

Р.А. СИМОНЯН, А.Г. ГУЛЯН, А.А. САНОЯН, Р.М. КИРАКОСЯН

ВЫСОКОТОЧНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ МИЛЛИМЕТРОВОГО И ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА

Описан измеритель поглощаемой мощности падающего излучения миллиметрового (ММ) и инфракрасного (ИК) диапазона длин волн, который обеспечивает измерение поглощаемой мощности излучения начиная от $0,1 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$ с точностью порядка 1 %. Прибор отличается от известных тем, что нагрев нагрузки сравнения осуществляется при помощи совмещения в одном транзисторе функций датчика температуры и нагревателя. Этим обеспечивается полная идентичность по теплофизическим параметрам обеих нагрузок. Разность температур между нагрузками $\leq 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$, при этом измерительная нагрузка нагревается поглощенным в нагрузке СВЧ излучением, а нагрузка сравнения - источником тока. Описанный измеритель может найти применение при разработке высокоточных чувствительных ваттметров как в области ММ волн, так и в области ИК диапазона длин волн.

Ключевые слова: биполярный транзистор, р-п переход, временное разделение, точность, нагрузка измерения, нагрузка сравнения.

Широкое применение калориметрических методов измерения мощности сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения оправдано простотой превращения энергии электрического тока в тепловую и удобством измерения теплоты. Среди калориметрических измерителей мощности (ИМ) временные и точностные характеристики существенно улучшаются при введении в их состав нагрузок сравнения. В основу работы таких калориметров заложен принцип сравнения теплового воздействия измеряемой мощности, подаваемой на измерительную нагрузку первичного измерительного преобразователя, с тепловым воздействием известной мощности постоянного или переменного тока низкой частоты, подаваемой на нагрузку сравнения. Фактически процесс измерения СВЧ мощности сводится к измерению мощности, подаваемой на нагрузку сравнения.

В таблице приведены основные параметры ваттметров поглощаемой мощности, имеющих измерительные камеры и камеры сравнения. Как следует из таблицы, ваттметры сравнения отличаются широкополосностью, большим динамическим диапазоном и погрешностью измерения 4...8%, а погрешность ваттметра оптического диапазона доходит до 12,5%. Это объясняется тем, что в калориметрах с жидким теплоносителем источником погрешности могут служить недостаточная интенсивность перемешивания жидкости, образование пузырьков в трубопроводе, флуктуация температуры потока жидкости и т.д.

Ваттметры поглощаемой мощности

	Марка	Мощность измерения, Вт	Диапазон измерения	Погрешность измерения, %	Примечание
1	МЗ-11А	$10 \cdot 10^{-3} \dots 10$	(1 МГц...11,5) ГГц	$\leq 5,8$	Жидкостный теплообменник
2	МЗ-13	$2 \dots 2 \cdot 10^3$	(30 МГц...1,6) ГГц	4...8	Жидкостный теплообменник
3	МЗ-13/1	$6 \dots 2 \cdot 10^3$	(2,59 ГГц...37,5) ГГц	4...8	Жидкостный теплообменник
4	МКЗ-18А	$0,1 \dots 10^{-2}$	(0,4...3,5) мкМ	± 10	Сухой калориметр
5	МЗ-24	0,01...1	(0,22...7,5) мкМ	$\pm 12,5$	Сухой калориметр

В сухих калориметрах основным источником погрешности служат различные температурные поля для измерительной нагрузки и нагрузки сравнения. Наличие нагревателя для нагрузки сравнения уже создает различие теплофизических параметров между нагрузками, что и является источником погрешности.

Для существенного улучшения параметров сухих (статических) измерителей мощности целесообразно применять решения, принятые в [3, 4], где благодаря временному разделению функции измерения и регулированию температуры стало возможным изготовление нагрузки с полностью одинаковыми теплофизическими параметрами.

Упрощенная функциональная схема разработанного измерителя мощности показана на рисунке.

