

## ТЕМА 2.4 ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерение мощности в диапазоне звуковых и высоких частот имеет ограниченное значение, так как на частотах до нескольких десятков мегагерц часто удобнее измерять напряжения и токи, а мощность определять расчетным путем. На частотах свыше 100 МГц, вследствие волнового характера процессов, значение напряжения и токов теряют однозначность, и результаты измерений начинают зависеть от места подключения прибора. На постоянном токе, а также в диапазоне низких, средних и высоких частот используют косвенные методы измерения мощности.

Для измерения мощности постоянного и переменного однофазного тока используют **электродинамические ваттметры**. Такой ваттметр, включенный в цепь переменного тока, измеряет активную мощность и имеет равномерную шкалу (рисунок 1).

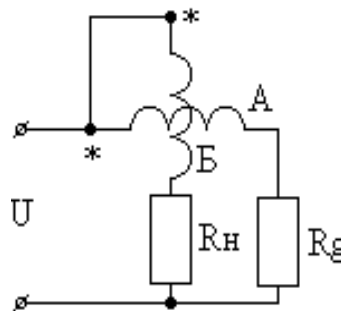


Рисунок 1 – Схема электродинамического ваттметра

**Косвенный метод** используют от низких частот до 500 МГц. Измерения проводят с помощью амперметра и вольтметра (рисунок 2). Таким методом нельзя пользоваться при изменяющихся значениях тока и напряжения из-за невозможности одновременного отсчета по двум приборам. Недостатком такого метода является необходимость вычислений после каждого измерения.

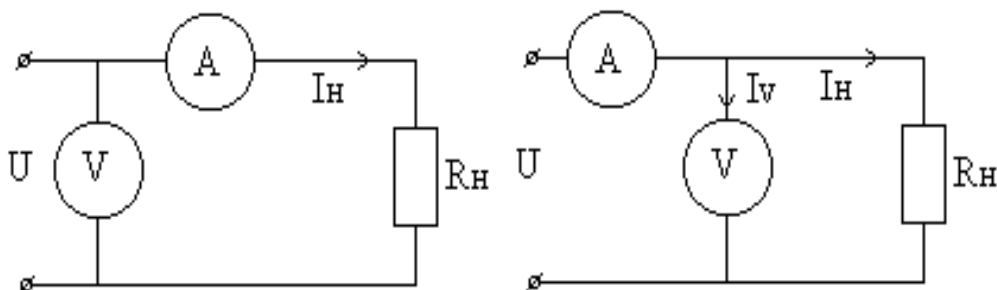


Рисунок 2 – Косвенный метод измерения мощности

Активная (поглощаемая электрической цепью) мощность однофазного переменного тока (формула 1):

$$P = UI \cos \varphi, \quad (1)$$

где  $U$ ,  $I$  – действующие значения напряжения и тока;  
 $\varphi$  – сдвиг фазы между ними.

Если нагрузка в цепи чисто активная ( $\varphi=0$ ), то мощность переменного тока:  $P = UI$ .

Электрическую мощность переменного тока можно измерять с помощью ваттметров. Современные ваттметры на частоты до 1 МГц строятся на основе интегральных перемножителей с использованием термопреобразователей.

По уровню измеряемых электрических мощностей все измерители мощности делятся на ваттметры:

- 1) малой мощности (до 10 мВт);
- 2) средней мощности (10 мВт...10Вт);
- 3) большой мощности (свыше 10 Вт).

Большое практическое значение имеет измерение мощности на СВЧ. В этом диапазоне используются методы преобразования электромагнитной энергии в другие виды, например в тепловую, и последующее измерение мощности преобразованной энергии.

Различают два основных метода измерения мощности СВЧ – колебаний:

### **1. Измерение мощности источника электромагнитных колебаний (генератора).**

Согласно определению, мощность генератора – это мощность, отдаваемая в согласованную нагрузку. В этом случае измеряемая мощность полностью рассеивается на некотором измерительном эквиваленте нагрузки с последующим измерением мощности теплового процесса. Такие измерители называются **ваттметрами поглощающего типа**. Так как нагрузка должна полностью поглощать измеряемую мощность, то использование прибора возможно лишь при отключенном потребителе. Результат измерения будет наиболее точным, если входное сопротивление прибора полностью согласовано с выходным сопротивлением исследуемого генератора или волновым сопротивлением линии передачи (рисунок 3).

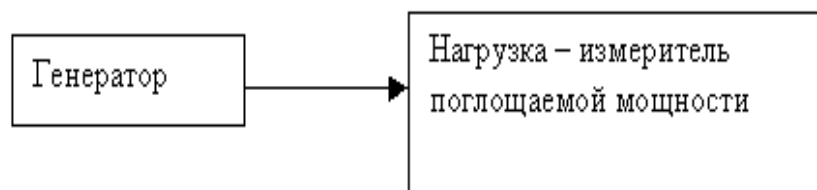


Рисунок 3 - Измерение мощности источника электромагнитных колебаний (генератора)

### **2. Измерение электрической мощности, выделяемой в нагрузке, полное сопротивление которой может быть произвольно.**

В этом случае между генератором и нагрузкой включается устройство, преобразующее в другую форму лишь незначительную часть передаваемой по линии энергии и не нарушающее процесса передачи.

