

Калибровка эталонного источника мощности 1 мВт 50 МГц

Хок Енг (Hock Eng), Agilent Technologies

Описывается процедура измерения и калибровки эталонного источника измерителя мощности (Agilent N432A). Представлен пошаговый ход выполнения операций с помощью измерителя мощности с термисторным датчиком, в результате чего, применяя основной статистический метод определения полной погрешности измерений, оценивают погрешность или предполагаемую ошибку измерения.

ВВЕДЕНИЕ

Высокочастотные измерители мощности являются весьма важным и необходимым инструментом при разработке радиопередающих устройств и другой ВЧ-аппаратуры. Именно поэтому измерение мощности или проверка эталонного источника мощности 1 мВт (0 дБм) 50 МГц является одной из ключевых задач при ежегодном обслуживании или калибровке ВЧ-измерителей мощности. В калибровочных лабораториях инженеры проводят калибровку и измерение эталонной мощности для оценки точности работы измерительных приборов. Иными словами, поддержание точности и

единства измерения мощности эталонного сигнала опосредованно минимизирует погрешность измерений с помощью измерителей мощности.

Все существующие ВЧ-измерители мощности, некоторые показаны на рисунке 1, имеют встроенный источник эталонной мощности, который иногда называют просто эталонным калибратором. Чтобы гарантировать точность измерения мощности, следует выполнить обнуление и калибровку перед любым прямым измерением мощности с помощью измерителя и датчика. Датчик мощности подключается к эталонному источнику для того, чтобы все поправки в соответствии с калибро-

вочным коэффициентом измерителя мощности (соединённым с датчиком мощности) были привязаны к источнику 1 мВт 50 МГц.

Эталонный источник 1 мВт, как правило, имеет очень малую погрешность, лежащую в диапазоне от $\pm 0,5$ до $\pm 0,9\%$. Поэтому, для того чтобы измерить эталонную мощность, используются более точные измеритель мощности и датчик, например, измеритель мощности с термисторной головкой [1].

СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ЭТАЛОННОГО ИСТОЧНИКА 1 мВт 50 МГц

На рисунке 2 представлена типовая схема измерения мощности эталонного калибратора с помощью измерителя мощности с термисторным датчиком. В качестве измерителя мощности здесь используется Agilent N432A (см. рис. 3) [5] и [2]. Для измерения напряжения постоянного тока ($V_{\text{комп}}$ и $V_{\text{вч}}$), поступающего с выхода измерителя мощности, используется цифровой мультиметр 3458A [3]. Подобная схема широко применяется в калибровочных или метрологических лабораториях в силу её высокой точности и воспроизводимости.

Специально изготовленная термисторная головка (см. рис. 4) обеспечивает эталонное измерение мощности с очень низким рассогласованием, т.е. с низким значением коэффициента стоячей волны (КСВ) на частоте 50 МГц. Низкий КСВ на 50 МГц необходим для снижения погрешности измерения за счёт рассогласования, т.е. возникновения отражённой волны в точке подсоединения термисторной головки к эталонному калибратору испытываемого измерителя мощности. Известно, что ошибки рассогласования могут существенно влиять на общую погрешность измерения. Характерным примером таких специальных термисторных головок являются устройства Agilent 478A (с опцией H75 или H76) или 8478B (с опцией H01). КСВ этих головок на частоте 50 МГц менее 1,05, в то время как обычные термисторы могут иметь типичное значение КСВ до 1,3.



Рис. 1. Выход источника эталонного сигнала 1 мВт (0 дБм) 50 МГц из измерителях мощности



Рис. 2. Типовая схема измерений эталонной мощности 1 мВт 50 МГц [2]



Рис. 3. Измеритель мощности Agilent N432A (набор)



Рис. 4. Специальные термисторные головки, обладающие низким КСВ на частоте 50 МГц

ПОШАГОВАЯ ПРОЦЕДУРА ИЗМЕРЕНИЯ ЭТАЛОННОЙ МОЩНОСТИ

- Соберите измерительную схему в соответствии с рисунком 2.
- Установите на цифровом мультиметре 3458A режим измерения напряжения постоянного тока.
- Включите измеритель мощности N432A и испытуемый измеритель мощности и дайте им прогреться по меньшей мере 30 минут.
- Обнулите N432A (убедитесь, что эталонный источник испытуемого измерителя выключен).
- Округлите показания цифрового мультиметра до двух знаков после запятой и запишите это значение как V_0 . Это напряжение, измеренное между разъёмами $V_{\text{комп}}$ и $V_{\text{вч}}$, когда ВЧ-мощность не была включена (эталонный калибратор был выключен).
- Включите эталонный источник испытуемого измерителя мощности.
- Округлите показания цифрового мультиметра до двух знаков после запятой и запишите это значение как V_1 (типовое значение 80 мВ). V_1 – это напряжение, измеренное между разъёмами $V_{\text{комп}}$ и $V_{\text{вч}}$, когда эталонный калибратор был включён.
- Отсоедините кабель, идущий к отрицательному входу цифрового мультиметра, от разъёма $V_{\text{вч}}$ на N432A и подсоедините его к разъёму заземления N432A.
- Запишите показания цифрового мультиметра как $V_{\text{комп}}$ (типовое значение 4,8 В). $V_{\text{комп}}$ – это напряжение температурной компенсации измерительного моста.
- Вычислите мощность эталонного генератора с помощью формулы 1. Типовое значение R составляет 200 Ом. Калибровочный коэффициент CF для термисторной головки на частоте 50 МГц принимается равным 0,99.
- Ожидаемый результат вычислений должен составлять 1 мВт $\pm 0,9\%$ [4].

