

ПРЕДИСЛОВИЕ

Одним из основных видов радиоизмерений в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ) является измерение мощности. Понятия напряжения и тока на СВЧ теряют свой обычный смысл, поскольку компоненты схем и цепей на этих частотах представляются распределенными элементами, для которых фаза напряжения или тока значительно изменяется на физическом размере элемента из-за сравнимости этих элементов с длиной волны. Поэтому измерения мощности в диапазоне СВЧ используются не только как важный самостоятельный вид измерений, но в ряде случаев заменяют измерения напряжения и тока.

Приборы для измерения СВЧ мощности, называемые СВЧ ваттметрами, находят широкое применение прежде всего при разработке, регулировке, проверке источников СВЧ сигналов, а также других приборов, в частности, используются для определения потерь в четырехполюсниках, при измерении частотных характеристик различных СВЧ устройств, широко применяются для измерения интенсивности излучения при медико-биологических исследованиях. Измерители мощности используются и как встраиваемые устройства в аппаратуре различного назначения (например, в генераторах стандартных сигналов и др.).

По способу включения в линию передачи измерители СВЧ мощности делятся на две основные группы: ваттметры поглощаемой мощности и ваттметры проходящей мощности. Основными устройствами любого ваттметра являются первичный измерительный преобразователь (или комплект преобразователей) и измерительный блок. Ваттметры для автоматизированных измерительных систем, кроме того, содержат устройства, обеспечивающие управление измерительным блоком ваттметра по команде.

Методы измерения мощности электромагнитных колебаний отличаются большим разнообразием, но сущность почти всех методов сводится к преобразованию мощности сигнала в некоторый другой вид доступной для измерения энергии — тепловой, механической и др. Соответственно, по виду используемых первичных измерительных преобразователей ваттметры классифицируют на тепловые (калориметрические, термоэлектрические, термисторные и болометри-

ческие), пондеромоторные, электронные (диодные, на эффекте Холла и др.), ферритовые и др.

Каждый из используемых методов имеет свои особенности, достоинства и недостатки, а также определенные области наиболее эффективного применения, обусловленные уровнями измеряемой СВЧ мощности, используемым частотным диапазоном, технологическими особенностями и др.

На практике наибольшее распространение получили приборы, работающие на основе тепловых методов измерения поглощаемой СВЧ мощности. Эти методы основаны на преобразовании СВЧ энергии в тепловую с последующим измерением количества выделенного тепла в рабочем теле преобразователя, представляющего собой совокупность элементов, рассеивающих СВЧ мощность.

Интенсивное освоение в последние годы диапазона коротких миллиметровых и субмиллиметровых волн потребовало создания наряду с другими видами приборов измерителей малых уровней мощности для этих волн.

В книге описаны методы и приборы для измерения мощности в диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн, основанные на преобразовании энергии СВЧ в тепловую и измерении возникающего при этом теплового эффекта в рабочем теле преобразователя.

Важную роль при рассмотрении любых измерителей физических величин играют вопросы, связанные с используемыми образцовыми средствами и эталонами, позволяющими оценить точность измерений этих величин.

Раздел I посвящен основным понятиям и положениям теории теплопроводности и термоэлектрическим явлениям, используемым при создании измерителей СВЧ мощности.

Раздел II посвящен калориметрическим измерителям СВЧ мощности. Рассмотрены явления и элементы, используемые в калориметрах. Описаны калориметрические методы измерения и основные принципы построения калориметров. Рассмотрены вопросы автоматического регулирования в калориметрических ваттметрах, в том числе с использованием ПИД алгоритма.

В Разделе III рассматриваются широко используемые на практике термоэлектрические и болометрические приемные преобразователи (ПП). Описаны различные конструкции ПП, рассмотрены вопросы их согласования с трактом и применения в аппаратуре СВЧ. Приведена информация о термисторных преобразователях мощности сантиметрового и миллиметрового диапазонов волн. Рассмотрены особенности конструкций, характеристики и вопросы применения

таких преобразователей в аппаратуре. В разделе также кратко описаны болометрические приемные преобразователи на основе феррит-термисторных датчиков и использования эффекта кроссумножения в ферритовых датчиках.

В **Разделе IV** рассматриваются вопросы метрологического обеспечения измерений СВЧ мощности в сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн, в частности, связанные с созданием рабочих средств для поверки ваттметров и соответствующих эталонов мощности.

В книге использован материал ряда литературных источников, а также материал, полученный по результатам исследований и разработок специалистов отдела СВЧ Вильнюсского НИИ радиоизмерительных приборов (Усорис А.-В.Н., Шулика С.Д., Бурак И.Ф. и др.), созданного на базе этого отдела в 1993 г. ЗАО «Elmika» (г. Вильнюс) и НИИЛ аппаратуры и устройств СВЧ БГУИР (г. Минск) (Гусинский А.В.).

Книга предназначена для инженерно-технических работников, работающих в области измерительной техники СВЧ, а также для студентов и аспирантов радиотехнических факультетов.