

ИЗМЕРЕНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ МОЩНОСТИ НА СВЧ

И. Г. Рубан

К р а с н о д а р

Нестабильность мощности — один из важных параметров, характеризующих качество источников СВЧ колебаний; для измерительных СВЧ генераторов она является нормируемой величиной [1].

Измерение нестабильности опорного уровня мощности измерительных СВЧ генераторов осуществляется обычно по ком-

пенсационной схеме методом двух отсчетов с помощью детекторной головки и фотокомпенсационного микроамперметра типа Ф116/2 [1]. При таком методе измерения необходимо соблюдать высокие требования к стабильности элементов, входящих в схему. Однако нестабильность СВЧ диодов техническими условиями не нормируется, экспериментальные усредненные данные об этой характеристике диодов также отсутствуют. Существенными недостатками такой методики измерения являются потери части информации из-за дискретности измерения и значительная частотная зависимость СВЧ диодов, не позволяющая измерять приращения мощности генераторов при изменении частоты генерации [2].

С целью нормирования погрешности измерения схемы проведены экспериментальные исследования стабильности диода типа Д603, широко используемого в СВЧ измерительной технике.

При испытаниях температура окружающей среды диодов за время измерения их нестабильности поддерживалась постоянной с погрешностью не более $0,05^{\circ}\text{C}$. Измерения производились с помощью потенциометра класса 0,001 типа Р345, причем нормальные элементы класса 0,005 находились в активном гермостате с точностью поддержания температуры $0,03^{\circ}\text{C}$.

Обследовались десять экземпляров диодов при токах смещения 10 и 100 $\mu\text{ка}$. Измерения производились через каждые 15 минут по восемь часов в день в течение пяти дней. Обработка результатов измерений показала, что нестабильность диодов для этих токов смещения практически не отличается и не превышает 0,43% за каждые 15 минут, 0,66% за 30 минут и 1,6% за восемь часов.

Исследовалась возможность измерения нестабильности СВЧ мощности с помощью детекторной головки (ДГ) и серийного измерителя нестабильности напряжений постоянного тока типа В8-1, обеспечивающего регистрацию нестабильности на диаграммной бумаге встроенного самопишущего индикатора [3]. Для использования линейной шкалы нуль-органа прибора В8-1 необходимо, чтобы независимо от уровня исследуемой мощности детектор работал в квадратичном режиме, т. е. при мощности, не превышающей 10 мкВт [4]. С этой целью на входе прибора установлен переменный аттенюатор. Минимальный уровень исследуемого напряжения прибора В8-1 равен 100 мВ , поэтому между детекторной головкой и прибором В8-1 установлен усилитель постоянного тока с преобразованием на интегральных микросхемах 1КТ011А, 1УТ221Б, 1УТ401Б. Приведенные ко входу усилителя дрейф, температурный коэффициент и уровень шумов не превышают соответственно 0,2 $\text{мкВ}/^{\circ}\text{C}$, 0,4 $\text{мкВ}/^{\circ}\text{C}$, 0,3 мкВ .

Блок-схема измерителя нестабильности показана на рис. 1 (пунктиром выделены элементы схемы прибора В8-1).

Показания нуль-органа прибора В8-1, пропорциональные нестабильности СВЧ мощности, определяются для этой схемы соотношением

$$\alpha_{\text{но}} = \left[P_x \prod_1^n k_i (1 + H_p) - E_0 \right] k_{\text{но}}, \quad (1)$$

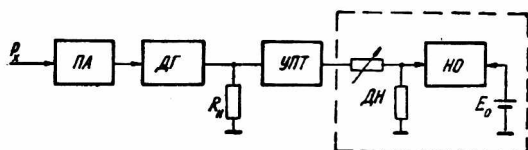


Рис. 1. Измеритель нестабильности СВЧ мощности на ДГ:

ПА — переменный аттенюатор; ДГ — детекторная головка; R_n — нагрузка детекторной головки; УПТ — усилитель постоянного тока; ДН — делитель напряжений; НО — нуль-орган; E_0 — источник опорного напряжения.

где $\prod_1^n k_i = k_{\text{па}} k_{\text{дг}} k_{\text{упт}} k_{\text{дн}}$ — коэффициент передачи тракта измерителя нестабильности от входа до схемы сравнения, определяемый коэффициентами передачи переменного аттенюатора ПА, детекторной головки ДГ, усилителя постоянного тока УПТ, входного делителя прибора В8-1 ДН;

$H_p = \frac{\Delta P_x}{P_x}$ — нестабильность СВЧ мощности;

$k_{\text{но}}$ — коэффициент усиления нуль-органа прибора В8-1.

Измерение нестабильности СВЧ мощности возможно также с помощью микроваттметров или их модификации [5].

Из числа отечественных микроваттметров наиболее широко известен прибор М4-1. Взамен его разработан и осваивается в настоящее время в серийном производстве термисторный микроваттметр МЗ-22. Для снижения влияния температуры окружающей среды в приборе применена термокомпенсация по дополнительному термистору, идентичному с рабочим. Используются также термисторные головки М5-38, М5-50.

В работе [5] показано, что при измерении нестабильности мощности ряд погрешностей, характерных для микроваттметров, отсутствует или в значительной мере компенсируется. В частности, отсутствуют погрешности за счет рассогласования (если оно неизменно за время измерения), за счет не-

точности аттестации термисторных головок по коэффициенту преобразования и т. п.

