

МЕТОДЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ В СУБМИЛЛИМЕТРОВОМ И ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНАХ

ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА КВАЗИОПТИЧЕСКОГО ТИПА

Б. В. Сафронов

Харьков

Если на пироэлектрическом приемнике большой площади разместить пленочный подогреватель, то этим самым мы превратим его в пироэлектрический измеритель мощности, в котором измерение мощности СВЧ можно осуществить методом замещения мощностью тока низкой частоты с сохранением высокой чувствительности и малой инерционности [1].

Приемный элемент представляет собой диск из пироактивной керамики диаметром 18 мм и толщиной 0,5 мм с серебряными электродами для съема сигнала. На один из электродов наклеивается диск из алюминия толщиной 0,03 мм, на наружной поверхности которого создана методом анодного оксидирования тонкая (5—7 мкм) электроизолирующая пленка окиси алюминия. На электроизолирующей пленке испарением в вакууме создается пленочный подогреватель из нихрома. Поверх подогревателя наносится поглощающее покрытие, которое представляет собой пленку, приготовленную из мелкодисперсного порошка окиси железа в смеси с биндером. Толщина поглотителя 0,03 мм. Модулированное излучение СВЧ поглощается поглощающим покрытием и через слоистую структуру нагревает пироактивный элемент, создавая на его электродах заряд, пропорциональный температуре. Этот заряд вызывает в нагрузочном сопротивлении ток

$$I = pA \frac{dT}{dt}, \quad (1)$$

где A — площадь электродов; dT — изменение температуры; p — пироэлектрический коэффициент; t — время.

Такой же ток можно получить при рассеивании мощности тока низкой частоты в пленочном подогревателе с формой импульсов, аналогичной форме огибающей СВЧ излучения. Поэтому измерение мощности можно свести к сравнению сигналов от поочередного воздействия мощности СВЧ и мощности тока низкой частоты, учитывая при этом величину коэффициента поглощения поглощающего покрытия.

Блок-схема измерителя мощности представлена на рис. 1. на состоит из приемной головки, измерительного усилителя

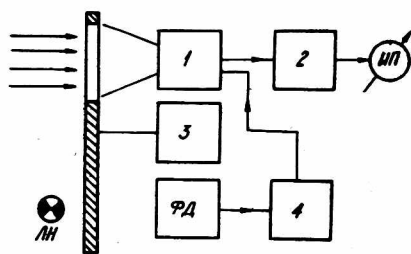


Рис. 1. Блок-схема измерителя мощности:

1 — измерительная головка; 2 — измерительный усилитель; 3 — модулятор; 4 — усилитель блока калибровки.

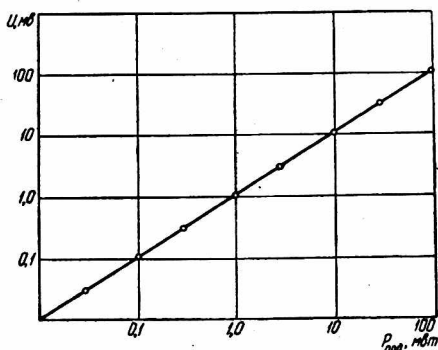


Рис. 2. Зависимость сигнала на выходе приемного элемента от величины мощности, рассеиваемой в подогревателе.

и блока калибровки. В приемной головке размещены приемный элемент и согласующий усилитель.

Измеряемое излучение СВЧ модулируется механическим модулятором и через согласующий конический переход попадает на приемный элемент. Сигнал с выхода приемного элемента через согласующий усилитель поступает на измерительный усилитель.

Измерительный усилитель предназначен для усиления сигнала, снимаемого с пиродатчика. К усилителю предъявляется требование: обеспечить усиление нужной величины с малыми амплитудными искажениями. Кроме того, усилитель должен обеспечивать постоянство усиления при изменении внешних условий. В данном приборе использован многокаскадный усилитель низкой частоты на транзисторах. Коэффициент усиления изменяется в пределах от нескольких десятков до нескольких тысяч с помощью ступенчатого и плавного делителей напряжения. Нелинейность амплитудной характеристики не превышает одного процента. Изменение коэффициента усиления не превышает 2 дБ в диапазоне температур от +10 до +50°C. На выходе усилителя НЧ включен фазовый детектор с индикаторным

прибором. Для создания импульсов тока низкой частоты с формой, аналогичной форме огибающей СВЧ, служит калибратор. Световой сигнал от лампы накаливания ЛН прерывается модулятором М и попадает на фотодиод ФД. С фотодиода электрический сигнал поступает на усилитель блока калибровки. С целью получения мощности калибровки, которая не зависит от амплитуды сигнала, поступающего с фотодиода, первый каскад усилителя калибровки работает в режиме ограничения. Делитель напряжения, включенный на выходе усилителя калибровки, позволяет получать на сопротивлении подогревателя импульсную мощность от 100 мквт до 10 мвт. Постоянство тока калибровки обеспечивается с точностью 0,1% в интервале температур от +10 до +50°C.

