

МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ ДИОДНЫХ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

к.т.н. ¹Николаенко В.Л., ²Николаенко О.С., ³Пачинин В.И.

¹Белорусский национальный технический университет, Минск

²УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», Минск

³УО «Институт информационных технологий БГУИР», Минск

Настоящая методика калибровки (далее – МК) распространяется на диодные и термоэлектрические первичные измерительные преобразователи мощности в диапазоне частот 10 МГц – 18 ГГц (далее – преобразователи мощности) и устанавливает содержание и методику проведения калибровки этих устройств.

МК разработана в соответствии с требованиями ТКП 8.014-2012 [1].

Целью разработки данной МК является определение действительных значений метрологических характеристик измерителей мощности и подтверждение достоверности результатов измерений, проводимых с помощью этих устройств.

При проведении калибровки должны быть выполнены следующие операции:

подготовка к калибровке; проведение калибровки; внешний осмотр; опробование; определение метрологических характеристик (определение коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН), определение коэффициента эффективности); обработка результатов измерений; оформление результатов калибровки.

Эталонные и вспомогательные средства калибровки должны быть исправны и иметь действующие клейма и (или) свидетельства о прохождении поверки (калибровки).

Условия эксплуатации средств калибровки должны соответствовать условиям калибровки.

К работе с преобразователями мощности допускаются лица, прошедшие инструкцию по технике безопасности при работе с электро- и радиоизмерительными приборами и имеющие квалификацию калибровщика электронных средств измерений.

Перед включением преобразователей мощности должны быть выполнены требования раздела «Меры безопасности» руководства по эксплуатации преобразователей мощности.

При проведении калибровки должны соблюдаться следующие нормальные условия:

- температура окружающего воздуха (20 ± 5) С;
- относительная влажность воздуха (65 ± 15) %;
- атмосферное давление (100 ± 4) кПа;
- напряжение питающей сети (230 ± 23) В;
- частота питающей сети ($50 \pm 0,5$) Гц.

В помещении, в котором находится преобразователь мощности, не должно быть вибраций, сотрясений, сильных электрических и магнитных полей, которые могут повлиять на результаты измерений.

Перед проведением калибровки должны быть выполнены подготовительные работы, оговоренные в разделе «Подготовка к работе» руководства по эксплуатации преобразователя мощности.

При проведении внешнего осмотра должно быть проверено:

– комплектность преобразователя мощности согласно разделу «Состав» формуляра;

– отсутствие механических повреждений корпуса, соединительных элементов по причине некачественного упаковывания и неправильного транспортирования;

- наличие и прочность крепления коммутации, четкость фиксации их положения, наличие плавких вставок;
- чистота гнезд, разъемов и клемм;
- состояние соединительных кабелей;
- состояние лакокрасочных покрытий и четкость маркировок;
- отсутствие отсоединившихся или слабо закрепленных элементов внутри преобразователя мощности (определить на слух при наклонах преобразователя мощности).

При обнаружении отклонений от вышеперечисленных требований исследования прекращаются до их устранения.

Опробование работы преобразователя мощности производится в соответствии с пунктом «Подготовка к проведению измерений» руководства по эксплуатации преобразователя мощности для оценки его исправности без применения средств калибровки. Определение КСВН. Для этого необходимо собрать схему, приведенную на рисунке 1.

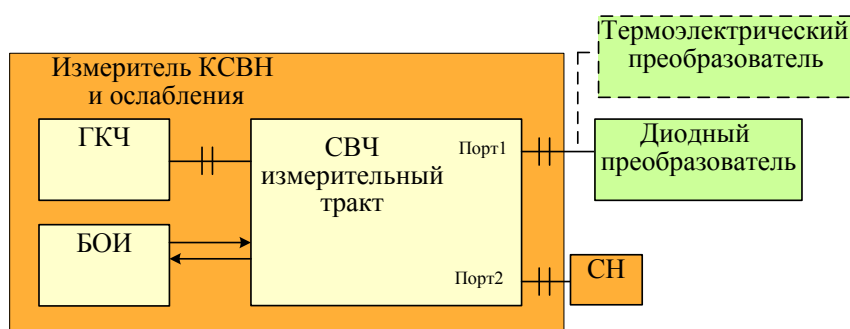


Рис. 1. Схема калибровки преобразователей мощности при определении КСВН входа, где ГКЧ – генератор качающейся частоты; БОИ – блок обработки и индикации; СВЧ измерительный тракт – сверхвысокочастотный измерительный тракт; СН – согласованная нагрузка

Подготовить средства измерений к работе согласно техническим описаниям и инструкциям по эксплуатации на них.

