

# ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ПРИБОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ

М. И. Билько

Горький

Измерение мощности является одним из основных видов измерений в метровом, дециметровом, сантиметровом, миллиметровом и оптическом диапазонах длин волн.

Приборы, применяемые для регулировки и проверки измерительных генераторов, передающих устройств радиолокационных и телевизионных станций, ОКГ, усилительных СВЧ устройств по мощности выходного сигнала, именуются в соответствии с действующими стандартами ваттметрами СВЧ.

В результате проведенных работ по стандартизации утверждены и действуют стандарты 13605—68 «Ваттметры СВЧ. Технические требования», 13606—68 «Преобразователи приемные (головки) болометрических и термисторных ваттметров. Типы. Основные параметры. Технические требования», 15129—69 «Ваттметры СВЧ малой мощности и приемные преобразователи СВЧ мощности термисторные и болометрические. Методы поверки и аттестации в диапазоне частот от 20 до 37500 Мгц». Пользуясь классификацией, изложенной в стандарте 1605—68, все ваттметры делятся на две основные группы, которые отличаются между собой способом включения в передающий тракт. Это ваттметры проходящей и поглощаемой мощности. По характеру измеряемой величины ваттметры делятся на ваттметры среднего значения и импульсной мощности. По уровню измеряемых мощностей ваттметры делятся на ваттметры малой мощности (до 10 мвт); ваттметры средней мощности (от 10 мвт до 10 вт); ваттметры большой мощности (свыше 10 вт).

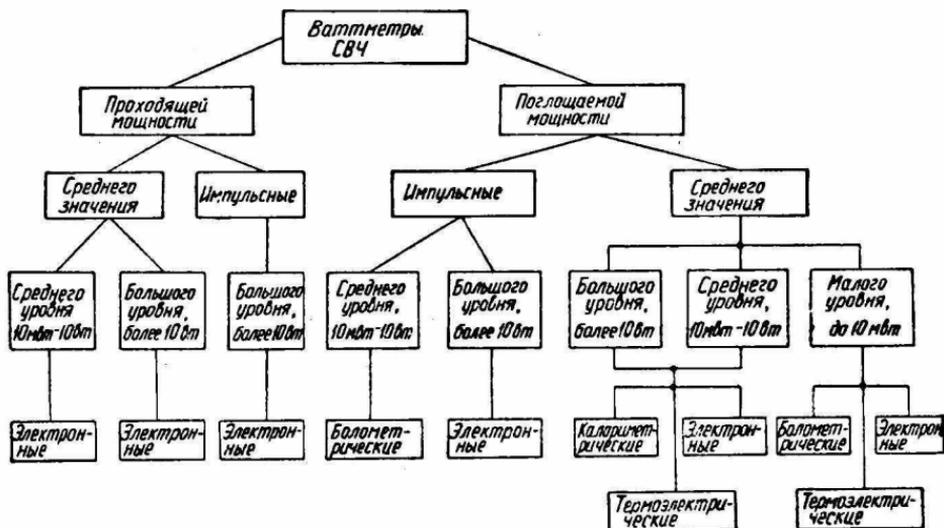
По способу преобразования и воздействия электромагнитной энергии ваттметры делятся на тепловые, пондеромоторные и электронные.

В свою очередь, тепловые ваттметры, к которым относится наибольшее число приборов, включают в себя болометрические, термоэлектрические и калориметрические ваттметры.

На рисунке в упрощенном виде приведена классификация технических приборов с указанием характерных моделей, использующих болометрический, термоэлектрический, калориметрический и другие методы измерений.

Рассмотрим конкретные методы измерений, возможности этих методов, преимущества и недостатки.

**Ваттметры малой мощности.** В ваттметрах на малый уровень мощности используется в основном болометрический, термоэлектрический и электронный методы измерения. Болометрический метод заключается в измерении мощности постоянного (переменного) тока низкой частоты, эквивалентной по тепловому действию и замещающей собой измеряемую СВЧ мощность, которая рассеивается температурно-чувствительным болометри-



ческим элементом. Болометрический метод используется в отечественных серийных приборах МЗ-1А, МЗ-10, МЗ-22 и в ряде других.

В последнее время в области измерения малой СВЧ мощности широкое распространение получили термоэлектрические ваттметры, которые из-за отсутствия зависимости показаний от окружающей температуры являются серьезными конкурентами болометрических и термисторных ваттметров. Термоэлектрический метод имеет много общего с калориметрическим. В термоэлектрических ваттметрах, в отличие от калориметрических, СВЧ мощность или ток непосредственно воздействует на термопару, включенную в СВЧ-тракт, и прибором измеряется напряжение термо-э. д. с., пропорциональное мощности СВЧ, рассеиваемой термопарой или блоком термопар. Термоэлектрический метод используется в серийном приборе МЗ-21. В электронных ваттметрах используются в основном диодные полупроводниковые преобразователи (головки).

Ваттметры малого уровня в зависимости от метода измерений обеспечивают измерение мощности от долей мквт до 10 мвт

и более в диапазоне частот от 2 Мгц до 40 Гц. При этом достигнуты следующие точности:

а) только индикаторного устройства: болометрических ваттметров — 1—3% к номиналу шкалы; термоэлектрических ваттметров — 0,5% плюс единица счета; электронных ваттметров — 0,5 дб;

б) выносных приемных преобразователей (головок) по коэффициенту преобразования —  $1 \pm 2\%$ .