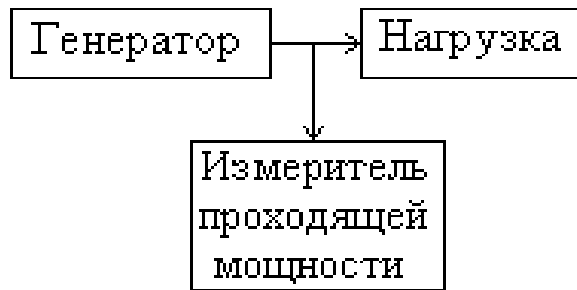


Рисунок 4 - Измерение электрической мощности, выделяемой в нагрузке

Относительные результаты измерения мощности выражаются в децибелах (дБ). Они являются логарифмической величиной по основанию 10.

Коэффициент усиления усилителя (формула 2):

$$K_{\text{усил}} [\text{дБ}] = 10 \lg P_1/P_2, \quad (2)$$

где  $P_1$  – мощность на выходе,

$P_2$  – мощность на входе.

За уровень отсчета мощности в системах связи обычно принимается мощность 1 мВт, рассеиваемая на сопротивлении 600 Ом. Она получается, если приложить к 600-омной нагрузке напряжение 0,775В. Мощность, отсчитываемая до этого уровня, выражается в единицах дБм. Она определяется также, как и мощность в децибелах, но в ее знаменатель подставляют 1 мВт:

$$[\text{дБм}] = 10 \lg P_1/1 \text{ мВт}$$

Единицы дБм применяются для измерения абсолютной мощности.

Отношения напряжений или токов также можно выразить в дБ, так как они связаны с мощностью:

$$K_{\text{усил}} [\text{дБ}] = 20 \lg U_1/U_2$$

$$K_{\text{усил}} [\text{дБ}] = 20 \lg I_1/I_2$$

Вопросы для самопроверки:

1. От чего зависит выбор метода измерения мощности?
2. Методы измерения мощности СВЧ-колебаний.
3. Ваттметры поглощающего типа.
4. Единицы измерения мощности.

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛАЩАЕМОЙ МОЩНОСТИ

Измерение поглощаемой мощности наиболее распространено на высоких и сверхвысоких частотах. Существуют следующие методы измерения:

**1. Тепловые методы** – основаны на преобразовании электромагнитной энергии в тепловую с последующим измерением количества выделенного тепла. Достоинством тепловых ваттметров является возможность калибровки на постоянном токе, что способствует достижению высокой точности измерения мощности.

**1.1 Калориметрический метод** – является одним из наиболее точных. Первичным преобразователем ваттметра является калориметр, где

осуществляется преобразование электромагнитной энергии в тепловую. Различают калориметры с постоянной и переменной температурами.

Особенности калориметрических ваттметров:

- широкий частотный диапазон;
- широкие пределы и высокая точность измерений;
- большая инерционность (время установления показаний несколько минут);
- сложность в эксплуатации.

**1.2 Термисторный (болOMETрический) метод** – основан на измерении сопротивления резистивного термочувствительного элемента, в котором электромагнитная энергия превращается в тепловую. В диапазоне СВЧ используют проволочные и пленочные болометры, а также термисторы.

Особенности болометрических и термисторных ваттметров:

- широкий частотный диапазон;
- высокая чувствительность;
- высокая точность;
- малое время установления показаний;
- малые пределы измерений;
- требуют применения специальных схем термокомпенсации.

**1.3 Термоэлектрический метод** – основан на преобразовании с помощью термопар энергии СВЧ в тепловую и измерении возникающей термо-ЭДС, пропорциональной рассеиваемой в термопаре СВЧ – мощности. Метод используется для измерения малых уровней мощности.

Особенности термоэлектрических ваттметров:

- малая зависимость результата измерений от температуры окружающей среды;
- малые пределы измерений;
- малая устойчивость к перегрузкам.

**2. Электронные методы** – когда измеряемая мощность преобразуется в пропорциональное напряжение постоянного или переменного тока с последующим измерением этого напряжения. Методы имеют малую инерционность, благодаря чему, можно прямо измерять мощность.

Вопросы для самопроверки:

1. Перечислить методы измерения поглощаемой мощности на высоких и сверхвысоких частотах.
2. Суть и особенности термоэлектрического метода.
3. Суть и особенности калориметрического метода.
4. Суть и особенности термисторного метода.