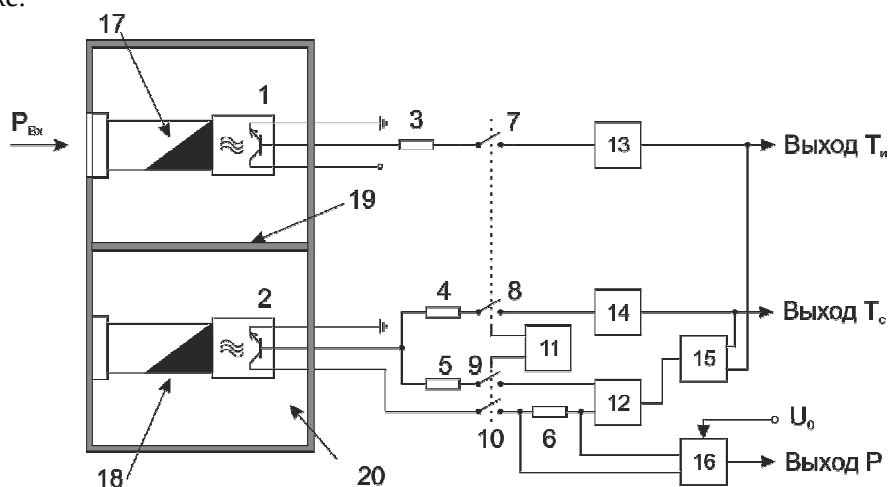


Рис. Функциональная схема измерителя мощности

На рисунке показаны цифрами: 1 - термодатчик (р-п переход биполярного транзистора) нагрузки измерения; 2 - термодатчик-нагреватель (транзистор) нагрузки сравнения; 3,4,5 - ограничивающие или развязывающие резисторы; 6 - резистор для измерения тока коллектора транзистора 2; 7,8,9,10 - электронные ключи, при этом ключи 9,10 работают в противофазных режимах относительно ключей 7,8; 11 - генератор меандра с противофазными выходами; 12 - блок управления нагревом нагрузки сравнения; 13,14 - блоки измерения температуры; 15 - дифференциальный усилитель; 16 - блок измерения мощности; 17 - нагрузка измерения; 18 - нагрузка сравнения; 19 - тепловой экран; 20 - теплоизолятор (пенопласт). Схема питается от двух стабилизированных источников $\pm 15 В$ и источника $20 В$ для нагрева нагрузки сравнения.

Отметим, что элементы 1 и 2 выполнены на одноступенчатых транзисторах, при этом коллектор транзистора 1 не используется. Нагрузки 17 и 18 совершенно одноступенчатые, и для создания хорошего теплового контакта с корпусами транзисторов 1 и 2 использована теплопроводящая паста. Нагрузки изолированы от окружающей среды пенопластом ПХВ-1 и имеют общий медный тепловой экран 19. При этом вход нагрузки 17 открыт для падающего излучения, а вход нагрузки 18 закрыт.

Измеритель мощности работает следующим образом. После включения сетевого напряжения включается источник СВЧ излучения, подключенный к входу нагрузки измерения. Нагрузка 17, согласованная с волноводным СВЧ трактом ($K_{СВЧ} < 1,2$), начинает нагреваться. Это приводит к тому, что на выходе электронного термометра 13 образуется напряжение, пропорциональное температуре нагрузки 17. При этом процесс нагрева будет продолжаться до тех пор, пока приращения температуры измерительной нагрузки $\Delta T_{и}$ будут удовлетворять условию

$$\Delta T_{и} = P_{СВЧ} \cdot R_{ти},$$

где $P_{СВЧ}$ - мощность поглощаемой нагрузки; $R_{ти}$ - коэффициент, определяющий количество тепла, передаваемое измерительной нагрузкой окружающей среде (тепловому экрану); $R_{ти}$ - фактически величина теплового сопротивления, нагрузка-окружающая среда (тепловой экран).

