

ПИКОВЫЙ СВЧ ВАТТМЕТР

В. Ф. Балаков, В. Н. Боголюбов, В. С. Пучков, В. Ф. Радченко

Москва

Создание измерителей пиковой СВЧ мощности — проблема создания малоинерционных датчиков-преобразователей, обладающих свойством трансформации мощности СВЧ сигналов

в электрическую величину, удобную для регистрации обычными измерительными приборами. Наряду с этим, для разработки панорамных измерителей СВЧ мощности весьма желательно, чтобы датчики-преобразователи были частотно-избирательными.

Одним из разработанных в этом направлении способов измерения является способ, основанный на применении ферритовых датчиков-преобразователей. Он обладает рядом свойств, которые позволяют успешно применять его для создания частотно-избирательных измерений пиковой СВЧ мощности в широком диапазоне частот от 1 до 20 Гц и выше.

Ферритовый датчик-преобразователь (ФДП) представляет собой отрезок линии передачи СВЧ с помещенным внутри него ферритовым элементом (обычно в виде шарика) с достаточно узкой линией ферромагнитного резонанса (ФМР), за счет чего и достигается селективность устройства [1]. Настройка по частоте датчика осуществляется путем изменения внешнего подмагничивающего поля.

Как известно, при ферромагнитном резонансе СВЧ сигнал вызывает прецессию вектора намагниченности ферритового элемента, причем интенсивность прецессии пропорциональна квадрату напряженности СВЧ магнитного поля или мощности СВЧ сигнала. Чтобы измерить интенсивность прецессии (и тем самым определить величину СВЧ мощности), используют периодическую (синусоидальную) модуляцию подмагничивающего поля, которая осуществляется с помощью катушки из микропровода, намотанной вокруг ферритового элемента.

Наличие такой модуляции приводит к появлению нутационных колебаний вектора намагниченности феррита и, в конечном счете, появлению спектра наведенной э. д. с. в той же катушке с частотами, кратными частоте модуляции. При этом амплитуда каждой из спектральных составляющих э. д. с. оказывается прямо пропорциональной мощности СВЧ сигнала. Поскольку амплитуды составляющих быстро уменьшаются с ростом номера гармоники, для измерения целесообразно использовать вторую гармонику э. д. с., так как при этом возможно осуществить развязку между сигналом модуляции и измеряемым сигналом.

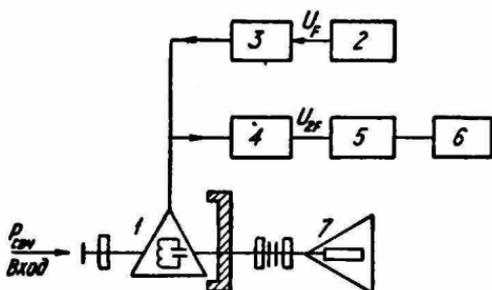
Инерционность ферритового датчика-преобразователя определяется, в основном, шириной полосы ФМР ферритового элемента и для $2\Delta H \approx 1\text{э}$ (что соответствует $2\Delta f \approx 3 \text{ Мгц}$) время установления прецессии составляет величину порядка 0,1 мксек. Оптимальная частота* модуляции F при этом оказывается равной 4—6 Мгц, а коэффициент преобразования k — отношение э. д. с. 2-й гармоники к величине падающей мощности —

* Частота, при которой наблюдается максимум наведенной э. д. с.

порядка 5—10 мкв/мвт, оставаясь неизменным как для импульсных (>1 мксек), так и для монохроматических СВЧ сигналов.

Таким образом, ферритовый датчик-преобразователь в режиме модуляции подмагничивающего поля осуществляет практически безынерционное преобразование СВЧ сигналов в радиосигналы с той же огибающей и амплитудой, пропорциональной мощности СВЧ.

Принцип действия ФДП определяет блок-схему измерителя



Упрощенная блок-схема пикового СВЧ ваттметра:

1 — ФДП; 2 — модулятор; 3 — фильтр модулятора; 4 — приемный фильтр; 5 — усилитель; 6 — пиковый вольтметр; 7 — согласованная нагрузка.

Приемный фильтр 4 предназначен для выделения полезного сигнала с ФДП на частоте $2F$ и для подавления прямого прохождения с модулятора частоты F на вход усилителя.

Усилитель 5 усиливает сигнал с частотой $2F$, поступающей от ФДП.

Пиковый вольтметр 6 является выходным устройством прибора и измеряет амплитуду напряжения с частотой $2F$, пропорциональную величине СВЧ мощности.

Согласованная нагрузка 7 подключена к СВЧ выходу ФДП и служит для согласования его со стороны входа в рабочем диапазоне частот.

Методика измерения СВЧ мощности по указанной блок-схеме весьма проста и заключается в настройке ФДП на частоту измеряемого сигнала по максимуму показаний выходного прибора (пикового вольтметра). Шкала последнего градуируется в единицах мощности, что позволяет производить прямой отсчет ее величины.

