МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХНУРЭ

Кафедра МИТ

**Реферат**

**По дисциплине: Измерения в микроволновом и оптическом диапазонах**

**На тему: Методы измерения мощности в микроволновом диапазоне**

Подготовила: Бибик С.Г.

Ст..гр. МСС-07-1

Проверил: Белокурский Ю.П.

Харьков 2010

ВВЕДЕНИЕ

Мощность в общем виде есть физическая величина, которая определяется работой, производимой в единицу времени. Единица мощности ватт (Вт) соответствует мощности, при которой за одну секунду выполняется работа в один джоуль (Дж).

На постоянном токе и переменном токе низкой частоты непосредственное измерение мощности зачастую заменяется измерением действующего значения электрического напряжения ни нагрузке U, действующего значения тока, протекающего через нагрузку  и угла сдвига фаз между током и напряжением . При этом мощность определяют выражением

.

Для непосредственного измерения мощности СВЧ применяют методы, основанные на фундаментальных физических законах, включающие метод прямого измерения основных величин: массы, длины и времени.

При этом различают два основных случая:

измерение мощности, проходящей от источника в данную нагрузку (проходящей мощности);

измерение мощности, которую источник может отдать в согласованную нагрузку (поглощаемой мощности).

В первом случае применяют ваттметры проходящей мощности, во втором - ваттметры поглощаемой мощности.

Для характеристики источников СВЧ мощности в большинстве случаев достаточно знать среднее значение выходной мощности. В общем виде среднее значение выходной мощности можно записать как



импульсный мощность преобразователь

где Т - период усреднения,  - мгновенное значение мощности.

Несмотря на разнообразие методов измерения СВЧ мощности, все они сводятся к преобразованию энергии электромагнитных СВЧ колебаний в другой вид энергии, доступной для измерения: тепловую, механическую и т.д.

Среди приборов для измерения СВЧ мощности наибольшее распространение получили ваттметры, основанные на тепловых методах. Используют также ряд других методов- пондеромоторный, зондовый и другие.

В зависимости от целевого назначения и способа включения в передающий тракт различают две основные группы ваттметров:

проходящей мощности (условное обозначение М2- ...),

поглощаемой мощности (условное обозначение МЗ- ...).

Кроме того их делят:

по виду используемых первичных измерительных преобразователей на тепловые (калориметрические, термоэлектрические, термисторные и болометрические), пондеромоторные, электронные (диодные, на эффекте Холла и др.), ферритовые и др.;

по характеру измеряемой мощности на ваттметры среднего значения мощности непрерывных и (или) импульсно-модулированных сигналов, импульсной мощности (мощности в импульсе);

по уровню средних значений измеряемых мощностей на ваттметры малой мощности (до 10 мВт), средней мощности (свыше 10 мВт до 10 Вт), большой мощности (свыше 10 Вт до 10 кВт);

поточности на классы 1,0; 1,5; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 15,0; 25,0;

по типу СВЧ тракта на коаксиальные и волноводные.

ГОСТ 13605-75 допускает относить широкодиапазонные и многопредельные ваттметры к различным классам точности на различных участках диапазона частот и при различных пределах измерений.

1. МЕТОДЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩАЕМОЙ МОЩНОСТИ

Измерение поглощаемой мощности является наиболее распространенным видом измерения СВЧ мощности. Приемные преобразователи ваттметров поглощаемой мощности, являющиеся эквивалентом согласованной нагрузки, включают на конце передающей линии. В зависимости от вида применяемых преобразователей различают следующие методы измерений: тепловые (калориметрический, болометрический, термоэлектрический); метод вольтметра; метод с использованием частотно-избирательных ферритовых элементов.

1.1 ТЕПЛОВЫЕ МЕТОДЫ

Тепловые методы основаны на преобразовании энергии СВЧ в тепловую с последующим измерением приращения температуры рабочего тела, в котором происходит преобразование, или величины замещающей мощности низкой частоты или постоянного тока, вызывающей эквивалентное приращение температуры рабочего тела. В основе метода лежит уравнение

, (1.1.1)

где - количество теплоты; - теплоемкость рабочего тела;  - приращение температуры рабочего тела; °С; - время.