В качестве модулятора используется механический модулятор с диском из алюминия диаметром 130 мм и толщиной 1 мм, в котором вырезано окно для прохождения излучения. Диск приводится во вращение электродвигателем ДПМ-25. Частота модуляции 10 гц. Максимальная нестабильность частоты модуляции при скорости вращения электродвигателя 600 об/мин составляет 0,4 гц.

Исследование квадратичности приемного элемента производилось путем рассеивания в подогревателе мощности тока низкой частоты известной величины. Напряжение на приемном элементе измерялось с помощью измерительного усилителя. Зависимость сигнала на электродах датчика от величины мощности подогрева приведена на рис. 2. Из графика видно, что зависимость выходного сигнала от величины рассеиваемой мощности имеет линейный характер во всем динамическом диапазоне измеряемых мощностей. Максимальная величина отклонений от линейности не превышает 2%.

Величина вольт-ваттной чувствительности, определенная из графика рис. 2, имеет значение 1,14 в/вт.

Зональное распределение чувствительности — это зависимость сигнала на выходе приемного элемента от места попадания пучка излучения на поверхность датчика. Неравномерность этой характеристики определяется различием тепловых потерь в различных областях слоистой структуры. Зональная чувствительность исследовалась при перемещении приемного элемента относительно тонкого оптического луча. Максимальное изменение чувствительности вдоль поверхности датчика не превышает 1,5%.

Чтобы определить влияние нестабильности частоты модуляции сигнала СВЧ на показания прибора, снималась зависимость вольт-ваттной чувствительности от частоты модуляции. Измерения показали, что изменение частоты на 0,4 гц дает изменение вольт-ваттной чувствительности на 0,5%.

Измеряя мощность СВЧ методом замещения, необходимо знать величину коэффициента поглощения в рабочем диапазоне частот. В работе [2] показано, что для сферы, имеющей внутреннюю поверхность с диффузным рассеянием, поверхностная плотность рассеянного потока мощности одинакова в любом месте сферы и не зависит от распределения входящего потока, если он не попадает непосредственно на индикатор. Если поступающая СВЧ мощность первоначально попадает на исследуемую поверхность, а затем, отразившись от нее, попадает в сферу, то поверхностная плотность мощности

$$F = \frac{PR}{4\pi l^2} \cdot \frac{R_{\text{сф}}}{1 - R_{\text{сф}}}, \quad (2)$$

где P — мощность входящего потока; l — радиус сферы; $R_{\text{сф}}$ — диффузный коэффициент отражения внутренней поверхности сферы; R — коэффициент отражения исследуемой поверхности. Он может быть зеркальным, диффузным или смешанным.

Интегрирующая сфера представляет собой медный шар, на внутренней поверхности которого нанесены углубления с помощью стального шарика. Размеры углублений соизмеримы с длиной волны, на которой производятся измерения. Сфера имеет три отверстия: входное, выходное и отверстие для индикатора. В качестве детектора использовался неселективный пироэлектрический детектор с приемной площадью 1 мм^2 .

Интегрирующая сфера располагается так, что слабо расходящийся пучок СВЧ проходит через нее в отверстия 1 и 2. При этом юстировкой сферы добиваются того, чтобы при открытом отверстии 2 на индикатор не попадала мощность СВЧ. Для измерения коэффициента отражения исследуемой поверхности закрывают отверстие 2 медной заглушкой, имеющей поверхность, аналогичную внутренней поверхности сферы, и отмечают показания индикатора α_1 . Затем на место заглушки помещают исследуемый образец и снова отмечают показание индикатора α_2 . Отношение $\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$ даст значение коэффициента отражения. Измерение коэффициента отражения на длинах волн 1,5; 0,9; 0,33 мм дало значения 41, 37, 34% соответственно. Коэффициент поглощения определяется по формуле

$$\varepsilon = 1 - R. \quad (3)$$

Ввиду того, что коэффициент поглощения измерен на фиксированных длинах волн рабочего диапазона, приближенное его значение на других длинах волн может быть определено аппроксимацией. При этом в значение погрешности определения коэффициента поглощения войдет дополнительная погрешность за счет аппроксимации.

Если погрешность определения мощности калибровки $\pm 1\%$, погрешность за счет нелинейности приемного элемента $\pm 2\%$, погрешность за счет неравномерности зональной чувствительности $\pm 1,5\%$, погрешность определения коэффициента поглощения $\pm 4\%$, погрешность отсчета по шкале индикатора $\pm 1\%$, то максимальная среднеквадратичная погрешность измерения мощности СВЧ не будет превышать $\pm 6\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. А. Валитов, С. Ф. Дюбко, В. В. Камышан, В. М. Кузьмичев, Б. И. Макаренко, А. В. Соколов, В. П. Шейко. Техника субмиллиметровых волн. Изд-во «Сов. радио», М., 1969.

2. П. М. Тиходеев. Световые измерения в светотехнике. Госэнергоиздат, 1962.