

**Котельников И.В.², Платонов Р.А.^{1,2}, Осадчий В.Н.^{1,2},
Косьмин Д.М.^{1,2}, Алтынников А.Г.^{1,2}, Михайлов А.К.², Козырев А.Б.²**

¹Дагестанский государственный университет народного хозяйства

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический

университет «ЛЭТИ»

Методика измерений СВЧ параметров радиотонных компонентов резонансным методом

Представлена резонансная методика, позволяющая проводить с повышенной точностью измерения импеданса (величин активного и реактивного входного сопротивления) СВЧ компонентов и в частности элементов радиотоники, с целью разработки и создания цепей согласования.

Ключевые слова: СВЧ, резонансная методика, измерение, согласование импедансов, радиотоника.

Разработка новых радиотонных компонентов и создание приемо-передающих устройств на их основе, связана с необходимостью измерения их СВЧ импедансных характеристик. Определение зависимостей СВЧ импедансов лазеров с прямой модуляцией и фотодетекторов в различных рабочих режимах при различной СВЧ мощности, позволяет оптимизировать согласование в СВЧ цепях, т.е. увеличивать эффективность переноса СВЧ сигнала в световую часть спектра и обратно (СВЧ ↔ свет).

Разработка цепей согласования радиотонных элементов связана с определением СВЧ импедансных характеристик их гетероструктур, обеспечивающих генерацию/детектирование оптической несущей

Прямое использование современного измерительного СВЧ оборудования (анализаторы цепей) не позволяет точных измерений подобных импедансных параметров при частотах свыше 1 ГГц. Например, погрешность измерений добротности конденсатора с добротностью $Q=200$ на частоте 3 ГГц составляет свыше 50% и радикально возрастает при дальнейшем увеличении частоты.

Рассмотренное в настоящей работе устройство (рис. 1) предназначено для использования совместно с серийно выпускаемыми анализаторами цепей, и обеспечивает необходимую точность измерений СВЧ интегральных компонентов на стадии их экспериментальной разработки, т.е. в отсутствии согласующих цепей.

Рассмотренная резонансная методика, позволяет проводить с высокой точностью (при добротностях элементов до $Q_{эл} \sim 300$) измерения СВЧ импеданса как ёмкостной (в диапазоне 0.2 – 10 пФ), так и индуктивной (в диапазоне 1 – 50 нГн) нагрузки в диапазоне частот 2.5 – 4.0 ГГц. Подчеркнём, что за счёт конструктивной модификации устройства, рабочий частотный диапазон может быть сдвинут и на более высокие частоты при использовании основных принципов методики измерений, изложенных ниже.

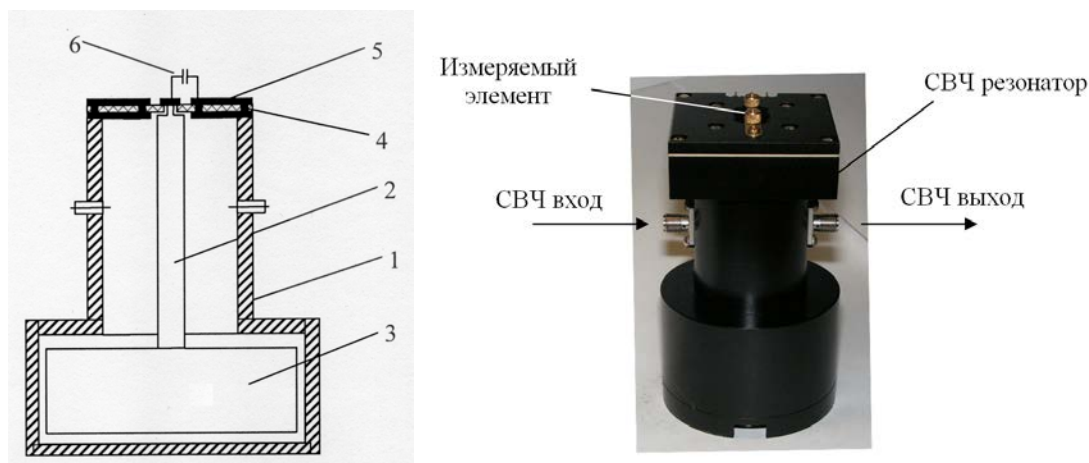


Рис. 1. Измерительный резонатор.

Коаксиальный измерительный резонатор (рис. 1) состоит из корпуса (1), представляющего собой цилиндрический экран и центрального проводника (2), который гальванически изолирован от корпуса фильтром нижних частот (3), обеспечивающим развязку цепей управления напряжения по СВЧ сигналу >60 дБ. Резонатор закрывается диэлектрической многослойной платой (4), на внешней поверхности которой расположены металлические электроды (5) для установки измеряемого элемента (6) и подачи на него управляющего напряжения или тока.

