

Белоус А.И., Мерданов М.К., Шведов С.В.

СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА В СИСТЕМАХ РАДИОЛОКАЦИИ И СВЯЗИ

**Техническая энциклопедия
В 2-х книгах**

Книга 1

**3-Е ИСПРАВЛЕННОЕ
ИЗДАНИЕ**



ТЕХНОСФЕРА

Содержание

Предисловие	13
Введение	19
Глава 1. Теоретические основы радиолокации	27
1.1. Введение	27
1.2. Развитие техники миллиметровых и субмиллиметровых волн	28
1.3. Области применения миллиметровых и субмиллиметровых волн в науке и технике и основные направления разработок.....	32
1.4. Линии передачи миллиметровых и субмиллиметровых волн	35
1.5. Физические основы радиолокации	41
1.6. Основные тактико-технические параметры РЛС	44
1.7. Классификация радиолокационных устройств и систем.....	46
1.8. Сравнительный анализ зон действия пассивных разностно-дальномерных систем обнаружения источников радиоизлучения	47
1.8.1. Пассивная разностно-дальномерная система обнаружения ИРИ с минимизацией интервала обзора по разности хода	48
1.8.2. Сравнительный анализ пространственных и энергетических характеристик различных вариантов реализации алгоритмов разностно-дальномерной взаимнокорреляционной обработки.....	50
1.9. Основные принципы построения программных комплексов моделирования радиолокационных сигналов.....	54
1.9.1. Типовой состав программного комплекса моделирования радиолокационных сигналов	54
1.9.2. Особенности реализации конструктора радиолокационных объектов	57
1.9.3. Особенности задания пространственной конфигурации объекта	58
1.9.4. Расчет проекций БТ на линию визирования	59
1.10. Повышение помехоустойчивости РЛС с использованием автокомпенсаторов мешающих излучений	62
1.10.1. Принцип когерентной компенсации активных шумовых помех	63
1.10.2. Особенности технической реализации структуры автокомпенсатора мешающих излучений	66
1.10.3. Оценка эффективности компенсации активных шумовых помех	69

1.10.3.1. Влияние конечного радиуса пространственной корреляции поля	69
1.10.3.2. Влияние собственных шумов приемных каналов	71
1.10.3.3. Влияние задержки принятых сигналов.....	72
1.10.3.4. Влияние нелинейных искажений	73
1.10.3.5. Влияние неидентичности частотных характеристик каналов.....	73
1.10.3.6. Влияние ошибок самонастройки	74

Глава 2. Основные этапы истории развития отечественной радиолокационной техники и СВЧ-радиосвязи.....	79
2.1. Краткая история развития отечественной радиолокационной техники.....	79
2.1.1. Основные направления развития отечественной радиолокационной техники	79
2.1.2. Основные этапы становления отечественной радиолокации	80
2.2. Эволюция технических характеристик отечественных РЛС	84
2.2.1. РЛС «Енисей»	85
2.2.2. РЛС «Тропа» и ее модификации	86
2.2.3. РЛС «Терек» (П-18)	88
2.2.4. Советские радиовысотомеры	90
2.3. История создания РЛС дальнего обнаружения баллистических ракет и космических объектов	93
2.3.1. Система предупреждения о ракетном нападении.....	93
2.3.2. Наземный эшелон СПРН	96
2.3.3. Космический эшелон СПРН	99
2.3.4. Основные характеристики РЛС системы дальнего обнаружения	102
2.3.4.1. Центральная станция обнаружения баллистических объектов (ЦСО-П)	102
2.3.4.2. РЛС обнаружения типа «Дунай»	102
2.3.4.3. РЛС обнаружения типа «Днепр»	103
2.3.4.4. РЛС обнаружения типа «Днепр»	104
2.3.4.5. Загоризонтная РЛС обнаружения типа «Дуга»	105
2.3.4.6. РЛС обнаружения типа «Даугава»	106
2.3.4.7. РЛС обнаружения типа «Дарьял»	107
2.3.4.8. РЛС обнаружения типа «Волга»	109
2.3.4.9. Многофункциональная РЛС типа «Дон-2Н» (Pill Box)	111
2.3.5. Основные этапы создания системы дальнего обнаружения	112
2.4. Перспективные направления развития РЛС системы ПВО РФ.....	114
2.5. Основные направления развития отечественных систем СВЧ-радиосвязи	117