Почти одновременно с измерительной нагрузкой 17 нагревается также нагрузка сравнения 18, так как последняя представляет собой следящий термостат с датчиком, которым является термометр 13, а его выходное напряжение служит в качестве задающего напряжения термостата на основе транзистора 2.

Поскольку тепловая постоянная времени установления температуры нагрузки измерения почти на порядок больше времени установления температуры нагрузки сравнения, то после установления температуры нагрузки измерения 17 также устанавливается температура нагрузки сравнения 18. Для измерения мощности, необходимой для нагрева нагрузки сравнения на температуру $\Delta T_{ис}$, измеряется ток коллектора транзистора 2 с последующим умножением на напряжение на коллекторе U_k , что реализуется в блоке 16. Для

этого импульсное напряжение с обоих концов резистора 6, включенное последовательно с коллектором транзистора 2, усиливается, преобразуется в напряжение постоянного тока при помощи синхронного детектора-фильтра (для обеспечения высокой помехоустойчивости), для которого в качестве опорной фазы используется напряжение с выхода меандра 11 (в схеме не показано). Умножение тока на напряжение на коллекторе производится прецизионным аналоговым умножителем AD534L с допустимой ошибкой умножения не более $\pm 0,25$ %. Выходное напряжение постоянного тока блока 16 с высокой точностью пропорционально мощности нагрева нагрузки сравнения.

Таким образом, поглощаемая в нагрузке измерения 17 мощность привела к нагреву нагрузки на $\Delta T_{и}$, что вызвало рост напряжения на выходе термометра 13 на $\Delta U_{и}$. Такой рост напряжения датчика термостата (фактически нагрузки сравнения) способствовал росту температуры на $\Delta T_{ср}$. Основная погрешность измерения зависит фактически от того, насколько температуры $\Delta T_{и}$ и $\Delta T_{ср}$ равны. Отметим, что стабильность установленного значения температуры нагрузки 18 и ее дрейф зависят от стабильности и дрейфа дифференциального усилителя 15. При исполнении дифференциального усилителя на прецизионном операционном усилителе ОР-07 временной дрейф температуры нагрузки будет иметь порядка $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C/месяц}$, а температурный дрейф - не более $0,3 \cdot 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}$ при изменении температуры окружающей среды на 1°C .

Так как нагрузка сравнения и нагрузка измерения по своим теплофизическим параметрам абсолютно не отличаются друг от друга, то можно утверждать, что при применении большого усиления и прецизионной микросхемы $\Delta T_{и} = \Delta T_{ср}$, или же $P_{свч} = P_{имп}$, где $P_{свч}$ - часть падающей мощности, поглощенной в измерительной нагрузке, $P_{имп}$ - мощность для нагрева нагрузки сравнения, измеренное блоком 16. Обычно измерительные нагрузки имеют коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) от 1,15 до 1,6. Величина падающей мощности определяется по формуле

$$P_{свч} = \frac{P_{нч}}{K_{з}(1 - |\Gamma_{пр}|^2)},$$

где $K_{з} \approx 1$ (при полном равенстве $T_{из} = T_{ср}$), а модуль коэффициента отражения:

$$|\Gamma_{пр}| = \frac{E_{отр}}{E_{под}},$$

$E_{отр}$ - напряженность поля отраженной волны; $E_{под}$ - напряженность поля падающей волны, или же:

$$|\Gamma_{пр}| = \frac{КСВН - 1}{КСВН + 1}.$$

При изготовлении макета измерителя мощности была проверена долговременная стабильность разницы $T_{из} - T_{ср} \leq 0,01^{\circ}\text{C}$.

Основные технические параметры разработанного измерителя мощности:

- диапазон частот измерителя - от ММ волн до ИК диапазона;
- диапазон измеряемых мощностей - $0,1 \cdot 10^{-3} \dots 200 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$;
- точность измерения поглощаемой мощности- $\pm 1 \%$;
- габариты - $250 \times 200 \times 80 \text{ мм}$;
- вес - $\leq 6,5 \text{ кг}$.