Возбуждение колебаний ТЕМ моды резонатора на СВЧ производится с помощью штырей, изготовленных на основе SMA разъёмов, вмонтированных в корпус резонатора. Регулировкой длины штырей подбирается уровень связи резонатора с источником СВЧ колебаний. Все металлические части внутреннего объёма резонатора и торцевые поверхности сопряжения гальванически покрыты слоем золота для повышения добротности камеры и её защиты от коррозии и окисления.

Использование встроенного в объём резонатора фильтра низких частот, обеспечивающего развязку цепей управления и цепей СВЧ свыше 60дБ, позволяет получить высокую добротность измерительного резонатора ($Q_{00} \sim 2000$) наряду с возможностью подачи управляющих напряжений до 1000В. Возможность установки измеряемого элемента вне резонансного объёма (на внешней поверхности платы 5) значительно упрощает позиционирование образца и сокращает время испытаний за счет исключения операций сборки и разборки измерительного резонатора при смене образца.

Резонансная методика основана на определении изменения резонансной частоты и добротности измерительного резонатора при включении в него измеряемого элемента. Добротность измеряемого элемента ($Q_{эл}$) связана с параметрами резонатора следующим соотношением [1]:

$$Q_{эл} = \frac{\xi \cdot Q_{00}^{эт} \cdot Q_0 \cdot Q_{эт}}{\xi \cdot Q_{00}^{эт} \cdot Q_0 + Q_{00}^{эт} \cdot Q_{эт} - Q_0 \cdot Q_{эт}}$$

где Q_0 – собственная добротность резонатора с включённым в него измеряемым элементом; ξ - коэффициент включения исследуемого элемента в резонатор, определяющий отношение энергии, запасенной в элементе к суммарной энергии запасаемой в резонаторе с элементом; $Q_{эт}$ - добротность эталонного элемента; $Q_{00}^{эт}$ - собственная добротность резонатора с эталонным элементом.

Измеренная величина добротности исследуемого элемента определяется отношением реактивной величины импеданса на частоте измерений к резистивной компоненте.

Имея набор эталонных элементов различной ёмкости и индуктивности можно построить калибровочные зависимости $f_r(C, L)$ (рис. 2), позволяющие по измеренной

резонансной частоте f_r определить реактивность измеряемого элемента и коэффициент его включения в резонатор $\xi = -2 \frac{X}{dX} \frac{df}{f}$. Зная коэффициент включения и добротность эталонных элементов на конкретной частоте, можно определить добротность исследуемого элемента и как следствие, резистивную компоненту его импеданса.

Предложенная методика позволяет определить входной импеданс измеряемого элемента с точностью не хуже ~1% для реактивной составляющей и ~10% для активной компоненты.

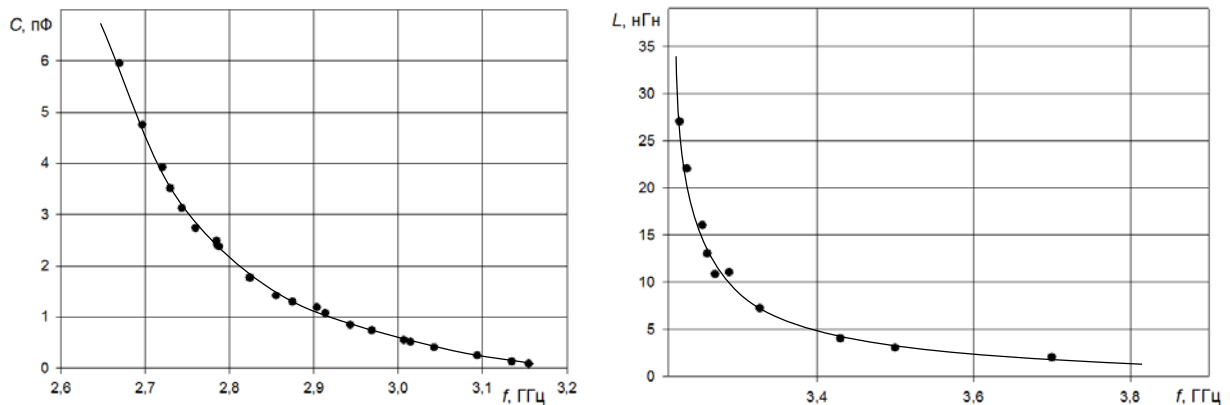


Рис. 2 – Калибровочные характеристики измерительного резонатора.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.608.21.0002 от 27.10.2015 (уникальный идентификатор соглашения RFMEFI60815X0002).

Библиографический список

1. Технология, свойства и применение сегнетоэлектрических плёнок и структур на их основе / Под ред. В.П.Афанасьева, А.Б.Козырева. СПб.: ООО «Техномедиа» / Изд-во «Элмор», 2007. 248с.