Глава 3. Особенности построения систем цифровой обработки радиолокационных сигналов на основе микропроцессорных комплектов СБИС	124
3.1. Особенности построения систем ЦОС на основе СБИС.....	124
3.2. Влияние технологии СБИС на структуру вычислительных систем РЛС.....	128
3.3. Алгоритмы ЦОС и методы их реализации	145
3.3.1. Первичная и вторичная обработка сигналов	145
3.3.2. Иерархия задач и операций ЦОС	147
3.3.3. Типовые процедуры и аппаратные структуры ЦОС	150
3.4. Общие вопросы построения микроэлектронной элементной базы для систем ЦОС	164
3.5. Особенности реализации алгоритма синтеза линейных антенных решеток с требуемой диаграммой направленности и целочисленными амплитудными коэффициентами.....	172
Глава 4. Радары подповерхностного зондирования.....	180
4.1. Особенности проектирования радаров подповерхностного зондирования.....	180
4.2. Радиолокационные станции дистанционного зондирования Земли.....	186
4.3. Георадары с повышенной разрешающей способностью	198
4.4. Сверхширокополосные устройства радиосистем	204
4.4.1. Основные характеристики сверхширокополосных устройств	204
4.4.2. Классификация сверхширокополосных радаров США	205
4.4.3. Анализ ситуации с развитием СШП-технологии в России.....	210
4.5. ЛЧМ-радиолокатор подповерхностного зондирования с повышенной разрешающей способностью	211
4.5.1. Структура радиолокатора подповерхностного зондирования со сверхширокополосным квазинепрерывным ЛЧМ-сигналом.....	211
4.5.2. Тракт формирования и обработки сверхширокополосных квазинепрерывных ЛЧМ-сигналов радиолокатора подповерхностного зондирования	215
4.6. Особенности применения радара подповерхностного зондирования с борта летательного аппарата.....	219
4.7. Отечественные георадары	222
4.7.1. Георадары серии «Лоза» для подповерхностного зондирования	223
4.7.2. Георадары серии «Зонд-12»	230
4.7.3. Георадары серии «ОКО».....	231
Глава 5. Антенны и антенные устройства для радиолокации и радиосвязи	238
5.1. Основные параметры и типы антенн	238
5.1.1. Введение	238

5.1.2. Характеристики антенн РЛС	239
5.1.3. Основные типы антенн и их технические характеристики	262
5.2. Примеры конструктивных решений антенн для систем радиосвязи	277
5.2.1. Компактная антенна для портативных беспроводных систем стандарта WIMAX/WLAN.....	277
5.2.2. Широкополосная микрополосковая антенна с увеличенным коэффициентом усиления	280
5.2.3. Широкополосная СВЧ-антенна бегущей волны	287
5.2.4. Носимые на теле человека антенны	297
5.2.5. Многополосная ПАТЧ-антенна	300
5.2.6. Микрополосковые антенны на тонкой подложке	307
5.2.7. Плоская отражательная печатная антенна для систем сотовой связи.....	314
5.2.7.1. Принцип действия печатной антенны типа «параболическое зеркало»	314
5.2.8. Особенности проектирования зеркальной отражательной решетки антенны ФАР.....	319
5.2.9. Трехдиапазонная щелевая антенна для систем беспроводной связи	324
5.2.10. Широкополосная антенна Вивальди на керамической подложке на 60 ГГц	328
5.2.11. Методологическая основа расчета зеркальных параболических антенн с помощью современных САПР СВЧ	334
5.2.12. Широкополосная логоспиральная антенна с круговой поляризацией	351
5.3. Фазированные антенные решетки	358
5.3.1. Классификация, структура и особенности применения ФАР	358
5.3.2. Детализированное описание структуры и принципов функционирования ФАР без единой формулы	362
5.4. Особенности проектирования и оценка надежности систем электропитания активных фазированных антенных решеток РЛС	372
5.5. Компоненты для обеспечения механического позиционирования антенных систем РЛС и радиосвязи	381
5.5.1. Датчики положения (энкодеры).....	382
5.5.2. Вращающиеся сочленения систем позиционирования.....	388
5.6. Состояние и перспективы развития антенных устройств для радиолокации и средств связи	391
5.6.1. Анализ современного состояния развития антенных устройств РЛС	391
5.6.2. Основные направления развития антенных систем перспективных РЛС.....	394

