. Конструкция недорогого считывающего устройства на основе микросхемы U2270B	364
11.4. Подключение антенны для системы с индуктивной связью	367
11.4.1. Непосредственное подключение антенны с согласованием по току	367
11.4.2. Подключение с помощью коаксиального кабеля	370
11.4.3. Влияние добротности	373
11.5. Формы исполнения считывающих устройств	374
11.5.1. OEM-ридеры	374
11.5.2. Считывающие устройства для промышленного применения	375
11.5.3. Портативные считывающие устройства	376
Глава 12. ПРОИЗВОДСТВО ТРАНСПОНДЕРОВ И БЕСКОНТАКТНЫХ ЧИП-КАРТ	377
12.1. Стекланные и пластиковые транспондеры	377
12.1.1. Изготовление модуля	378
12.1.2. Полуфабрикаты для производства транспондеров	379
12.1.3. Корпусирование	380

12.2. Бесконтактные чип-карты	381
12.2.1. Изготовление катушки	382
12.2.1.1. Метод намотки	382
12.2.1.2. Метод встраивания	382
12.2.1.3. Метод трафаретной печати	384
12.2.1.4. Метод травления	385
12.2.2. Методы соединения	386
12.2.3. Ламинирование	387
Глава 13. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ	389
13.1. Бесконтактные чип-карты	389
13.2. Общественный транспорт	391
13.2.1. Предпосылки	392
13.2.2. Требования	392
13.2.2.1. Время осуществления транзакции	393
13.2.2.2. Устойчивость к различным погодным условиям, долговечность, удобство в использовании	393
13.2.3. Преимущества при использовании RFID-систем	393
13.2.4. Модели тарифов для электронной системы оплаты	395
13.2.5. Рыночный потенциал	396
13.2.6. Примеры проектов	397
13.2.6.1. Южная Корея — Сеул	397
13.2.6.2. Германия — Лунебург, Ольденбург	399
13.2.6.3. Проекты Евросоюза — ICARE и CALYPSO	400
13.3. Системы продажи билетов	404
13.3.1. Карта Miles & More авиакомпании Lufthansa	404
13.3.2. Продажа билетов на горнолыжных трассах	406
13.4. Контроль доступа	408
13.4.1. Системы on-line	408
13.4.2. Системы off-line	409
13.4.3. Транспондер	411
13.5. Транспортные системы	412
13.5.1. Система Eurobalise S21	412
13.5.2. Международные контейнерные перевозки	415
13.6. Системы идентификации животных	416
13.6.1. Слежение за крупным рогатым скотом	416
13.6.2. Почтовые голуби: гонка за наградами	422
13.7. Электронные иммобилайзеры	424
13.7.1. Принцип действия иммобилайзера	425
13.7.2. Краткие истории успеха	427
13.7.3. Перспективы на будущее	428
13.8. Идентификация контейнеров	429
13.8.1. Газовые баллоны и химические контейнеры	429
13.8.2. Сбор и утилизация отходов	432
13.9. Спортивное оборудование	434
13.10. Промышленная автоматизация	436
13.10.1. Идентификация инструментов	436
13.10.2. Промышленное производство	439
13.10.2.1. Централизованное управление	440
13.10.2.2. Децентрализованное управление	441
13.10.2.3. Преимущества, которые обеспечивает применение RFID-систем	442

13.10.2.4. Выбор оптимальной RFID-системы	443
13.10.2.5. Примеры проектов	444
13.11. Медицинские приложения	448
Глава 14. ПРИЛОЖЕНИЯ	450
14.1. Адреса для контактов, ассоциации и специализированные издания	450
14.1.1. Промышленные ассоциации	450
14.1.2. Специализированные издания	452
14.1.3. Ссылки на RFID в Интернете	454
14.2. Стандарты и рекомендации, которые имеют отношение к RFID.	455
14.2.1. Адреса, по которым можно получить стандарты и рекомендации.	460
14.3. Список литературы	461
14.4. Печатные платы	471
14.4.1. Карта для тестирования согласно стандарту ISO 14443	471
14.4.2. Катушка генератора поля	476
Предметный указатель	479