Используя информацию о входной величине, приведенную в руководстве по эксплуатации применяемого измерителя КСВН определить КСВН. Количество наблюдений должно быть не менее 5.

Обработка полученных результатов производится в следующей последовательности [2].

Модель измерения для определения расширенной неопределенности результата измерения КСВН:

$$K_{CTU} = K_{CTUu} + \Delta_{\text{эт}} + \Delta_{\text{рас}} \quad (1)$$

Где: K_{CTU} – действительное значение КСВН входа преобразователя поглощаемой мощности, отн. ед.;

K_{CTUu} – показание применяемого измерителя КСВН, отн. ед.;

$\Delta_{\text{эт}}$ – поправка, обусловленная ограниченной точностью применяемого измерителя КСВН в реальных условиях эксплуатации, отн. ед.;

$\Delta_{\text{рас}}$ – поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте при измерениях с измерителем КСВН, отн. ед.

Проведем анализ входных величин. Для величины показание применяемого измерителя КСВН получают n независимых наблюдений в одинаковых условиях измерения. Способ оценки стандартной неопределенности – по типу А. Распределение величины – нормальное. Оценивание стандартной неопределенности может основываться на любых методах статистической обработки данных.

Оценка величины определяется как среднее арифметическое значение или среднее из n наблюдений по формуле

$$K_{CTUu} = \sum_{i=1}^n \frac{K_{CTUui}}{n} \quad (2)$$

где K_{CTUui} – результат i -го наблюдения при калибровке измерителя КСВН, отн. ед.;
 n – число наблюдений.

Стандартная неопределенность $u(K_{CTUu})$, связанная с оценкой, определяется как стандартное отклонение среднего значения по формуле

$$u(K_{CTUu}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(K_{CTUui} - K_{CTUu})^2}{n(n-1)}}. \quad (3)$$

Поправка, обусловленная ограниченной точностью применяемого измерителя КСВН в реальных условиях эксплуатации $\Delta_{\text{эт}}$. Способ оценки стандартной неопределенности – по типу В. Источником информации о входной величине служат данные, приведенные в свидетельстве о калибровке (стандартную неопределенность $u(\Delta_{\text{эт}})$, связанную с оценкой получают делением приведенной в свидетельстве о калибровке неопределенности на соответствующий коэффициент охвата) или данные, приведенные в свидетельстве о поверке, руководстве по эксплуатации применяемого измерителя КСВН (стандартную неопределенность получают делением величины интервала, в котором находится значение входной величины на $\sqrt{3}$).

Поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте $\Delta_{\text{рас}}$. Способ оценки стандартной неопределенности – по типу В. Распределение величины – арксинусоидальное. Оценка величины равна 0.

Границы отклонений для величины определяется по формуле

$$\Delta_{\text{рас}} = 1 \pm 2 \cdot |\Gamma_x| \cdot |\Gamma_{\text{сн}}|, \quad (4)$$

где Γ_x – коэффициент отражения выхода калибруемого преобразователя поглощаемой мощности, отн. ед.;

$\Gamma_{\text{сн}}$ – коэффициент отражения согласованной нагрузки, отн. ед.

Стандартную неопределенность $u(\Delta_{\text{рас}})$ получают делением величины интервала, в котором находится значение входной величины на $\sqrt{2}$.

Входные величины рассматриваются как некоррелированные. Коэффициенты чувствительности равны 1 для каждой входной величины.

Суммарная стандартная неопределенность вычисляется по формуле

$$u_c(K_{CTU}) = \sqrt{(1 \cdot u(K_{CTU_u}))^2 + (1 \cdot u(\Delta_{\text{эт}}))^2 + (1 \cdot u(\Delta_{\text{рас}}))^2}. \quad (5)$$

Расширенная неопределенность вычисляется по формуле

$$U_{K_{CTU}} = k \cdot u_c(K_{CTU}). \quad (6)$$

При нормальном законе распределения для уровня доверия $P = 95\%$ коэффициент охвата $k = 2$, а для $P = 99\%$ $k = 3$. При равномерном законе распределения для уровня доверия $P = 95\%$ коэффициент охвата $k = 1,65$, а для $P = 99\%$ $k = 1,71$.