Возможность калибровки тепловых приборов на постоянном токе способствует достижению высокой точности измерения СВЧ мощности. При конструировании тепловых приборов особое внимание обращают на время установления показаний, которое в основном определяется тепловой инерционностью элементов системы. Время установления теплового равновесия системы пропорционально произведению теплоемкости рабочего тела на тепловое сопротивление между ним и средой.

Следовательно, уменьшать время установления показаний можно уменьшая оба влияющих фактора. Уменьшать время установления показаний можно также применяя метод замещения. Метод замещения основан на допущении, что замещающая мощность и мощность СВЧ создают одинаковый тепловой эффект в рабочем теле. Перед измерением рабочее тело предварительно разогревают постоянным (переменным) током до определенного теплового состояния. После подачи СВЧ сигнала мощность постоянного (переменного) тока уменьшают на такую величину, чтобы тепловое состояние рабочего тела осталось неизменным. При этом приращение мощности постоянного (переменного) тока, получившее название замещающей, принимают равным измеряемой мощности. Таким образом, при замещении суммарная мощность, подводимая к рабочему телу до начала измерений и при измерении, остается неизменной. Это обусловливает неизменность температуры рабочего тела, а следовательно, и исключает в первом приближении зависимость времени измерения от тепловых характеристик рабочего тела.

Метод замещения широко применяют в термисторных и калориметрических ваттметрах. Обычно процесс замещения автоматизирован.

.2 КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Применение калориметрического метода для измерения СВЧ мощности является частным случаем его использования в области физических исследований. Широкое применение этого метода оправдано простотой превращения энергии электрического тока в теплоту.

Устройство калориметрических ваттметров СВЧ весьма разнообразно и определяется в основном уровнем мощности, диапазоном частот и требуемой точностью. Все калориметры можно разделить на две большие группы. Это калориметры с переменной температурой, в которых мощность определяется по изменению температуры рабочего тела калориметра, и калориметры с постоянной температурой. Тепловые процессы, происходящие в калориметре, в зависимости от оболочки калориметра могут носить адиабатический или изотермический характер. Для калориметрического тела с неидеальной изоляцией уравнение теплового равновесия имеет вид

, (1.2.1)

где Р - мощность, рассеиваемая в рабочем теле; - скорость изменения температуры рабочего тела; - разность температур рабочего тела и окружающей среды; - тепловое сопротивление между рабочим телом и окружающей средой.

При конечном, но достаточно большом значении теплового сопротивления скорость изменения температуры в начальный период практически такая же, как при , а затем уменьшается и при  стремится к нулю. При малых значениях  время установления температуры уменьшается, но одновременно уменьшается и степень разогрева рабочего тела. Принципиально калориметрический метод можно применять во всём спектре частот электромагнитных колебаний, включая оптический диапазон. Калориметрические ваттметры имеют коэффициент перекрытия по частоте не менее 10 для коаксиальных трактов и, как правило, не менее 1,4 - 1,5 для волноводных трактов. Калориметрический метод позволяет измерять СВЧ мощность от сотен микроватт до десятков и сотен киловатт. Динамический диапазон отдельных приборов достигает 30-40 дБ.

Погрешность измерения может принимать значения от нескольких десятых долей процента до единиц процентов. Основными причинами, влияющими на величину погрешности, являются: неточность определения массы рабочего тела-для статических калориметров, расхода жидкости-для проточных; неточность определения температуры рабочего тела (при использовании метода сравнения - неточность регистрации равенства теплового режима рабочей и опорной нагрузок); неточность измерения мощности калибровки, замещения, сравнения; неточность определения затухания СВЧ мощности в тракте; неэквивалентность замещения (сравнения); несоответствие импедансов ваттметра и генератора характеристическому сопротивлению линии передачи; изменение температуры окружающей среды; дрейф.

