

Физическая электроника сверхвысоких частот (СВЧ) изучает вопросы взаимодействия электронных потоков с переменными электромагнитными полями в системах, в которых время пролета электронов через пространство взаимодействия оказывается сравнимым с периодом колебаний, возбуждаемых электронным потоком.

Сверхвысокочастотными колебаниями называют колебания с частотой $f > 300$ МГц или длиной волны, $\lambda < 1$ м.

Принято следующее деление на диапазоны по длине волны и частоте:

- дециметровые 1 м — 10 см (300 — 3000 МГц);
- сантиметровые 10 см — 1 см (3—30 ГГц);
- миллиметровые 1 см — 1 мм (30—300 ГГц);
- субмиллиметровые 1 мм — 0,1 мм (300—3000 ГГц).

К субмиллиметровым волнам примыкает диапазон оптических волн (инфракрасное, видимое и ультрафиолетовое излучения).

В обычных ламповых усилителях и генераторах, предназначенных для сравнительно низких частот, используется электростатическое управление электронным потоком. Поскольку на этих частотах время пролета электронов между электродами лампы значительно меньше периода колебаний, влиянием времени пролета можно пренебречь. Распределение переменного электрического поля в лампе в течение времени пролета рассматриваемого электрона остается неизменным. Переменное напряжение на управляющем электроде лампы вызывает синфазное изменение плотности электронного потока.

На СВЧ время пролета электронов между электродами становится сравнимым с периодом усиливаемых или генерируемых колебаний. За время пролета переменное напряжение на электродах успевает заметно измениться, что приводит к ослаблению эффекта изменения плотности (модуляции) электронного потока, резкому падению полезной мощности, коэффициента усиления и КПД.

Кроме того, на СВЧ длина волны становится сравнимой с размерами электродов и их выводов, и даже электронную лампу нужно рассматривать как систему с распределенными параметрами. На СВЧ сильно проявляется влияние индуктивностей выводов, межэлектродных емкостей и потерь в материале электродов, баллоне и изоляторах. Последние факторы снижают коэффициент усиления, полезную мощность и КПД электронных ламп при повышении частоты.

Параллельно с усовершенствованием электронных ламп с целью их использования в СВЧ-диапазоне были разработаны специальные электронные приборы (ЭП), основанные на использовании времени пролета электронов (клистроны, лампы бегущей волны (ЛБВ), магнетроны и др.). В некоторых приборах мощность колебаний составляет несколько киловатт в непрерывном режиме, а КПД — 60—80 %. Создание приборов СВЧ стало возможным в результате использования метода динамического управления электронным потоком, идея которого была выдвинута в 1932 г. ученым Д.А. Рожанским.

Идея динамического управления электронным потоком состоит в модуляции электронов по скорости, превращении модуляции по скорости в модуляцию по плотности и передаче энергии колебаний от модулированного по плотности потока колебательной системе (КС). При этом время пролета имеет решающее значение, поскольку только в процессе движения электронов происходит их группирование в сгустки.

Электронные приборы СВЧ по характеру энергообмена между электронным потоком и КС (или полем) подразделяют на приборы типов *O* и *M*.

В приборах типа *O* происходит преобразование кинетической энергии электронов в энергию СВЧ-поля в результате торможения электронов этим полем. Магнитное поле или не используется вовсе, или применяется только для фокусировки электронного потока и принципиального значения для процесса энергообмена не имеет.

В приборах типа *M* в энергию СВЧ-поля переходит потенциальная энергия электронов. Движение электронов происходит во взаимно скрещенных электрическом и магнитном полях.

В процессе взаимодействия с СВЧ-полем электроны не изменяют в среднем кинетической энергии, но непрерывно смещаются в область пространства взаимодействия с более высоким потенциалом, т. е. уменьшают свою потенциальную энергию (передают ее СВЧ-полю).

Электронные приборы СВЧ по продолжительности взаимодействия с СВЧ-полем подразделяют на приборы с кратковременным и длительным взаимодействием. В первом случае используется взаимодействие электронов с СВЧ-полем резонаторов, во втором — с бегущей волной.

Развитие электроники СВЧ идет по нескольким направлениям. Первое направление — дальнейшее усовершенствование рассмотренных типов приборов или создание на их основе новых принципов усиления и генерации колебаний СВЧ, особенно в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах волн.

Второе — миниатюризация и повышение надежности ЭП СВЧ. Бурное развитие полупроводниковой электроники СВЧ способствует решению данной проблемы. Важным является также создание миниатюрных и высоконадежных электровакуумных приборов СВЧ.

Третье важнейшее направление развития мощных электровакуумных СВЧ-приборов — улучшение массогабаритных параметров приборов дециметрового диапазона и увеличение выходной мощности и полосы усиления приборов коротковолновой части сантиметрового и миллиметрового диапазонов. Основное внимание специалистов сосредоточено на создании многолучевых электронно-оптических систем со значительной компрессией каждого луча, а также разработкой многоззорных, пространственно развитых и сверхразмерных электродинамических систем. Существенное значение приобретет направление разработки многолучевых ламп с СВЧ-отсечкой тока.

Таким образом, и на новом этапе развития перед создателями СВЧ-приборов стоят традиционные задачи — увеличение полосы усиливаемых частот, повышение мощности и укорочение длины волны СВЧ-излучения.