5.6.3. Пути решения технических задач развития перспективных антенных систем РЛС	395
5.6.3.1. Технические решения для направления развития больших космических антенн	395
5.6.3.2. Основные перспективные направления исследований по созданию высокоэффективных антенн с обработкой сигналов	396
Глава 6. Особенности организации процесса проектирования радиолокационных микросхем.....	405
6.1. Особенности организации проектирования радиочастотных микросхем	405
6.2. Возможные типы технологий, используемых для изготовления радиочастотных и СВЧ-изделий	417
6.3. Программные средства для проектирования СВЧ ИМС	418
6.3.1. Анализ возможностей и преимуществ программных продуктов фирмы Cadence Design Systems, Inc.	418
6.3.2. Перечень необходимых библиотек проектирования, их функциональное назначение, описание	422
6.3.3. Особенности преподавания методов проектирования цифровых систем на языке VHDL	424
6.3.4. Детальное описание процесса проектирования ИМС	427
6.3.5. Программа моделирования радиоэлектронных устройств Multisim Blue	427
6.4. Особенности схемотехнического проектирования фазовращателей для РЛС	447
6.4.1. Основные параметры стандартного фазовращателя	447
6.4.2. Проектирование фазовращателя с использованием средств САПР.....	448
6.5. Примеры эффективных дизайн-центров, работающих в области СВЧ ИМС и их применения.....	455
6.5.1. Российские дизайн-центры	455
6.5.2. Типовые примеры эффективного зарубежного фаблесс дизайн-центра в сфере проектирования СВЧ ИМС	457
Глава 7. Основы полупроводниковой СВЧ-электроники	460
7.1. Краткая история развития СВЧ-электроники	460
7.2. Строение и свойства арсенида галлия	468
7.3. Полупроводниковые приборы на основе GaAs	471
7.3.1. Диоды на основе GaAs	471
7.3.2. Полевые транзисторы	474
7.3.3. Биполярные транзисторы с гетеропереходами	478
7.3.4. Новые приборы на GaAs	479
7.4. Состояние и перспективы развития монолитных интегральных схем СВЧ	481

7.4.1. Основные сферы применения монокристаллических интегральных схем СВЧ	481
7.4.2. Основные материалы для изготовления МИС СВЧ	483
7.4.3. Активные элементы МИС и их надежность	484
7.4.4. Перспективные конструктивно-технологические решения МИС СВЧ	489
7.5. Основные сферы и особенности применения GaAs СВЧ МИС	495
7.6. Краткий сравнительный обзор разработок лидеров мирового рынка СВЧ МИС	503
7.7. Основные направления использования технологии GaAs-монокристаллических схем СВЧ в зарубежной космической и военной технике	511
7.7.1. Программа МММС и ее роль в развитии технологии МИС СВЧ	512
7.7.2. Системы вооружения на основе СВЧ-МИС	513
Глава 8. Вакуумная электроника	523
8.1. Принцип действия, классификация и технологические особенности приборов вакуумной электроники	523
8.2. Применение приборов вакуумной электроники в военной технике США	525
8.3. Основные значения достигнутых параметров ЭВП на 2000 г.	529
8.4. СВЧ-интегральная вакуумная электроника	531
8.5. Мощные СВЧ-модули	539
8.6. Вакуумные СВЧ-приборы сантиметрового, миллиметрового и терагерцевых диапазонов	544
8.6.1. Вакуумные СВЧ-приборы сантиметрового диапазона	544
8.6.2. Вакуумные СВЧ-приборы миллиметрового и терагерцевых диапазонов	546
Глава 9. СВЧ-оружие наземного и космического применения	552
9.1. Некоторые научно-технические и военно-стратегические аспекты построения и использования средств поражения космического эшелона противоракетной обороны	552
9.1.1. Технические возможности и ограничения потенциальных средств поражения баллистических ракет	552
9.1.2. Проблемы обеспечения надежности функционирования средств космического эшелона системы ПРО	559
9.1.3. Европейская безопасность и европейская СПРО	565
9.1.4. Космический эшелон СПРН	569
9.1.5. Военно-разведывательные спутники	575
9.2. Основные поражающие факторы и методы воздействия СВЧ-излучений на системы управления радиоэлектронных средств	585