*Ваттметры среднего уровня.* Это самая немногочисленная группа приборов. Основные методы измерений — калориметрический, термоэлектрический, электронный. Калориметрический метод является наиболее распространенным для измерения среднего и большого уровня мощности. При таком методе измеряется степень нагрева калориметрического тела, поглощающего СВЧ мощность (проточные и статические калориметры), либо сравнивается тепловое воздействие энергии электромагнитных колебаний с помощью постоянного тока (так называемые «сухие» калориметры). Калориметрические ваттметры этой группы приборов обеспечивают измерение мощности в диапазоне частот от постоянного тока до 12,4 Гц с погрешностью 5—6%. Серийной моделью калориметрического ваттметра, выпускаемого нашей промышленностью, является прибор МЗ-11А.

Особое место среди этой группы занимают приборы, основанные на интегрально-дифференциальном методе с болометрическими головками для измерения импульсной мощности среднего уровня. Сущность метода заключается в том, что входной импульс интегрируется с помощью специального болометрического преобразователя, а полученный сигнал усиливается и дифференцируется *RC*-цепочкой. Результирующее импульсное напряжение оказывается, таким образом, пропорциональным мощности огибающей входного импульса радиочастоты. Амплитуда импульса измеряется пиковым вольтметром, откалиброванным в единицах мощности. Интегрально-дифференциальный катод обеспечивает точность 5—15% в диапазоне частот 0,1—18,0 Гц при уровнях мощности от 10 до 300 мвт и более. Интегрально-дифференциальный метод положен в основу прибора МЗ-12.

*Ваттметры большого уровня.* Основные методы измерений этой группы приборов — термоэлектрический, калориметрический и электронный. Последний заключается в измерении напряжения СВЧ на согласованной нагрузке. Этот метод хотя и не отличается высокой точностью, но он наиболее прост и надежен и обеспечивает измерение мощности от единиц ватт до 5 квт средней мощности и от 1 квт до 1 Мвт импульсной мощности в диапазоне частот до 1 Гц. Погрешность измерений 10—15%. Электронный метод положен в основу отечественных приборов МЗ-3А и МЗ-5А.

Приборы, использующие калориметрический метод, обладают большей точностью. По данным зарубежной периодической печати, калориметрическими ваттметрами обеспечивается измерение мощности до 1,5 *квт* в диапазоне до 12,4 *Гц* с точностью 2—3% и на фиксированных частотах до 60 *квт* с точностью порядка 4%.

*Ваттметры проходящей мощности.* В таких ваттметрах используется в основном принцип измерения напряжения или малой мощности на выходе направленного элемента связи.

Индикаторная часть приборов градуируется в единицах средней и импульсной мощности.

Согласно данным иностранной печати, пределы измерений у этих приборов ограничиваются электрической прочностью передающего тракта и паразитными пролезаниями в местах разъемов. Достигнута точность 5—10% к полной шкале.

### Основные достоинства и недостатки методов

Болометрический метод имеет следующие достоинства: высокую чувствительность (единицы и доли микроватта), возможность значительных перегрузок.

К недостаткам этого метода следует отнести значительный дрейф нуля даже при наличии схемы термокомпенсации (1 *мквт/мин*) и низкий коэффициент преобразования термисторных преобразователей в миллиметровом диапазоне (до 0,5).

К достоинствам термоэлектрического метода относится высокая чувствительность (до сотых долей микроватта); высокий коэффициент преобразования (0,95—0,97); отсутствие дрейфа при изменении температуры окружающей среды; быстрое действие (малое время подготовки к измерениям).

Недостаток данного метода заключается в чувствительности к перегрузкам.

Калориметрический метод обладает такими достоинствами; высокой точностью (1—3%); высокой надежностью и большим динамическим диапазоном (от 1 *мвт* до десятков *квт*).

К недостаткам относится значительная инерционность (до одной минуты и более).

Электронный метод имеет следующие достоинства: возможность измерения мощности сигналов непрерывной генерации и импульсной мощности непосредственно; высокую надежность и простоту; быстрое действие.

Недостатки этого метода заключаются в низкой точности (10—15% и более) и непригодности в сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн.

Существуют и другие методы измерений; однако серийных приборов, использующих эти методы, пока нет.

В области измерения малых уровней мощности перспективным является термоэлектрический метод.

Термоэлектрические приборы в недалеком будущем, по-видимому, заменят полностью болометрические (термисторные) ваттметры.

Назовем еще несколько обещающих методов: электронный метод, который при наличии кристаллических СВЧ диодов со стабильными СВЧ характеристиками позволит создать надежные малоинерционные приборы; метод, базирующийся на использовании ферромагнитных пленок; метод, который базируется на использовании термо-э. д. с. «горячих» носителей, образуемой в полупроводниковых датчиках СВЧ.

Все эти методы позволяют вести измерение малой мощности сигналов непрерывной генерации, а также импульсной мощности непосредственно.

В области измерения средних и больших уровней мощности основным по-прежнему остается калориметрический метод.

В последнее время больше внимания уделяется отсчетным устройствам ваттметров. Перспективным отсчетным устройством является цифровой индикатор. Он незаменим там, где требуется высокая точность измерений и обеспечивается аттестация приемных преобразователей ваттметров с точностью не ниже  $\pm 1\%$ . Для остальных случаев применение цифровых индикаторов является дискуссионным.

---