

В. П. ТИМОФЕЕВ, Б. И. ГОНЧАРОВ, канд. техн. наук,  
В. Б. ЕВДОКИМОВ, А. Г. СЕРГЕЕВ

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СВЧ-СИСТЕМЫ

Технологический контроль и испытания при массовом производстве полупроводниковых сверхвысокочастотных (СВЧ) диодов невозможны без автоматизированных измерительных систем (АИС) с заданными функциональными и метрологическими характеристиками, высокой производительностью и надежностью работы.

Один из возможных путей — построение комбинированной системы, объединяющей средства вычислительной техники, ряд специализированных аналоговых и цифровых устройств, серийные автоматизированные измерительные приборы. С учетом проведенных исследований разработали базовую автоматизированную измерительную систему для регистрации электрических параметров СВЧ-полупроводниковых диодов различных классификационных групп и типов. В состав системы, построенной по модульному принципу, входит следующее оборудование: контроллеры связи с различными машинными интерфейсами; интерфейсные карты к измерительным приборам; неинтерфейсные устройства различного назначения; отладочные средства; устройства многократного контактирования.

Выбранная схема [1] построения аналоговой СВЧ измерительной части системы, являющейся импедометром с реализацией программируемых возможностей, позволяет производить калибровку и измерение  $S$ -параметров эквивалентных СВЧ-четырёхполюсников и других электрических параметров, предусмотренных техническими условиями на выбранный тип испытываемого диода. Применение комбинированных методов стабилизации по вторичным источникам питания, плого стабилизирующего резонатора, необходимого уровня развязки и термостатирование позволило добиться характеристик амплитудно-частотной стабильности измерительно-генераторного СВЧ-блока, которые соответствуют требованиям ГОСТ 18986. 0—74 и ГОСТ 19656. 0—74.

Аппаратные средства и программное обеспечение системы позволяют производить автоматизированное измерение и вывод на протоколирование ряда важнейших параметров следующих классификационных групп СВЧ-полупроводниковых диодов: смесительных, детекторных, параметрических, умножительных, переключательных, ограничительных, генераторных [2].

Базовый вариант АИС предназначен для автоматизированного задания рабочих режимов и измерения электрических па-

раметров. По группе детекторных диодов измеряются коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН)  $\rho$ , чувствительность по току в нулевой точке  $\beta_1$ , прямое напряжение  $U_{пр}$ , дифференциальное сопротивление  $r_d$ ; по группе смесительных диодов — КСВН, потери преобразования  $L_{пр}$ , выпрямленный ток  $I_{вп}$ ; параметрических и множительных — постоянная времени диода  $\tau$ , предельная частота  $f_{пред}$ , пробивное напряжение  $U_{проб}$ , нормированное постоянное обратное напряжение  $U_{н.обр}$ .

Расширение базового варианта АИС позволяет дополнительно задавать режимы, измерять и регистрировать параметры по таким группам: переключательные и ограничительные диоды (критическая частота диода, прямое сопротивление и полное сопротивление диода, дифференциальное сопротивление); генераторные диоды (выходная непрерывная и импульсная мощность, сопротивление прибора Ганна).

Рассмотрим особенности автоматизированного измерения некоторых параметров СВЧ-диодов. Наибольшую сложность составляет измерение и регистрация постоянной времени и предельной частоты параметрических и умножительных полупроводниковых диодов.

Стандартами установлены следующие методы измерения  $\tau$ ,  $f_{пред}$ : метод четырехполюсника, последовательного резонанса диода и резонаторный. Перечисленные методы требуют применения высокоточной измерительной линии или иной аппаратуры, что резко ограничивает возможность автоматизации измерений. Нами был применен модифицированный метод четырехполюсника при измерении  $\tau$ ,  $f_{пред}$ . Сущность метода состоит в раздельной регистрации модуля  $\Gamma$  и фазы  $\varphi$  коэффициента отражения эквивалентов холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) испытываемого типа диода, а также модуля и фазы испытываемого диода при программно-подобранном напряжении смещения  $U_{см}$ .

