

Калориметрический метод измерения мощности

Калориметрический метод измерения мощности колебаний СВЧ отличается высокой точностью. Метод является универсальным и используется для измерения мощности от единиц милливатт до сотен киловатт во всем радиотехническом диапазоне частот. Сущность метода состоит в определении количества тепла, которое выделяется при рассеивании электромагнитной энергии согласованной нагрузкой, которая является составной частью калориметра. В качестве нагреваемого рабочего тела калориметра обычно используется вода. Вода может либо охлаждать нагрузочный резистор, либо сама являться нагрузкой. На СВЧ даже дистиллированная вода имеет угол потерь примерно 0,1. На частотах ниже 1 ГГц для увеличения поглощения, т.е. увеличения потерь, в воду добавляют примеси (хлористый натрий, глицерин). В измерителях мощности обычно используются поточные калориметры, в которых мерой мощности колебаний СВЧ является разность температур непрерывно текущей жидкости на входе и выходе устройства.

Поточные калориметры бывают открытые, в которых водопроводная вода используется один раз, и замкнутые, в которых жидкость непрерывно циркулирует в замкнутом контуре под действием насоса и охлаждается в радиаторе. Мощность колебаний СВЧ, поглощаемых в нагрузке с проточной водой.

Кроме того, характеристика $R=f(P)$ зависит от температуры окружающей среды, что видно из рис. 5, где показаны характеристики при исходной температуре (-40; 0 и +40) °C.

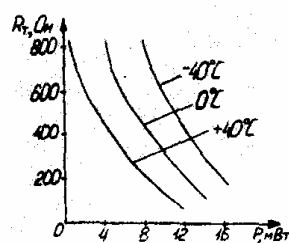


Рис. 5

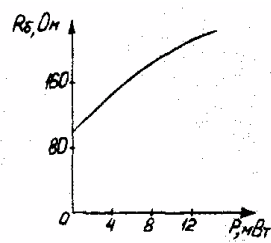


Рис. 6

Современные терморезисторы имеют чувствительность 10... 100 Ом/мВт, что позволяет использовать их для измерения малых мощностей (от единиц микроватт до единиц милливатт). Чувствительность болометров невысокая (4... 5 Ом/мВт), их можно применять для измерения мощностей от 1... 2 м до 1 Вт.

т

Для терморезисторов характерна сравнительно большая тепловая инерционность, поэтому они автоматически усредняют измеряемую мощность и могут применяться для измерения импульсной мощности.

Недостатком терморезистора является сильная зависимость их характеристик от температуры окружающей среды, что вынуждает применять в ваттметрах термокомпенсации. Для болометра характерно слабое влияние температуры окружающей среды и малая инерционность, однако сравнительно большие геометрические размеры ограничивают их применения на частотах выше 3 ГГц.

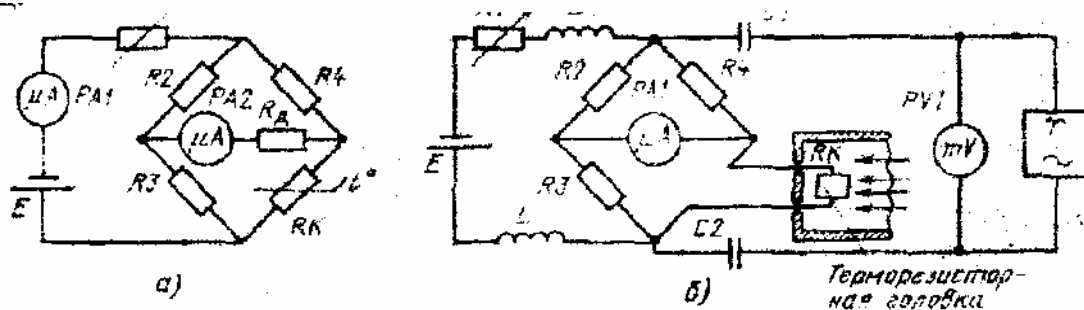


Рис.7

$$P0 = \left(\frac{I_0}{2}\right)^2 * RT = I_0^2 * \frac{RT}{4}$$

Мерой мощности СВЧ в измерителях мощности служит изменение сопротивления терморезистора, которое изменяется с помощью мостовых схем. Мостовые схемы различаются по способу питания: постоянным током или током низкой частоты. Принципиальная электрическая схема моста постоянного тока изображена на рис. 7, а. При отсутствии колебаний СВЧ через терморезистор протекает постоянный ток, создаваемый источником питания Е. Уравновешивание моста достигается изменением тока через терморезистор R_K переменным резистором R₁. Ток через терморезистор изменяет его температуру, а следовательно, и его сопротивление R. Положим, что баланс моста наступает при токе I₀, протекающем по общей цепи и измеряемом миллиамперметром PA1. Баланс моста контролируется с помощью микроамперметра PA2, включенного в диагональ. Сопротивления плеч моста выбраны так, что при балансе через терморезистор протекает половина тока I₀, и мощность, рассеиваемая терморезистором