$$P = \frac{2 \times V_{\text{комп}} \times (V_1 - V_0) + V_0^2 - V_1^2}{4 \times R \times CF} \quad (1)$$

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ

Погрешность при измерении мощности эталонного калибратора, равной 1 мВт, определяется по формуле 2 [4], которая получена из формулы 1 добав-

Сводная таблица погрешностей измерения

Составляющие погрешности	Единицы измерения	Значение	Пределы	Вклад в погрешность (стандартная погрешность \times чувствительность)
Измерение напряжения $V_{\text{комп}}$	В	4,8	$\pm 0,00003845$	$4,67 \times 10^{-9}$
Измерение напряжения V_1	В	0,080	$\pm 0,00000098$	$6,77 \times 10^{-9}$
Измерение напряжения V_0	В	0,0023	$\pm 0,00000032$	$-2,23 \times 10^{-9}$
Измерение сопротивления моста, R	Ом	200	$\pm 0,00250$	$-7,35 \times 10^{-9}$
CF (калибровочный коэффициент)	Безразмерная величина	0,99	$\pm 0,004$ (откалибровано в метрологической лаборатории)	$-2,06 \times 10^{-9}$
M (погрешность рассогласования)	Безразмерная величина	1,00	$\pm 0,00142$ ($2 \times \Gamma_s \times \Gamma_d$)	$-1,02 \times 10^{-9}$
Корень квадратный из суммы квадратов				$2,29 \times 10^{-6}$
Коэффициент запаса $k = 2$ при вероятности 95%				2
Ожидаемая погрешность				$4,59 \times 10^{-6}$
Ожидаемая погрешность в % относительно 1 мВт				0,4597

лением множителя M в знаменателе дроби, учитывающего рассогласование при передаче сигнала от калибратора на испытуемом измерителе мощности к термисторной головке.

$$P = \frac{2 \times V_{\text{комп}} \times (V_1 - V_0) + V_0^2 - V_1^2}{4 \times R \times CF \times M} \quad (2)$$

Множитель M представляет собой максимальную (для наихудшего случая) погрешность рассогласования между испытуемым калибратором и термисторной головкой. Его можно представить в виде $(1 \pm 2 \times \Gamma_s \times \Gamma_d)$, где Γ_s – это коэффициент отражения от эталонного источника, а Γ_d – это коэффициент отражения от термисторной головки.

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ

Как правило, оценка погрешности измерения мощности осуществляется с помощью сводной таблицы погрешностей. Оценка начинается со сбора всех величин, входящих в формулу. В нашем случае это $V_{\text{комп}}$, V_0 , V_1 , R , CF , M . После определения всех членов, извлекается квадратный корень из суммы их квадратов. В таблице приведён реальный пример определения погрешности измерения эталонной мощности 1 мВт на основе схемы, представленной на рисунке 2. Содержание было несколько сокращено для того, чтобы обратить внимание на отдельный вклад каждого множителя в формуле 2. Дополнительная информация изложена в Рекомендациях по применению Agilent 1449-3 [2] и [5]. Из таблицы следует, что полная погрешность измерения с помощью измерителя мощности N432A и термисторного датчика составляет 0,46%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измеритель мощности с термисторным датчиком имеет высокую точность и надёжность. На протяжении многих лет его используют для измерения и калибровки эталонных источников 1 мВт 50 МГц, встроенных в измерители ВЧ-мощности. Это позволяет обеспечить единство измерений.

Измерители мощности со специальной термисторной головкой, описанные в примере определения погрешности измерения мощности, обеспечивают очень низкую погрешность, равную приблизительно 0,5%. Из приведённого выше описания реального примера становится ясно, что наибольший вклад в эту величину вносят ошибка рассогласования и калибровочный коэффициент CF . Таким образом, для поддержания низкого значения погрешности за счёт рассогласования следует использовать термисторный датчик со сверхнизким коэффициентом отражения. А что касается погрешности за счёт CF , то существует одна возможность сохранения высокой стабильности, низкой погрешности и минимального дрейфа датчика – откалибровать его в метрологической лаборатории.

ЛИТЕРАТУРА

- Алан Фантом (Alan Fantom). IEEE. Измерение ВЧ- и СВЧ-мощности.
- Руководство эксплуатации измерителя мощности Agilent N432A.
- Джо Карр (Joe Carr). Измерение ВЧ-мощности. Electronic World. Ноябрь 1999 г.
- Руководство по обслуживанию Agilent EPM-P E4416/17A.
- Основные рекомендации компании Agilent по проведению измерений ВЧ- и СВЧ-мощности. Рекомендации по применению 1449-3.