Полный результат измерения состоит из оценки измеряемой величины K_{CTU} и соответствующей ей расширенной неопределенности $U_{K_{CTU}}$ и представляется в виде: $K_{CTU} \pm U_{K_{CTU}}$ (отн. ед.).

Составляется бюджет неопределенности для обобщения и наглядного представления всей полученной информации.

Для определения коэффициента эффективности необходимо собрать схему, приведенную на рисунке 2.

Обработка результатов измерений состоит в оценке значения измеряемой физической величины и неопределенности результата измерения – параметра, характеризующего дисперсию значений, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине.

При калибровке с помощью измерителя проходящей мощности методом непосредственного сличения, в случае, если эталонный измеритель мощности отградуирован в значениях проходящей мощности, калибруемый преобразователь в значениях поглощаемой мощности, коэффициент эффективности определяется по формуле

$$K_{\text{эф}} = \frac{P_x}{K_{K_{\text{эт}}} \cdot P_{\text{эт}}} \cdot \Delta_{\text{рас}_{x,\text{эт}}}, \quad (7)$$

где $K_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности калибруемого преобразователя поглощаемой мощности, отн. ед.;

$K_{K_{\text{эт}}}$ – калибровочный коэффициент эталонного измерителя проходящей мощности на частоте калибровке в реальных условиях эксплуатации, отн. ед.;

P_x – показание калибруемого преобразователя поглощаемой мощности, мВт;

$P_{\text{эт}}$ – показание эталонного измерителя проходящей мощности, мВт;

$\Delta_{\text{рас}_{x,\text{эт}}}$ – поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте, отн. ед.

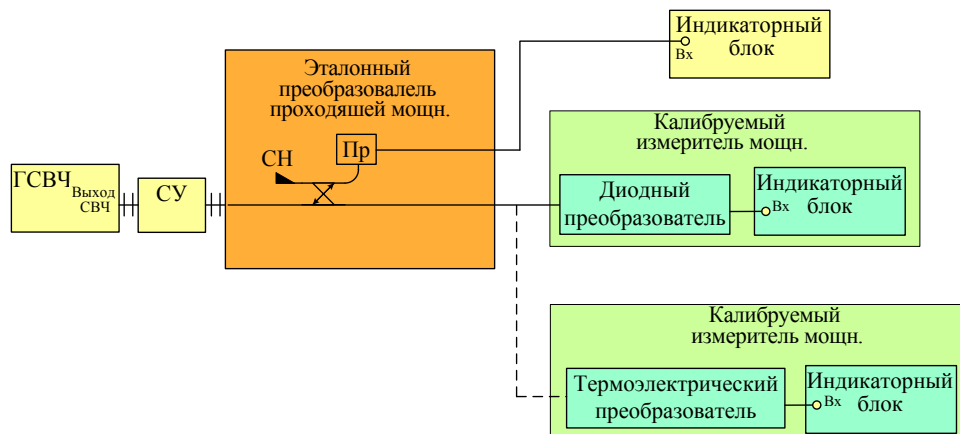


Рис. 2. Схема калибровки преобразователя мощности при определении коэффициента эффективности методом непосредственного сличения, где ГСВЧ – генератор сигналов сверхвысокой частоты; СУ – согласующее устройство; СН – согласованная нагрузка

Проведем анализ входных величин. Калибровочный коэффициент эталонного измерителя проходящей мощности $K_{K_{\text{эт}}}$. Способ оценки стандартной неопределенности – по типу В.

Источником информации о входной величине служат данные, приведенные в свидетельстве о калибровке (стандартную неопределенность $u(K_{K_{\text{эт}}})$, связанную с оценкой получают делением приведенной в свидетельстве о калибровке неопределенности на соответствующий коэффициент охвата) или данные, приведенные в свидетельстве о поверке, руководстве по эксплуатации эталонного измерителя мощности (стандартную неопределенность получают делением величины интервала, в котором находится значение входной величины на $\sqrt{3}$).