.3 БОЛОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

В основу приборов, использующих болометрический метод, положено изменение сопротивления резистивного термочувствительного элемента под действием энергии СВЧ, превращенной им в теплоту. Изменение сопротивления термочувствительного элемента, пропорциональное подводимой СВЧ мощности, измеряют с помощью мостовых измерительных устройств, в одно из плеч которых он включен. На СВЧ применяют два вида термочувствительных элементов - болометры и термисторы (терморезисторы). В зависимости от вида применяемого термочувствительного элемента ваттметры называют болометрическими или термисторными. Основными узлами болометрических и термисторных ваттметров являются приемные преобразователи, измерительное и отсчетное устройства.

Болометры представляют собой тонкую металлическую проволоку длиной 0,8-1,2 мм (проволочные болометры) или тонкую металлическую пленку (из платины, палладия), нанесенную в вакууме на основание (подложку) из стекла или слюды (пленочные болометры). Для изготовления проволочных болометров применяют платиновую проволоку диаметром 1мкм. Плёночные болометры бывают нитевидными (рис. 1.3.1) и плоскими (рис.1.3.2). В нитевидных тонкопленочных болометрах основанием служит нить из стекловолокна диаметром 3 мкм, а в плоских - слюда толщиной 30-50 мкм. Нитевидные болометры устанавливают на опорах в зазоре между серебряными электродами, которые наносят на слюдяной диск (основание) вжиганием. Механическое крепление и электрический контакт болометров с электродами осуществляют с помощью токопроводящей массы. Опора из нитей стекловолокна обеспечивает зазор между основанием и болометром, необходимый для согласования и создания определенного теплового режима.



Рис.1.3.1-Вставка с нитевидными пленочными болометрами для коаксиальных приемных преобразователей: I - электроды; 2 - слюдяной диск; 3 - контакты: 4 - болометры; 5 - опора.

Для включения в линию передачи и измерительную схему плоские болометры имеют серебряные или платиновые контакты. Серебряные контакты изготовляют вжиганием серебряной пасты или напылением в вакууме серебряной пленки на подслой из никеля или нихрома, платиновые-напылением в вакууме пленки платины.



Рис.1.3.2-Виды плоских болометров для коаксиальных (а) и волноводных (б) трактов: 1 - контакт; 2 - термочувствительная пленка; 3 - основание из слюды.

Рассмотрим основные характеристики болометров и термисторов.

К ним относятся:

сопротивление болометра (термистора) в рабочей точке;

температурный коэффициент сопротивления;

постоянная рассеяния;

чувствительность;

тепловая постоянная времени;

максимально допустимая мощность рассеяния.

Болометрический метод используют в диапазонах метровых, дециметровых, сантиметровых и миллиметровых длин волн. Диапазон частот отдельных приборов определяется приемными преобразователями, входящими в комплект.

Метод применим для измерения малых уровней мощности - от единиц микроватт до десяти милливатт при использовании термисторных и болометрических (на базе проволочных болометров) преобразователей и до сотен милливатт при использовании болометрических преобразователей с пленочными плоскими болометрами. Болометрические преобразователи имеют меньшую чувствительность, поэтому их динамический диапазон обычно меньше, чем у термисторных.

Погрешность измерения определяется следующими основными составляющими:

погрешностью измерения мощности замещения (обеспечивают измерение с погрешностью ± (0,5 - 1,5%));

погрешностью определения коэффициента эффективности приемного преобразователя (при использовании калибраторов обеспечивают измерение с погрешностью ± (2,0 - 5,0%));

погрешностью, обусловленной дрейфом, (в установившемся режиме при наличии схемы высококачественной температурной компенсации она не превышает 0,5 мкВт за полминуты);

погрешностью за счет отражения мощности от приемного преобразователя (если в результат измерений вносят поправку на отраженную мощность, то неисключенный остаток погрешности для прибора общего применения составит не более ± 0,5%);

погрешностью из-за рассогласования.