Наиболее важными факторами, определяющими точность измерения нестабильности, являются дрейф показаний прибора и его температурная погрешность. С целью определения реальных возможностей прибора МЗ-22 в режиме измерения нестабильности к внешним клеммам «Самописец» микроваттметра, на которые выведено падение напряжения на резисторе в цепи тока компенсации, был подключен измеритель нестабильности постоянного тока В8-5. Абсолютное и относительное значения нестабильности в том случае определяются выражениями

$$\Delta P_x = \frac{P_0 \Delta U}{U_0} \text{ мквт}; \quad H_p = 4,34 \frac{\Delta U}{U_0} \text{ дб},$$

где P_0 — начальный уровень исследуемой мощности, мквт, отсчитанный на шкале прибора МЗ-22;

ΔU — измерение напряжения, отсчитанное по диаграммной бумаге или по шкале нуль-органа прибора В8-5, в;

U_0 — начальный уровень напряжения, соответствующий начальному уровню мощности и отсчитанный по лимбам прибора В8-5, в.

В результате длительных экспериментальных исследований установлено, что дрейф микроваттметра МЗ-22 за любой пятнадцатиминутный интервал близок к 1 мквт, что хорошо согласуется с материалами работы [5].

Представляется перспективным использование для измерения нестабильности постоянного тока термоэлектрических преобразователей (ТЭП) типа М5-51, М5-56 [3], отличающихся высокой временной и температурной стабильностью параметров.

Чувствительность термоэлектрических головок М5-51 — М5-56 равна 1 мв/мвт.

Блок-схема такого измерителя нестабильности показана на рис. 2 (пунктиром выделены элементы схемы измерителя нестабильности постоянного тока).

Показания нуль-органа, пропорциональные нестабильности СВЧ мощности, определяются выражением, аналогичным (1):

$$\alpha_{\text{НО}} = [P_x k_{\text{ТЭП}} k_{\text{УПТ}} k_{\text{ДН}} (1 + H_p) - E_0] k_{\text{НО}},$$

где $k_{\text{ТЭП}}$, $k_{\text{УПТ}}$, $k_{\text{ДН}}$ — коэффициенты передачи термопреобразователя, усилителя постоянного тока, делителя напряжения соответственно.

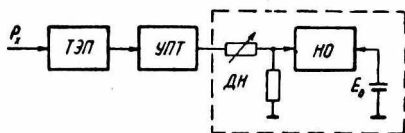


Рис. 2. Измеритель нестабильности СВЧ мощности на ТЭП.

Абсолютная погрешность измерения описанных схем измерителей нестабильности СВЧ мощности складывается из погрешности преобразователей и погрешности измерителя нестабильности напряжений постоянного тока

$$\Delta H_p = [\Delta \Pi_p + 4,34 \cdot 10^{-4} \delta A], \text{ дб},$$

где $\Delta \Pi_p$ — абсолютная погрешность преобразователя, дб;
 δ, A — приведенная погрешность и предел измерения, соответственно, измерителя нестабильности напряжений постоянного тока, %.

Результаты расчета относительной погрешности измерения нестабильности за 15 минут приведены в табл. 1, 2, 3.

Измеритель нестабильности на ДГ Таблица 1

$H_r, \text{ дб}$	0,02	0,1	0,2	0,5	1,0
$\delta\%$	100	25	13	7	5

Измеритель нестабильности на МЗ-22 Таблица 2

$H_r, \text{ дб}$	0,02	0,1	0,2	0,5	1,0	
$\delta\%$	$P_x=100 \text{ мквт}$	100	75	40	17	10
	$P_x=1000 \text{ мквт}$	37	11	6,5	5,5	5

Измеритель нестабильности на ТЭП Таблица 3

$H_r, \text{ дб}$	0,02	0,1	0,2	0,5	1,0	
$\delta\%$	$P_x=100 \text{ мквт}$	65	17	11	7	5
	$P_x=1000 \text{ мквт}$	15	5	5	5	5

В результате анализа этих данных можно сделать следующие выводы:

детекторные головки можно использовать для измерения с приемлемой точностью ($\geq 25\%$) при нестабильности 0,1 дб и более;

микроваттметр МЗ-22 совместно с серийными измерителями нестабильности напряжений постоянного тока (В8-1, В8-3, В2-13, В8-5) может быть использован для измерения нестабильности мощности с приемлемой точностью при уровнях мощности 1 мвт и выше;

термоэлектрические головки типа М5-51, М5-56 совместно с измерительными усилителями и теми же измерителями нестабильности напряжений постоянного тока могут быть использованы для измерения нестабильности СВЧ мощности с достаточной точностью при уровнях мощности 100 мквт и более; при мощности 1 мвт погрешность схемы практически не зависит от параметров УПТ и ТЭП и близка к погрешности измерителя нестабильности напряжений постоянного тока.

В заключение следует отметить, что более перспективным методом, позволяющим существенно снизить влияние дрейфа и температурных изменений параметров элементов схемы на погрешность измерения, является метод периодического сравнения [6]. Но из-за отсутствия в настоящее время исходных экспериментальных данных, к сожалению, не представляется возможным провести анализ метрологических возможностей таких схем измерителей нестабильности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Генераторы сигналов измерительные с коаксиальным выходом. ГОСТ 14126—69.
2. Генераторы сигналов измерительные. Перечень параметров. ГОСТ 9788—69.
3. «Радиоизмерительные приборы». Каталог-проспект, НИИЭИР, М., 1971.
4. Э. Л. Гинзтон. Измерение на сантиметровых волнах. ИЛ, М., 1960.
5. А. Н. Шаманский. Об измерении нестабильности уровня СВЧ мощности. «Вопросы радиоэлектроники, серия радиоизмерительная техника», вып. 8, 1970.
6. П. П. Орнатский и др. Анализ возможностей измерительных приборов периодического сравнения. «Изв. вузов, Радиотехника», 1966, № 3.