Для величин показания преобразователя и измерителя мощности P_x , $P_{\text{эт}}$ получают n независимых наблюдений в одинаковых условиях измерения. Способ оценки стандартной неопределенности – по типу А. Распределение величины – нормальное. Оценивание стандартной неопределенности может основываться на любых методах статистической обработки данных. Оценкой величин будет среднее арифметическое значение или среднее из n наблюдений

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i, \quad (8)$$

где \bar{P} – оценка величины, мВт;

P_i – результат i -го наблюдения, мВт;

n – количество наблюдений.

Стандартные неопределенности, связанные с оценкой, определяются как стандартное отклонение среднего значения

$$u(P) = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}, \quad (9)$$

где $u(P)$ – стандартная неопределенность, мВт.

Поправка, обусловленная рассогласованием в измерительном тракте $\Delta_{\text{рас},x,\text{эт}}$. Способ оценки стандартной неопределенности – по типу В. Распределение величины – арксинусоидальное. Оценка величины равна 1.

Границы отклонений для величины определяется по формуле

$$\Delta_{\text{рас}} = 1 \pm 2 \cdot |\Gamma_x| \cdot |\Gamma_{\text{эт}}|, \quad (10)$$

где Γ_x – коэффициент отражения входа калибруемого преобразователя поглощаемой мощности, отн. ед.;

$\Gamma_{\text{эт}}$ – коэффициент отражения выхода эталонного измерителя проходящей мощности, отн. ед.

Стандартную неопределенность $u(\Delta_{\text{рас}})$ получают делением величины интервала, в котором находится значение входной величины на $\sqrt{2}$.

Входные величины рассматриваются как некоррелированные. Коэффициенты чувствительности для математической модели (7) рассчитываются по формулам

$$c_{K_{\text{эт}}} = -\frac{P_x}{K_{\text{эт}}^2 \cdot P_{\text{эт}}} \cdot \Delta_{\text{рас},x,\text{эт}}, \quad (11)$$

$$c_{P_x} = \frac{1}{K_{\text{эт}} \cdot P_{\text{эт}}} \cdot \Delta_{\text{рас},x,\text{эт}}, c_{P_{\text{эт}}} = -\frac{P_x}{K_{\text{эт}} \cdot P_{\text{эт}}^2} \cdot \Delta_{\text{рас},x,\text{эт}}, c_{\Delta_{\text{рас},x,\text{эт}}} = \frac{P_x}{K_{\text{эт}} \cdot P_{\text{эт}}}.$$

Суммарная стандартная неопределенность вычисляется по формуле

$$u_c(K_{\text{эф}}) = \sqrt{\left(c_{K_{\text{эт}}} \cdot u(K_{\text{эт}})\right)^2 + \left(c_{P_x} \cdot u(P_x)\right)^2 + \left(c_{P_{\text{эт}}} \cdot u(P_{\text{эт}})\right)^2 + \left(c_{\Delta_{\text{рас},x,\text{эт}}} \cdot u(\Delta_{\text{рас},x,\text{эт}})\right)^2} \quad (12)$$

Расширенная неопределенность вычисляется по формуле

$$U_{K_{\text{эф}}} = k \cdot u_c(K_{\text{эф}}). \quad (13)$$

Полный результат измерения состоит из оценки измеряемой величины $K_{\text{эф}}$, и соответствующей ей расширенной неопределенности $U_{K_{\text{эф}}}$ и представляется в виде: $K_{\text{эф}} \pm U_{K_{\text{эф}}}$ (отн. ед.).

Составляется бюджет неопределенности для обобщения и наглядного представления всей полученной информации.

Таким образом, предложенные математические модели и алгоритмы расчета неопределенностей позволяют проводить оценку результатов измерений при калибровке преобразователей мощности. Результаты калибровки регистрируются в протоколах и должны быть представлены в свидетельствах о калибровке (в соответствии с ТКП 8.014-2012). Положительные результаты калибровки оформляются нанесением калибровочной этикетки или оттиска калибровочного клейма на средство измерений и (или) записью эксплуатационные документы с выдачей свидетельств о калибровке. По отрицательным результатам калибровки выдается протокол или выписка из протокола, в котором указываются причины несоответствия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *ТКП 8.014-2012 Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Калибровка средств измерений. Правила проведения работ. – Введ. 2013–01–07. – Мн. : Изд-во стандартов, 2013. – 16 с.*
2. *Тихонова, Б. Н. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. Учебное пособие / Б. Н. Тихонова. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 374 с.*