Без учета погрешности за счет рассогласования погрешность измерения мощности с помощью термисторных ваттметров составляет ± (2,5-10) %.

К достоинствам метода следует отнести: применимость в широком диапазоне частот; малое время установления показаний, что позволяет применять его в автоматизированных устройствах.

Недостатками метода являются: существенный температурный дрейф; ограниченный сверху динамический диапазон; низкий коэффициент эффективности на высоких частотах (порядка 0,5 на 78 ГГц).

.4 ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МЕТОД

Термоэлектрический метод основан на преобразовании СВЧ энергии в тепловую с помощью высокочастотных дифференциальных термопар прямого или косвенного нагрева и измерении возникающей в результате нагрева термо-э. д. с, пропорциональной рассеиваемой в термопаре СВЧ мощности. Термопары выполняют одновременно функции согласованной нагрузки и дифференциального термометра. Зависимость между измеряемой мощностью и величиной термо-э. д. с. выражается соотношением

, (1.4.1)

где  - напряжение термо-э. д. с. на выходе термопары; - коэффициент преобразования термопары.

Термоэлектрический метод, как и болометрический, применяют в основном для измерения мощности малых уровней, однако он имеет ряд преимуществ перед болометрическим. Так как величина термо-э. д. с. пропорциональна подводимой СВЧ мощности и практически не зависит от температуры окружающей среды, в термоэлектрических ваттметрах отсутствуют элементы и узлы для температурной компенсации. Приемные преобразователи термоэлектрических ваттметров не требуют длительного времени прогрева и при высокой чувствительности термопар могут работать непосредственно со стрелочным индикатором. Поскольку термопара не требует начального подогрева, как термистор или болометр, потребление ваттметра от источников питания мало, что особенно важно в случае питания прибора от первичных источников (например, аккумуляторов).

Термоэлектрический метод используют в диапазонах метровых, дециметровых, сантиметровых и миллиметровых длин волн. С его помощью измеряют мощности от десятков нановатт до единиц ватт при использовании аттенюаторов и направленных ответвителей.

Погрешность измерения СВЧ мощности при использовании этого метода определяется следующими основными составляющими:

погрешностью измерительного блока включающей временной дрейф и погрешность отсчетного устройства (может быть сведена до ± (1-2)% и менее);

погрешностью определения коэффициента преобразования на переменном токе низкой частоты, зависящей от точности используемых методов измерения действующего значения напряжения (при использовании вольтметра класса 0,5 погрешность составит ± (1-2)%; для схем со встроенным калибратором - погрешность самокалибровки);

погрешностью, обусловленной нелинейностью термопары в динамическом диапазоне, (обычно составляет ±(1-3)%);

погрешностью определения коэффициента эффективности преобразователя (при использовании калибраторов может принимать значение ± (1,5-5)%);

погрешностью, обусловленной отражением мощности от входа преобразователя;

погрешностью из-за рассогласования.

К достоинствам метода следует отнести: применимость в широком диапазоне частот; малое время установления показаний, что позволяет использовать метод в автоматизированных системах; малую зависимость результата измерений от температуры окружающей среды; малое время подготовки к работе; технологическую возможность изготовления термопар на различные уровни мощности.

Недостатками метода являются: ограниченный сверху динамический диапазон; невысокая устойчивость к перегрузкам, ограничивающая применение термоэлектрических преобразователей при измерении средней мощности импульсно-модулированных колебаний. Пленочные нитевидные термопары, обладая малой тепловой инерционностью, уже при относительно небольшом значении энергии импульса перегорают.

