



# СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА

Авторы: И. В. Лебедев

---

СВЧ-ЭЛЕКТРОНИКА, область электроники, охватывающая проблемы создания и применения электронных приборов и устройств, предназначенных для работы в диапазоне СВЧ (условно от 300 МГц до 3000 ГГц). При приближении к СВЧ работа мн. электронных вакуумных приборов с сеточным управлением (тетродов, пентодов и др.) становится практически невозможной вследствие соизмеримости периода колебаний с временем пролёта электронов в межэлектродном пространстве. Ухудшение работы электронных приборов с повышением частоты обусловлено также влиянием индуктивностей и ёмкостей электродов и вводов, соизмеримостью линейных размеров прибора и его внешней электр. цепи с рабочей длиной волны.

В основу большинства совр. СВЧ-приборов положены принципы взаимодействия носителей заряда (гл. обр. электронов) с электромагнитными СВЧ-полями. Важную роль в работе таких приборов играют явления группирования электронов и наведения тока во внешних цепях при движении носителей заряда, а также принципы отбора кинетич. или потенциальной энергии от электронных потоков. Решение проблем СВЧ-э. требует органич. слияния электронного прибора с электродинамич. устройствами – [резонаторами](#), [замедляющими системами](#) и др. элементами СВЧ-цепи.

Доминирующее положение в СВЧ-э. занимают приборы вакуумной и твердотельной (гл. обр. ПП) электроники, обеспечивающие генерирование, усиление и преобразование СВЧ-колебаний. Существует также класс [газоразрядных приборов](#) СВЧ, используемых в осн. для целей коммутации и управления СВЧ-колебаниями. Приборы [квантовой электроники](#) применяются в СВЧ-диапазоне преим. в качестве высокостабильных стандартов частоты и сверхмалошумящих усилителей слабых сигналов (см. [Квантовые стандарты частоты](#), [Квантовый усилитель](#)).

Становление СВЧ-э. в 1920-х гг. обусловлено прежде всего потребностью

радиолокации в значительном повышении частоты используемых радиоволн для получения высокой направленности излучения и увеличения числа каналов связи. На основе достижений в области физич. основ электроники были разработаны принципы динамич. управления и фазовой фокусировки электронных потоков, позволившие преодолеть недостатки электростатич. сеточного управления на частотах св. 3 ГГц.

Важный этап развития СВЧ-э. связан с изобретением и разработкой в 1937–40 СВЧ-триодов, органически объединённых с внешними объёмными резонансными системами, пролётных и отражат. [клистронов](#), а также многорезонаторных [магнетронов](#); в сер. 1940-х гг. созданы [лампы бегущей волны](#) (ЛБВ), использующие длительное взаимодействие электронного потока и замедленной электромагнитной волны. Эти приборы, оставаясь осн. приборами вакуумной СВЧ-э., обеспечивают получение в сантиметровом диапазоне длин волн ср. мощностей до 1 МВт и импульсных мощностей вплоть до сотен МВт при высоких значениях КПД, широкой полосе рабочих частот и высокой стабильности частоты и фазы колебаний.

Твердотельная СВЧ-э. вплоть до сер. 20 в. была представлена в осн. детекторными и смесительными [полупроводниковыми диодами](#), в которых использовались малоинерционные свойства [p-n-перехода](#); такие диоды широко применяются в контрольно-измерит. аппаратуре и во входных цепях приёмных СВЧ-устройств. Открытие в 1959 [лавинно-пролётных диодов](#), а в 1963 [Ганна диодов](#) позволило создать на их основе твердотельные маломощные генераторы и усилители СВЧ, приближающиеся по своим параметрам и характеристикам к отражат. клистронам. На основе ПП диодов с нелинейной ёмкостью в 1950–60-х гг. разработаны также [параметрические усилители](#), не уступающие по уровню шума наиболее совершенным ЛБВ.

Совершенствование [транзисторов](#) в 1970–80-х гг. обусловило дальнейшее развитие твердотельной СВЧ-э. Особые успехи достигнуты в снижении коэф. шума усилителей на полевых транзисторах, что определило их использование во входных цепях приёмных устройств. Разработаны также СВЧ-устройства на основе переключат. диодов и [ограничительных диодов](#), обеспечивающие защиту входа приёмника излучения и управление фазой и мощностью генерируемых электромагнитных

колебаний.

Вакуумные и твердотельные приборы «проникли» в миллиметровый и субмиллиметровый диапазоны длин волн. Наиболее короткая длина волны когерентных колебаний, полученная с помощью [лампы обратной волны](#), составляет ок. 0,2 мм. Проблема получения высоких мощностей (до 1 МВт) в миллиметровом диапазоне успешно решена благодаря созданию [лазеров на циклотронном резонансе](#).

Решающую роль в создании и совершенствовании приборов СВЧ-э. играет новейшая вакуумная и ПП технология, использование сверхчистых материалов, разработка и применение электроискровой обработки, прецизионной [фотолитографии](#), новых методов сварки и др. Реализация значит. плотности тока, необходимой для большинства вакуумных СВЧ-приборов, стала возможной благодаря усовершенствованию и разработке новых типов [катодов](#), свойства которых определяют осн. эксплуатац. и потребительские характеристики электровакуумных приборов. Особенно широкие перспективы существуют в области СВЧ [интегральных схем](#), выполняемых на основе соединений  $Al^{III}B^V$  и др.

Область применения электронных СВЧ-приборов непрерывно расширяется. Наряду с радиолокацией, радионавигацией и радиорелейной связью, эти приборы всё шире используются в телевидении, космич. связи, радиотелеметрии и т. п. Тепловые и др. эффекты, создаваемые СВЧ-излучением, находят широкое применение в обработке разнообразных веществ и продуктов, в мед. диагностике и терапии. Проводятся фундам. исследования по применению СВЧ-э. в биологии и энергетике, в т. ч. по передаче энергии и решению проблемы термоядерного синтеза.

См. также [Вакуумная электроника](#), [Полупроводниковая электроника](#).

## Литература

Лит.: Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. 2-е изд. М., 1972. Т. 2; Вайнштейн Л. А., Солнцев В. А. Лекции по сверхвысокочастотной электронике. М., 1973; Полупроводниковые приборы в схемах СВЧ. М., 1979; Кураев А. А. Мощные приборы СВЧ: Методы анализа и оптимизации параметров. М., 1986; Электронные устройства