В рассматриваемой схеме прибора заложены более широкие функциональные возможности. Кроме измерения мощности

пикового СВЧ мощности, которая изображена на рисунке. Кратко рассмотрим назначение отдельных элементов этой блок-схемы (о ФДП говорилось выше) [2].

Модулятор 2 вырабатывает напряжение с частотой F , предназначенное для модуляции подмагничивающего поля ФДП.

Фильтр модулятора 3 служит для подавления высших гармоник частоты модуляции (в первую очередь 2-й гармоники).

импульсных и монохроматических СВЧ сигналов, она принципиально допускает следующее: панорамный обзор спектра СВЧ сигналов в диапазоне частот ФДП в ручном и автоматическом режиме перестройки; измерение частоты СВЧ сигналов в диапазоне частот ФДП; наблюдение огибающей импульсных СВЧ сигналов.

Погрешность пикового СВЧ ваттметра определяется стабильностью параметров входящих в его схему узлов, методикой измерения, а также точностью методов и средств аттестации прибора. Расчет погрешности макета прибора в нормальных условиях приводился теоретически (путем анализа источников погрешностей и их оценки) и экспериментально (посредством определения закона распределения показаний выходного прибора при многократных измерениях постоянного уровня СВЧ мощности).

В результате исследований было установлено, что величина случайной погрешности подчиняется нормальному закону распределения, а ее максимальная величина составляет $\pm 3,2\%$ и в основном определяется стабильностью применяемого пикового вольтметра.

Как уже отмечалось, коэффициент передачи ФДП остается постоянным при воздействии импульсных, а также монохроматических СВЧ сигналов. Поэтому для градуировки и поверки прибора могут быть использованы обычные калибраторы мощности, применяемые при поверке и аттестации термисторных и болометрических головок. Методика аттестации в нашем случае отличается лишь тем, что для сопряжения динамических диапазонов калибратора и ФДП приходится применять измерительный аттенюатор, в связи с чем появляется дополнительная погрешность. Суммарная погрешность аттестации при этом составляет величину около $\pm 5\%$. Максимальная погрешность пикового СВЧ ваттметра в нормальных условиях δP_x определяется выражением

$$\delta P_x = 3 \sqrt{\left(\frac{\delta k_k}{3}\right)^2 + \left(\frac{\delta k_f}{3}\right)^2} + 2|\Gamma_{\text{ФДП}}| |\Gamma_r|,$$

где δk_k — максимальная относительная погрешность аттестации ваттметра в его динамическом и частотном диапазонах ($\delta k_k = 5\%$ на частотах аттестации);

δk_f — максимальная относительная погрешность, обусловленная частотной зависимостью коэффициента передачи ФДП ($\delta k_f \leq 2\%$ в рабочем диапазоне частот);

$|\Gamma_{\text{ФДП}}|$ — модуль коэффициента отражения входа ФДП ($\Gamma_{\text{ФДП}} \leq 0,13$);

Γ_r — модуль коэффициента отражения выхода генератора, мощность которого измеряется.
Таким образом, имеем

$$\delta P_a = \pm (5 + 0,26 \cdot |\Gamma_r| \cdot 100) \%$$

Как известно, определение реальных технических характеристик проводилось на макете прибора (построенного по более сложной блок-схеме, чем та, которая изображена на рисунке). Макет исследовался в трех частотных диапазонах с соответствующими волноводными ФДП (сечения волноводов 120×57 , 23×10 и 16×8 мм).

Приведем краткие технические данные макета: пределы измеряемых значений пиковых мощностей 10—1000 мвт; длительность импульсов измеряемых СВЧ сигналов 1 — ∞ мксек; частота следования измеряемых импульсных сигналов 50 гц — 50 кгц; КСВН входа ФДП $\leq 1,3$; основная погрешность в нормальных условиях 5%; избирательность при расстройке 30 — 50 Мгц (в зависимости от диапазона ФДП) ≥ 20 дб.

Следует отметить, что перечисленные параметры прибора имеют производственный запас и при необходимости путем доработок могут быть улучшены.

Результаты разработки и исследования характеристик пикового СВЧ ваттметра с использованием ферритовых датчиков-преобразователей позволяют наметить некоторые области его применения: для селективного измерения и контроля пиковой мощности в СВЧ трактах; для исследования спектра излучения источников СВЧ мощности; для контроля (и проверки) генераторов СВЧ в импульсном режиме; для компарирования мощности импульсных и монохроматических СВЧ сигналов.

Кроме того, рассматриваемый прибор может быть положен в основу разработки автоматических панорамных измерителей мощности и частоты СВЧ сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. К. Михайловский, В. Ф. Балаков, В. С. Пучков, В. Ф. Радченко. Малоинерционный частотно-избирательный датчик мощности для СВЧ пикового милливаттметра. ВРЭ, серия РИТ, 1968, вып. 6.
2. В. Ф. Балаков, В. Ф. Радченко, В. С. Пучков. Измерение импульсной СВЧ мощности. Доклады НТК по итогам научно-исследовательских работ за 1968—1969 гг. Секция радиотехническая, подсекция ферритовой СВЧ радиофизики. МЭИ, М., 1969.