Постоянную времени диода в секундах запишем так:

$$= \{ \rho^{-1} - \rho_{XX}^{-1} [1 + (R_{пос} \rho_{XX} - 1) \cos^2 \varphi] \} [2\pi f_{\emptyset} \cos^2 \varphi (\operatorname{tg} \varphi_{КЗ} - \operatorname{tg} \varphi)]^{-1},$$

где  $f_{\emptyset}$  — частота измерений, Гц;  $\rho$  — КСВН диода при выбранном напряжении смещения,  $\rho = (1 + \sqrt{\Gamma}) / (1 - \sqrt{\Gamma})$ ;  $\rho_{XX}$  — КСВН эквивалента ХХ диода;  $\varphi$ ,  $\varphi_{КЗ}$  — фазы коэффициента отражения диода и его эквивалента КЗ;  $R_{пос}$  — расчетная величина, определяемая по формуле

$$R_{пос} = \left[ \rho_{КЗ} \cos^2 \varphi_{КЗ} \left( 1 + \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi_{КЗ}}{\rho_{КЗ}^2} \right) \right]^{-1} - \frac{\operatorname{tg}^2 \varphi_{КЗ}}{\rho_{XX}}$$

Здесь  $\rho_{КЗ}$  — КСВН эквивалента КЗ диода.

Напряжение смещения испытываемого диода выбирается из условий  $\rho \geq 1,2$ ;  $\varphi - \left( \varphi_{XX} + \frac{\pi}{2} \right) \leq \frac{\pi}{4}$ . Последовательность

проведения каждого цикла автоматизированного измерения заключается в помещении эквивалента ХХ диода в измерительную камеру и регистрации  $\rho_{ХХ}$ ,  $\varphi_{ХХ}$  помещений эквивалента КЗ диода и регистрации  $\rho_{КЗ}$ ,  $\varphi_{КЗ}$  помещений в измерительную камеру испытываемого диода и регистрации  $\rho$ ,  $\varphi$ .

Далее микроЭВМ, управляющая работой АИС, обрабатывает полученные результаты и выводит значения  $\tau$ ,  $f_{\text{пред}}$  на протоколирование. Циклы измерений продолжаютсЯ пока не будет испытана вся партия СВЧ-диодов выбранного типа. Помещение диодов и их эквивалентов осуществляется с помощью автоматизированного исполнительного механизма многократного контактирования обладающего высокой надежностью и производительностью.

Проведенная оценка метрологических характеристик АИС показала, что в рабочих условиях на фиксированной длине волны 32 мм при КСВН эквивалентов ХХ и КЗ диодов, превышающих 80, КСВН испытываемых диодов, не превышающих 5, и относительной погрешности измерения частоты порядка 0,5 %, модуля и фазы коэффициента отражения порядка 8 % полная относительная погрешность измерения постоянной времени СВЧ-диода составляет 15 %.

Выбранная схема базового варианта системы позволяет проводить работы по расширению номенклатуры испытываемых СВЧ-диодов, расширению перечня электрических параметров и повышению точности их измерения.

**Список литературы:** 1. *Схема для автоматизированных измерений коэффициентов отражения на сантиметровых волнах*/В. И. Бодман, В. П. Тимофеев, Б. И. Гончаров и др.//Радиотехника. 1984. Вып. 70. С. 112—115. 2. *Гусятинер М. С., Горбачев А. И.* Полупроводниковые сверхвысокочастотные диоды. М., 1983. 224 с.

*Поступила в редколлегию 30.10.85.*

УДК 621.373

*Е. П. ВТОРОВ, канд. техн. наук*

### **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ СВЧ-ГЕНЕРАТОРА**

В процессе настройки генератора СВЧ-радиоимпульсов большой мощности приходится выводить его на резонансную частоту нагрузки, чтобы передать в нагрузку максимальную энергию. Использование общепринятых наиболее чувствительных систем автоматической настройки частоты (АНЧ) предусматривает подсоединение к системе СВЧ-генератор — нагрузка