Разработанный измеритель мощности может найти применение благодаря высокой точности, простоте изготовления и широкому диапазону измеряемых частот, начиная от субмиллиметровых и миллиметровых волн и кончая инфракрасным диапазоном. Очевидно, что в каждом поддиапазоне следует применять согласование с волновым сопротивлением нагрузки. Для высокой стабильности показания целесообразно термостатировать тепловой экран (с точностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по радиоизмерительным приборам / Под. ред. **В.С. Насонова**. Том 2.- М., 1977.- 272 с.
2. **Билько М.И., Томашевский А.К.** Измерение мощности на СВЧ. - М.: Радио и связь, 1986.- 168 с.
3. А.с.1557458, Устройства для измерения температуры / **Р.А. Симонян, Э.Г. Везирян**. - 15.04.1990.- Бюл. 14.
4. А.с.1501006, Устройство для регулирования и измерения температуры/ **Р.А. Симонян, Д.Э. Торикян**. - 15.08.1989.-Бюл. 30.

ИРФЭ НАН РА. Материал поступил в редакцию 11.07.2010.

Ռ.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Ա.Գ. ՂՈՒԼՅԱՆ, Ա.Ա. ՍԱՆՈՅԱՆ, Ռ.Մ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ

ՄԻԼԻՄԵՏՐԱՅԻՆ ԵՎ ԻՆՖՐԱԿԱՐՄԻՐ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԲԱՐՁՐ ՃՇՏՈՒԹՅԱՆ
ՀԶՈՐՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓԻՉ

Նկարագրված է միլիմետրային և ԻԿ տիրույթի ալիքների համար նախատեսված կլանվող հզորության չափիչ, որն ապահովում է հզորության չափումը՝ սկսած $0,1 \times 10^{-3}$ Վտ-ից 1% ճշտությամբ: Մարքը նախկիններից տարբերվում է նրանով, որ համեմատող բեռի ջեռուցումն իրականացվում է մեկ տրանզիստորի միջոցով, որը ներառում է ջերմաստիճանի տվիչի և ջեռուցիչի ֆունկցիաները: Դրանով իսկ ապահովվում է համեմատող և չափող բեռների ջերմաֆիզիկական պարամետրերի նույնությունը: Բեռների միջև ջերմաստիճանների տարբերությունը փոքր է $0,01^\circ\text{C}$ -ից, ընդ որում, չափող բեռը տաքանում է կլանված ԳԲՀ ճառագայթից, իսկ համեմատող բեռը՝ հոսանքի աղբյուրից: Նկարագրված հզորության չափիչը կարող է կիրառվել զգայուն և ճշգրիտ հզորության չափիչներ պատրաստելիս ինչպես միլիմետրային, այնպես էլ ԻԿ տիրույթի ալիքների համար:

Առանցքային բառեր. երկբևեռ տրանզիստոր, p-n անցում, ժամանակային տարանջատում, ճշտություն, չափող բեռ, համեմատող բեռ:

R.H. SIMONYAN, A.G. GHULYAN, A.A. SANOYAN, R.M. KIRAKOSYAN

HIGH-ACCURACY POWER METER IN MILLIMETER-WAVE AND IR RANGES

Millimeter-wave and infrared range incident power meter, providing absorbed power measurement from lower limit $0,1 \times 10^{-3}\text{W}$, with 1% accuracy is described. The distinguishing feature is that reference load is heated by a single transistor combining the functions of temperature meter and heater. This fact makes measurement and reference loads identical in their thermal parameters. As a result, the reference load is heated from power supply. The developed device may find application in high-accuracy wattmeter development in millimeter and IR parts of radiation spectrum.

Keywords: bipolar transistor, p-n transition, time-sharing, accuracy, measurement load, reference load.