1.5 МЕТОД ВОЛЬТМЕТРА

Мощность, рассеиваемую нагрузкой, можно определить, зная действующее значение напряжения U и импеданс нагрузки Z:

 (1.5.1)

где |Z| - модуль импеданса нагрузки;

Если нагрузка активная, мощность можно выразить в виде

 (1.5.2)

Измерение мощности СВЧ, таким образом, может быть сведено к измерению напряжения на согласованной нагрузке с помощью высокочастотного вольтметра, шкала которого откалибрована в единицах мощности. Этот метод измерения мощности принято называть методом вольтметра. Измерение напряжения в цепях с, распределенными постоянными на частотах свыше 100 МГц связано с рядом трудностей.

Метод вольтметра применим до 18 ГГц с полупроводниковыми, до 2 ГГц - с вакуумными диодами. Минимальный уровень измеряемых мощностей - сотые доли микроватта, максимальный - до нескольких сотен киловатт при наличии внешних делителей.

Погрешность измерений СВЧ мощности определяется следующими

основными составляющими:

погрешностью калибровки прибора. Ее максимальное значение в зависимости от уровня мощности и используемых при этом образцовых приборов может колебаться в пределах ± (4-10%);

погрешностью калибровки внешнего делителя, ее максимальное значение при пользовании установками для измерения ослабления Д1-3 или Д1-6 составляет ±7%;

погрешностью, обусловленной неравномерностью коэффициента преобразования в динамическом диапазоне. Ее максимальное значение зависит от типа диода и степени приближения его действительной характеристики к выбранной; в динамическом диапазоне 10 дБ нетрудно обеспечить значения погрешности порядка ± (1-3%);

погрешностью, обусловленной рассогласованием.

К достоинствам метода следует отнести простоту, высокую надежность, возможность измерения как непрерывных, так и импульсно-модулированных сигналов.

Недостатками метода являются: низкая точность измерений; ограниченный рабочий диапазон частот, особенно при пользовании вакуумными СВЧ диодами; зависимость показаний прибора от величины гармонических составляющих в измеряемом сигнале; необходимость использования поправочных графиков.

1.6 МЕТОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ ФЕРРИТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ферритовые элементы обладают свойством резонансного поглощения энергии высокочастотного электромагнитного поля. В основу теории этого явления положено классическое объяснение природы магнетизма, из которого следует, что элементарными носителями магнетизма являются электроны и ядра атомов. Исследования показали, что ферромагнитные свойства вещества связаны главным образом со спиновым магнитным моментом электрона. При постоянном магнитном поле напряженности. Но электронный спин начинает прецессировать с частотой, которую называют частотой ферромагнитного резонанса:

 (1.6.1)

где  - гиромагнитное отношение; - заряд и масса

электрона;  - скорость света.

Если в плоскости образца ферромагнитного материала, перпендикулярной направлению магнитного поля Но, приложить переменное СВЧ магнитное поле с частотой, равной собственной частоте прецессии, то возникнет ферромагнитный резонанс и образец ферромагнитного материала будет поглощать энергию СВЧ.

Метод применим в диапазоне частот от сотен мегагерц до нескольких десятков гигагерц. Диапазон частот сверху ограничивается габаритами электромагнитов и свойствами монокристаллов феррогранатов. Динамический диапазон порядка 20-25 дБ. Преобразователи поглощаемой мощности обеспечивают измерение мощностей от сотен микроватт до сотен милливатт. Нижний уровень определяется чувствительностью измерительного блока и ограничивается уровнем на его входе, а верхний-спин-волновой нестабильностью, характерной для нелинейного ферромагнитного резонанса, обусловленной разогревом тела феррита в результате поглощения им мощности СВЧ.

Преобразователи проходящей мощности из-за малого коэффициента связи обеспечивают измерение мощностей более высоких уровней. При этом методе отсутствует зависимость измерений от длительности и частоты следования импульсов при длительностях импульсов более 0,5 мкс.

Приборы с ферритовыми преобразователями, как правило, калибруют по образцовым ваттметрам. Их погрешность без учета погрешности рассогласования составляет порядка 10-15%.

