

Предисловие

Современная радиоэлектроника представляет обширнейшую отрасль науки и техники, которая, проникая в новые сферы и охватывая всё новые области знания, стремительно развивается, определяя в существенной мере прогресс науки и техники в целом.

Техника сверхвысоких (СВЧ) и крайне высоких (КВЧ) частот — это большая и самостоятельная область радиоэлектроники, используемая для решения технических задач частоты электромагнитных колебаний от 3 ГГц ($3 \cdot 10^9$ Гц) до 300 ГГц ($3 \cdot 10^{11}$ Гц) (с электрическими длинами волн соответственно от $\lambda = c/f = 100$ мм до $\lambda = 1$ мм, т. е. в диапазоне от дециметровых до субмиллиметровых волн). Далее, поскольку на СВЧ и КВЧ используются практически одни и те же типы линий передачи, один и тот же принцип действия и, во многих случаях, идентичные конструкции устройств, для обозначения частотного диапазона сантиметровых и миллиметровых волн используем только аббревиатуру СВЧ.

Бурное развитие СВЧ радиоэлектроники в 40-е годы прошлого столетия было связано, в первую очередь, с развитием радиолокации и необходимой для неё измерительной техники. Дальнейший прогресс этого направления радиоэлектроники был обусловлен как расширением областей практического применения СВЧ (дальняя и спутниковая связь, радионавигация, радиоуправление, радиометрия, радиоастрономия, медицина и др.), так и с продвижением в область всё более высоких частот. Перегруженность радиоканалов в уже освоенных частотных диапазонах является одной из причин, заставляющих осваивать новые, всё более высокие, диапазоны частот.

Развитие радиоэлектроники и техники СВЧ идёт по многим направлениям, в том числе это:

- создание и развитие новых технологий и новых типов линий передач;
- использование новых физических явлений для создания более совершенных радиоэлектронных устройств;
- применение радиометодов, в частности, в диапазоне миллиметровых волн, при изучении и исследовании различных физических процессов и явлений (диагностика плазмы, исследование высокотемпературной сверхпроводимости и т. д.);
- освоение новых частотных диапазонов, включая создание радиоэлектронных систем с новыми свойствами и характеристика-

ми, а также элементной базы и средств метрологического обеспечения и т. п.

Особое место при решении научных и прикладных задач занимают вопросы создания и применения необходимых радиоэлектронных СВЧ систем и измерительных средств, в том числе сантиметрового, миллиметрового, а в последние годы и субмиллиметрового диапазонов волн. При создании подобных систем используют разнообразные СВЧ устройства и их соединения. Исследование характеристик и параметров СВЧ устройств при их создании и проверка соответствия таких устройств спецификационным требованиям при производственном выпуске, а также многие другие задачи и исследования требуют соответствующих средств инструментального анализа СВЧ устройств и их соединений.

Многообразие используемых в СВЧ диапазонах типов линий передач и устройств обуславливает многообразие параметров и характеристик, описывающих их свойства и требующих экспериментального определения. Это, в свою очередь, приводит к необходимости решения разнообразных измерительных задач, которые обеспечиваются с помощью соответствующих измерительных средств. Парк существующих и создаваемых измерительных средств весьма велик, так как должен обеспечивать измерения всех интересующих разработчиков систем и других потребителей параметров и характеристик СВЧ устройств в различных частотных диапазонах и для разных используемых типов линий передач.

Современные методы анализа и расчёта СВЧ устройств и их соединений в значительной мере базируются на «цепном» их представлении, когда СВЧ устройство представляется неким эквивалентным многополюсником, описываемым определённой системой параметров. Соединение СВЧ устройств в нужную СВЧ схему рассматривается соответственно в виде соединения эквивалентных многополюсников. При исследовании таких устройств и соединений важно знать, насколько качественно и без потерь обеспечивается передача через них СВЧ сигналов, несущих полезную информацию (насколько согласованы устройства, каковы в них потери и т. п.).

Поэтому, наряду с другими измерительными задачами (измерения мощности, частоты, спектра и т. д.), задача измерения параметров СВЧ цепей в различных частотных диапазонах изначально была и продолжает оставаться одной из основных и актуальнейших измерительных задач.

К числу наиболее эффективных измерительных средств, предназначенных для анализа параметров СВЧ устройств (СВЧ цепей), относятся скалярные (САЦ) и векторные (ВАЦ) анализаторы СВЧ цепей, представляющие современные высокопроизводительные ин-

формационно-измерительные системы, позволяющие провести необходимые измерения параметров устройств с гарантированной точностью в широких частотных диапазонах с соответствующей обработкой, представлением и хранением измеренной информации о параметрах и характеристиках испытуемых устройств. Важным свойством ВАЦ является возможность измерения как амплитудных, так и фазовых частотных характеристик измеряемых отражений и затуханий исследуемых устройств и соединений.

Следует особо отметить существенный прогресс, достигнутый в последнее время, на пути промышленного освоения миллиметрового диапазона волн, включая его коротковолновую часть (с длиной волны 3 и 2 мм), что стимулировало ускоренное создание разнообразных измерительных средств в этом диапазоне волн, в том числе и предназначенных для анализа цепей.

Данная книга посвящена векторным анализаторам цепей (ВАЦ) сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн. В ней наряду с вопросами теоретического обоснования принципов построения ВАЦ рассматриваются вопросы реализации возможных схем ВАЦ и их конструктивных элементов, вопросы функционирования и обеспечения необходимых метрологических характеристик ВАЦ. В частности, в числе рассматриваемых тем находятся:

- основы векторного анализа СВЧ цепей;
- гетеродинная и гомодинная схемы построения ВАЦ;
- формирование квадратурных сигналов и модулирование сигналов в ВАЦ;
- конструктивная реализация рефлектометрических схем;
- частотно-временные преобразования сигналов, используемые в ВАЦ;
- моделирование ошибок и методы калибровок ВАЦ;
- применение ВАЦ при решении различных задач радиоэлектроники;
- описание некоторых типов разработанных и выпускаемых ВАЦ и их характеристик;
- новые области применения ВАЦ.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников, имеющих дело с радиоизмерениями в области сантиметровых и миллиметровых волн, а также для преподавателей, аспирантов и студентов вузов радиотехнических и радиофизических специальностей.