## **ЦИФРОВЫЕ ВАТТМЕТРЫ**

Основным элементом схемы является микропроцессор. Усилитель постоянного тока (УПТ) усиливает выходное напряжение термоэлектрического приемного преобразователя до значения, обеспечивающего устойчивую работу блока АЦП. Напряжение, пропорциональное измеряемой мощности, преобразуется в интервал времени, который заполняется импульсами опорной частоты. Число импульсов, пропорциональное измеряемой мощности,

отображается на цифровом отсчетном устройстве (ЦОУ) или может вводиться в специализированное устройство обработки измерительной информации.

Микропроцессор содержит элементы автоматического управления режимами работы и дистанционного переключения пределов измерения. Калибратор мощности переменного тока используется для самокалибровки ваттметра. Калибратор мощности постоянного тока применяется для калибровки цифрового ваттметра, работающего с преобразователями на средних и больших уровнях мощности. Все узлы ваттметра запитываются от встроенного источника питания.

Приемный преобразователь состоит из отрезка коаксиальной линии (или волновода) со стандартным высококачественным разъемом, поглощающего элемента, термоэлектрического модуля, «образца сравнения». Поглощающий элемент представляет собой тонкопленочный резистор на теплопроводящей (бериллиевой) керамике. Центральным проводником коаксиального тракта является тонкостенная трубка из нержавеющей стали, исключая тепловое влияние внешней среды на поглощающий элемент. Для уменьшения потерь на СВЧ, трубка покрывается медью и серебром. Поглощающий элемент за счет плотной посадки имеет электрический контакт с центральным проводником. Другой его конец впаян в согласующий медный экран с серебряным покрытием. В согласующем экране предусмотрено ступенчатое изменение диаметра, что обеспечивает согласование поглощающего элемента с трактом во всем диапазоне частот (рисунок 5).

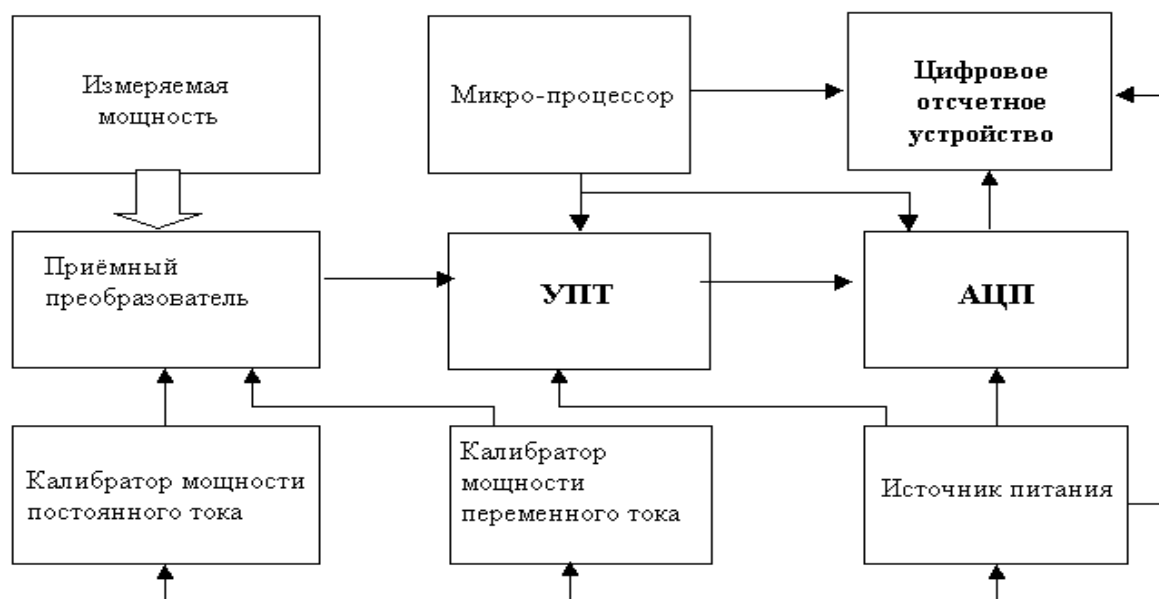


Рисунок 5 – Структурная схема цифрового ваттметра

Термоэлектрический модуль представляет собой диск с отверстием и расположен так, что горячий спай имеет тепловой контакт с внешней поверхностью согласующего экрана в месте пайки поглощающего элемента, а холодный спай - с «образцом сравнения». К выводам термоэлектрического модуля припаиваются провода соединительного кабеля. Для защиты модуля от

случайных внешних тепловых воздействий используются внутренний и внешний экраны. На внешнем экране укреплены ребра, образующие вместе с экраном радиатор. Применение радиатора позволяет увеличить мощность рассеивания преобразователя.

В цифровом ваттметре благодаря применению микропроцессора осуществляется автоматический выбор пределов измерения, автоматическая установка нуля и самокалибровка; кроме того, предусматривается выход информации на канал общего пользования при его включении в состав измерительной системы.

Вопросы для самопроверки:

1. Назначение калибраторов мощности постоянного и переменного тока.
2. Назначение микропроцессора.
3. Принцип действия цифрового ваттметра.
4. Из каких узлов состоит приемный преобразователь?