К достоинствам метода следует отнести следующее:

ферритовые приемные преобразователи обладают высокой надежностью и устойчивостью к перегрузкам, стабильными параметрами в течение длительного времени. Устойчивость к перегрузкам обусловлена эффектом насыщения ферритового элемента в области температуры Кюри, в результате чего значительное увеличение мощности СВЧ после достижения этой температуры не приводит к заметному повышению температуры элемента;

ферритовые элементы являются избирательными, поэтому метод применим для избирательного измерения мощности в присутствии мешающих сигналов, избирательность при расстройке на 50 МГц составляет 20-30 дБ;

ферритовые элементы обладают направленностью, поэтому могут быть использованы при конструировании приемных преобразователей ваттметров проходящей и поглощающей мощности;

метод позволяет измерять мощность как непрерывных, так и импульсных сигналов.

Недостатками метода являются: небольшой динамический диапазон; сложность в управлении измерительными приборами (при изменении частоты измеряемого сигнала приходится перестраивать подмагничивающую систему прибора); сравнительно большая инерционность (порядка 0,1-10 с) ферритовых преобразователей, у которых используется нагрев ферритового элемента поглощаемой мощностью; температурная зависимость резонансной частоты феррита.

2. МЕТОДЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОХОДЯЩЕЙ МОЩНОСТИ

Под проходящей понимают мощность, рассеиваемую в нагрузке линии передачи. Известно, что при идеально согласованной нагрузке в линии передачи отсутствует отраженная волна и мощность, проходящая в нагрузку, равна падающей. В реальных случаях проходящая мощность всегда меньше падающей и равна

. (2.1)

Приемные преобразователи ваттметров проходящей мощности включают в линию передачи между генератором и нагрузкой, и, как правило, они потребляют незначительную часть мощности, распространяющейся вдоль линии передачи; их чувствительные элементы реагируют на напряженность электромагнитного поля или плотность потока мощности в тракте. Чувствительные элементы приемных преобразователей должны быть слабо связаны с полем СВЧ, чтобы они не искажали заметно поле и не снижали выходной мощности устройства. Идеальный измеритель проходящей мощности должен иметь Гвх = Гвых = 0. В зависимости от типа применяемых преобразователей и вида связи, существующей между выходным параметром приемного преобразователя и проходящей мощностью, различают следующие методы измерений: поглощающей стенки; зондовый; пондеромоторный и метод, основанный на использовании эффекта Холла. Проходящую мощность можно измерять также с помощью ваттметров поглощаемой мощности в сочетании с направленными ответвителями. В ряде случаев при малых или известных значениях коэффициента отражения нагрузки Гн измерение проходящей мощности можно заменить измерением падающей мощности с введением поправок к результату измерения или без них. Рассмотрим более подробно каждый из методов.2.1 МЕТОД ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СТЕНКИ

Метод основан на измерении мощности, рассеиваемой в термочувствительном резистивном элементе, который представляет собой

участок линии передачи с потерями, с последующим определением проходящей мощности по формуле

, (2.1.1)

где К - коэффициент, обратно пропорциональный коэффициенту связи;  - мощность СВЧ, рассеянная в термочувствительном резистивном элементе.

Сопротивление термочувствительного элемента на СВЧ обычно значительно меньше активной составляющей сопротивления нагрузки, простейшей конструкции ваттметра проходящей мощности, основанного на данном методе, часть боковой стенки волновода заменена термочувствительным элементом (энтракометром) в виде поглощающей пленки из платины (рис.2.2.1).



Рис.2.2.1. Энтракометр

При поглощении СВЧ мощности пленка нагревается и изменяет свое сопротивление. Подобно болометру, энтракометр включают в схему моста и таким образом обеспечивают индикацию поглощаемой в энтракометре мощности. Предполагают, что нагрев пленки мощностью СВЧ и замещающей мощностью одинаков и перепад температуры по толщине пленки практически отсутствует. Для температурной компенсации аналогичную пленку помещают на внешней стороне волновода. Во избежание прямого излучения толщину пленки энтракометра следует делать значительно больше толщины скин-слоя или применять специальную экранировку.