9.3. Оружие несмертельного действия наземного применения.....	591
9.3.1. СВЧ-оружие «Система активного отбрасывания».....	592
9.3.2. Лазерное устройство PHASR для временного ослепления и дезориентации противника	597
9.3.3. «Бесшумный страж» (Silent Guardian)	598
9.3.4. Наиболее известные системы нелетального оружия из арсенала Министерства обороны США.....	599
9.3.4.1. «Глушитель речи»	599
9.3.4.2. The Incapacitating Flashlight	600
9.3.4.3. Суперзловонный артиллерийский снаряд	600
9.3.4.4. «Гей-бомба» – оружие на мощных афродизиаках	600
9.3.4.5. Генератор грома	602
9.3.4.6. Перцовая граната.....	602
9.3.4.7. Электрошокер «Taser Shotgun»	602
9.3.5. Проблемы безопасности применения нелетального оружия	603
9.4. СВЧ-оружие атмосферного и космического применения	605
9.4.1. Радиочастотное космическое оружие.....	605
9.4.2. Космическое оружие на основе новых физических принципов.....	608
9.4.3. Системы перехвата МБР на основе плазменного СВЧ-оружия.....	610
9.4.4. Лазерное оружие.....	612
9.4.5. Пучковое СВЧ-оружие.....	614
9.5. СВЧ-комплексы по противодействию высокоточному оружию	615
9.5.1. Классификация, способы применения и типовые цели систем высокоточного оружия	615
9.5.2. Типовой состав и принцип работы комплекса защиты от ВТО	619
9.6. Использование СВЧ-импульсов в задачах защиты от элементов высокоточного оружия.....	622
9.7. Американская программа высокочастотных активных исследований HAARP	634
9.7.1. Теоретические механизмы возможного использования HAARP для управления погодой планеты Земля.....	634
9.7.1.1. Эксперименты Николы Теслы	634
9.7.1.2. Возможности использования HAARP в качестве атмосферного оружия	638
9.7.1.3. Управление погодой – побочный продукт работ по ПРО.....	640
9.7.2. Сравнение предполагаемых функции систем типа HAARP, созданных в мире (США, Европа, СССР)	641
9.7.3. Хемоакустические волны – основа сейсмического оружия	645

Глава 10. Базовые технологии полупроводниковой СВЧ-электроники	652
10.1. Состояние и тенденции развития зарубежных базовых технологий СВЧ-электроники	652
10.2. Состояние и тенденции развития технологий СВЧ-электроники в Российской Федерации	659
10.2.1. Анализ технического уровня отечественных СВЧ-приборов	659
10.2.2. Основные направления исследований и разработок в сфере деятельности технологической платформы	665
10.2.2.1. Направления развития отечественных СВЧ-приборов на период до 2020 г.	665
10.2.2.2. Основные направления развития отечественных технологий изготовления СВЧ-приборов и устройств	673
10.3. Арсенид-галлиевые технологии изготовления СВЧ-приборов	676
10.3.1. Отечественные арсенид-галлиевые технологии изготовления малошумящих транзисторов СВЧ- и КВ-диапазонов	678
10.3.2. Зарубежные арсенид-галлиевые фабрики	681
10.4. Технология мощных СВЧ-транзисторов и СВЧ МИС на основе нитрида галлия	685
10.4.1. Состояние и тенденции развития технологии мощных СВЧ-транзисторов и СВЧ МИС	685
10.4.2. Широкополосные транзисторные усилители мощности СВЧ-диапазона	695
10.5. Особенности технологий изготовления СВЧ-усилителей для радаров АФАР	706
10.5.1. GaN-усилители мощности для АФАР	706
10.5.2. СВЧ-усилители для АФАР на основе GaN-технологии компании Sumitomo	710
10.5.3. GaAs, GaN и «алмазные технологии» – перспективы развития СВЧ элементной базы АФАР	712
10.5.4. Технологические проблемы формирования подложек для эпитаксии гетероструктур	715
10.6. СВЧ-приложения МЭМС-технологий	719
10.6.1. Особенности реализации радиочастотных МЭМС/КМОП-устройств	719
10.6.2. Радиочастотные МЭМС-переключатели	725
10.6.3. Радиочастотные МЭМС-конденсаторы переменной емкости	729
10.6.4. Интегрированные МЭМС/КМОП-резонаторы	732
10.6.5. MEMS-технологии в задачах системной интеграции радиолокационных устройств	734
10.6.5.1. Типовые MEMS-изделия для СВЧ-устройств	734
10.6.5.2. Технологии микромонтажа СВЧ MEMS-приборов	740

10.7. Технологии корпусирования полупроводниковых СВЧ-приборов и МИС	743
10.7.1. Основные этапы создания отечественной технологии корпусирования СВЧ-приборов в НИИ «Пульсар»	743
10.7.2. Особенности технологии корпусирования мощных СВЧ-транзисторов	750
10.7.3. Особенности использования золота и алюминия в технологии сборки мощных СВЧ-транзисторов.....	762
10.7.4. Основы технологии сборки СВЧ-микросхем	769