$$P1 = \left(\frac{I1}{2}\right)^2 * \frac{RT}{4} = I_1^2 * \frac{RT}{4}$$

Затем подают колебания СВЧ и резистором R восстанавливают баланс моста при токе I₁. Мощность источника постоянного тока, рассеиваемая на терморезисторе, составит

$$P = P0 - P1 = 0,25RT(I_0^2 - I_1^2)$$

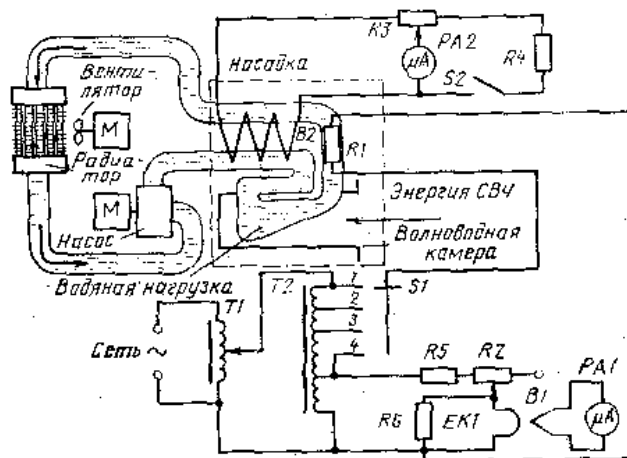
а измеряемая мощность:

Разделяется по разности температур на входе (T₁) и на выходе (T₂) калориметра. Для определения мощности пользуются формулой $P = 4,17cx\Delta T$, где с — теплоемкость жидкости; x — расход воды (объем воды, протекающей через нагрузку); ΔT — разность температур T₁ и T₂ на входе и выходе калориметра.

Если измерять расход воды x в литрах в минуту и полагать его постоянным, то рассеиваемая мощность СВЧ оказывается пропорциональной разности температур: $P = l\Delta T$, где l = 69,5 Вт/°C

Схема ваттметра калориметрического типа показана на рис. 8: Замкнутая водяная система состоит из охлаждаемого радиатора, насоса, водяной нагрузки и соединительных трубопроводов. Вентилятор волноводной камеры с закрепленным внутри стеклянным конусом, заполнен водой. Вода протекает по замкнутому контуру с определенной скоростью. Форма конуса выбирается из условий полного поглощения энергии водяной нагрузкой. Конструктивно волноводная

камера и водяная нагрузка выполняются в виде отдельного блока, называемого насадкой. Насадка к исследуемому генератору присоединяется с помощью волноводного перехода. Обычно приборы комплектуются набором



волноводных переходов.

Разность температур на входе и выходе воды нагрузки измеряется с помощью термопреобразователя (ЕК 1). Термодатчики, входящие в его состав, включены так, что развиваемые в них ЭДС направлены навстречу. Измерительный прибор РА2 проградуирован в единицах мощности. Однако его показания зависят от скорости протекания воды. Для калибровки мощности в выходном трубопроводе водяной нагрузки помещают спираль R1, на которую поступает энергия от сети переменного тока. Величина этой энергии регулируется с помощью автотрансформаторов Т1 (плавно) и Т2 (ступенчато). Мощность, рассеиваемая на спирали R1, измеряется с помощью термопреобразователя В1 и измерительного прибора РА1. При установленном расходе воды с помощью прибора РА1 измеряется мощность калибровки. Затем переменным резистором R3 устанавливается такое же показание прибора РА2. После окончания процесса калибровки на вход насадки подаются колебания СВЧ и определяют их мощность по показанию РА2. Калибровка справедлива при постоянной скорости протекания воды. В замкнутых водяных системах она поддерживается с высокой точностью. Преимущество рассмотренного метода в том, что не требуется измерять расход воды.

Приборы, работающие по рассмотренной схеме, позволяют измерить среднюю мощность как гармонических (с постоянной амплитудой), так и синусоидально-модулированных колебаний. Диапазон измеряемых мощностей обычно простирается от нескольких Ватт до нескольких киловатт. Пределы измеряемой мощности устанавливаются с помощью переключателя S2.

Систематические погрешности рассмотренного метода измерения мощности определяются неполным согласованием нагрузки с линией передачи энергии от генератора к насадке, утечкой энергии СВЧ, не совершенством термоизоляции установки. Другими составляющими полной погрешности являются погрешности из-за непостоянства расхода воды и колебаний ее температуры на входе нагрузки, погрешность измерения замещающей мощности колебаний низкой частоты, погрешности вследствие неэквивалентности тепловых преобразований колебаний низкой частоты и СВЧ. Общая погрешность измерения калориметрическим методом составляет обычно 5...7%. В образцовых приборах она снижена до 1%.