Ваттметры с обычными энтракометрами позволяют измерять малые и средние уровни мощности. Для измерения больших уровней применяют энтракометры, у которых наружная поверхность охлаждается проточной жидкостью, что позволяет повысить уровень измеряемой мощности до предельного для данного волновода. Мощность, рассеянную в энтракометре, определяют по перепаду температур и расходу жидкости. У таких ваттметров может быть применена калибровка на постоянном токе или переменном токе низкой частоты. Ваттметры, основанные на методе поглощающей стенки, обладают значительной инерционностью.

Метод принципиально может быть использован от самых низких частот до 37 ГГц и более. Однако отдельные типы ваттметров предназначены только для узкого диапазона длин волн, во избежание больших погрешностей измерения, обусловленных рассогласованием нагрузки. Метод позволяет измерять СВЧ мощность малого, среднего и большого уровней. Погрешность измерения мощности определяется следующими основными составляющими:

погрешностью калибровки на постоянном токе или переменном токе низкой частоты;

погрешностью за счет неэквивалентности замещения на средней частоте;

погрешностью, обусловленной изменением относительного сопротивления потерь термочувствительного элемента в полосе частот .

- погрешностью, вызванной рассогласованием.

К достоинствам метода следует отнести его простоту и высокую надежность.

Недостатками являются большая погрешность измерения при работе в полосе частот и большое время установления показаний.

2.2 ЗОНДОВЫЙ МЕТОД

Зондовый метод получил широкое распространение при различных видах измерений на СВЧ, в том числе для измерения проходящей мощности. Под зондом понимают устройство, содержащее преобразователь и элемент связи, имеющий пренебрежимо малые размеры в направлении распространения мощности СВЧ. Зонд характеризуется коэффициентом преобразования и амплитудной характеристикой (обычно квадратичной). Влияние зонда на поле в линии передачи, вносимые потери и отражения, как правило, пренебрежимо малы. В зависимости от того, на что реагирует зонд, связанный с линией передачи, различают зонды напряжения и тока. С помощью зондов измеряют величину, пропорциональную напряжению (току) или напряженности в линии передачи, а проходящую мощность определяют по известным соотношениям, существующим между напряжением (током) или напряженностью в линии передачи и мощностью, проходящей в нагрузку с учетом коэффициента связи зонда с полем СВЧ. Простейшим прибором, в котором используется зондовый метод, является измерительная линия. Сущность измерения мощности с помощью измерительной линии заключается в следующем. Передвигая прокалиброванный зонд вдоль измерительной линии, включенной между генератором и нагрузкой, измеряют максимальное и минимальное действующие значения напряжения (напряженности поля) в линии. Затем, пользуясь известными соотношениями для длинных линий, определяют мощность, проходящую в нагрузку. Однако измерительные линии для измерения мощности почти не применяют из-за неудобств в эксплуатации. На практике получили распространение зондовые устройства, представляющие собой отрезки трактов с вмонтированными в них на определенном расстоянии друг от друга зондами. Зонды, как и в предыдущем случае, калибруют по известной мощности в согласованной нагрузке. Поскольку зонды реагируют на распределение поля вдоль волновода, то при реальных нагрузках возникает погрешность в измерении проходящей мощности, обусловленная появлением стоячей волны в линии передачи.

Метод принципиально может быть использован вплоть до сантиметровых длин волн. Однако отдельные типы ваттметров могут работать в узком диапазоне частот из-за больших погрешностей измерения, обусловленных рассогласованием нагрузки. Ограничение диапазона сверху вызвано трудностями изготовления малогабаритных высокочастотных зондов и получения их стабильных характеристик в диапазоне частот. Метод применим для измерения мощности средних и больших уровней. Погрешность измерения определяется следующими составляющими:

погрешностью образцового прибора, используемого при калибровке;

погрешностью измерительной схемы;

погрешностью, обусловленной изменением сопротивления потерь или изменением связи зонда в полосе частот;

погрешностью, вызванной рассогласованием.

К достоинствам метода относится: простота конструкции приемного преобразователя; возможность работы приемного преобразователя непосредственно на стрелочный индикатор; применимость для встроенного контроля проходящей мощности.

Недостатками метода являются: большая погрешность измерения при работе в полосе частот (свыше ±10%); зависимость показаний от частоты и степени согласования нагрузки; необходимость калибровки устройств на реальных уровнях СВЧ сигнала с помощью образцовых приборов.

2.3 ПОНДЕРОМОТОРНЫЙ МЕТОД

Пондеромоторный метод является абсолютным методом измерения СВЧ мощности, поскольку результат может быть определен на основании прямого измерения массы, длины и времени. Метод основан на использовании эффекта механического (пондеромоторного) воздействия сил электромагнитного поля на стенки линии передачи или на отражающие элементы, находящиеся внутри волновода.

Пондеромоторный метод может быть применен вплоть до миллиметрового диапазона длин волн. Однако отдельные приборы имеют сравнительно узкий диапазон частот. Метод позволяет измерять мощности от нескольких милливатт до сотен киловатт средней мощности. Погрешность измерения мощности при использовании крутильных ваттметров включает в себя следующие составляющие:

погрешность механической калибровки, обусловленную

неточностью измерения удельного момента кручения нити; она определяется погрешностью измерения момента инерции бруска, погрешностью измерения амплитуд затухающих колебаний с бруском и без бруска при многократных измерениях, погрешностью измерения периода свободных колебаний с бруском и без бруска;

погрешность определения электрического калибровочного коэффициента;

погрешность 6а определения угла закручивания нити подвеса;

погрешность рассогласования или неисключенный остаток погрешности рассогласования.

Достоинства: высокая точность метода, что позволяет применять пондеромоторные ваттметры в качестве образцовых средств; хорошая перегрузочная характеристика приборов. Приборы не выходят из строя при значительном превышении измеряемой мощности (чувствительные элементы при перегрузке устанавливаются в некоторое крайнее положение).

К недостаткам метода относится следующее: пондеромоторные ваттметры обладают повышенной чувствительностью к вибрациям и утряске, обладают малой надежностью. Необходимость тщательного согласования отрезка передающего тракта ваттметра влечет за собой повышенные требования к точности изготовления механической конструкции. Такие ваттметры узкополосны, их показания зависят от частоты. Рассматриваемый метод неприменим в жестких условиях эксплуатации.

2.4 МЕТОД, ОСНОВАННЫЙ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

Метод измерения мощности электромагнитного поля полупроводниковыми элементами Холла был впервые описан Барлоу. Эффектом Холла называют явление возникновения поперечной разности потенциалов во всякой проводящей пластине, по которой в продольном направлении протекает электрический ток, при помещении ее в магнитное поле, перпендикулярное к направлению тока. Эффект Холла, как и эффект изменения сопротивления в магнитном поле (эффект Гаусса), относится к так называемым гальваномагнитным явлениям, обусловленным взаимодействием магнитного поля с движущимися зарядами. Э. д. с. Холла прямо пропорциональна произведению величин тока и магнитного потока и обратно пропорциональна толщине элемента Холла:

, (2.4.1)

где - э. д. с. Холла;  - постоянная Холла; I- ток; В - магнитная индукция; d -размер образца в направлении магнитного поля (толщина).

При измерении СВЧ мощности элемент Холла располагают таким образом, чтобы электрическое поле электромагнитной волны создавало в нем ток, а магнитное поле было нормально поверхности элемента. Если фазовый сдвиг между током и магнитным полем в пластинке будет равен фазовому сдвигу на нагрузке, включенной на конце линии передачи, то усредненная величина э. д. с. Холла будет пропорциональна активной мощности, передаваемой по линии. Применяя полупроводниковые элементы со сравнительно высокой подвижностью носителей тока, эффект Холла можно использовать для измерения СВЧ мощности в широком диапазоне частот.