

Метрологические характеристики калибраторов серий АТС и RTC были исследованы в процессе их испытаний для целей утверждения типа и при разработке рекомендаций по поверке средств измерений температуры. Эксперименты по воспроизведению кривых плавления галлия и индия в указанных калибраторах подтверждают возможность применения их в составе системы оперативного контроля стабильности эталонных и прецизионных термометров и для воспроизведения кривых плавления термометрических веществ. Суммарное время, достаточное для контроля стабильности одного термометра, включая охлаждение и нагрев мини-ячейки до начала фазового перехода, составило 90 мин. Предлагаемая система оперативного контроля стабильности термометров предназначена для поверочных и калибровочных лабораторий различных отраслей науки и техники, в которых применяются эталонные и прецизионные платиновые термометры сопротивления и микропроцессорные калибраторы температуры. Данная система демонстрировалась в рабочем режиме контроля стабильности индивидуально градуируемого платинового термопреобразователя сопротивления повышенной точности типа STS-100 с металлическим корпусом угловой формы на выставках «Метрология-2009» и «Метрология-2010».

## Л и т е р а т у р а

1. Походун А. И., Васильев Е. В. Новая международная температурная шкала МТШ-90 // Законодательная и прикладная метрология. 1992. № 1. С. 28—32.
2. Дополнительная информация к Международной температурной шкале 1990 г. (Supplementary information for the International Temperature Scale of 1990). Sevres: BIPM, 1990.
3. Иванова А. Г., Корякова О. Н., Походун А. И. Международное сличение по МПТШ-68 тройной точки галлия // Измерительная техника. 1987. № 7. С. 37—38.
4. ГОСТ Р 8.571—98. ГСИ. Термометры сопротивления платиновые эталонные 1-го и 2-го разрядов. Методика поверки.
5. Пат. 2334960 РФ. Малогабаритная ампула реперной точки для градуировки прецизионных термометров и термопреобразователей в калибраторах температуры твердотельными термостатами / Е. В. Васильев, А. А. Игнатов, А. Н. Бахарев // Изобретения. Полезные модели. 2008. № 27.
6. Пат. 79333 РФ. Система контроля стабильности эталонных и прецизионных термометров в процессе их эксплуатации / Е. В. Васильев, А. А. Игнатов, А. Н. Бахарев // Изобретения. Полезные модели. 2008. № 36.

Дата принятия 13.08.2010 г.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

621.317.322

## Особенности измерения переменного высокочастотного напряжения электронными вольтметрами

**В. В. КРЕСТОВСКИЙ, Г. П. ТЕЛИТЧЕНКО, В. И. ШЕВЦОВ**

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева, С.-Петербург, Россия, e-mail: V.I.Schevtsov@vniim.ru

*Рассмотрены особенности измерения переменного высокочастотного напряжения электронными вольтметрами для случаев, когда измеряемое переменное напряжение нормируется на входе пробника электронного вольтметра либо на входе специального проходного соединительного элемента, в который включен пробник вольтметра.*

**Ключевые слова:** электронный вольтметр, переменное напряжение.

*Peculiar properties of a.c. high frequency voltage measurement by electronic voltmeters are considered; for cases when measured a.c. voltage is determined at the input of the electronic voltmeter probe, or a.c. voltage is determined at the input of the special connecting element in which the voltmeter probe is plug in.*

**Key words:** electronic voltmeter, a.c. voltage.

Электрическое напряжение — скалярная величина, равная линейному интегралу напряженности электрического поля вдоль рассматриваемого пути [1]. Данное определе-

ние целиком справедливо лишь для стационарных электрических полей. Для переменного электромагнитного поля, особенно высоких и сверхвысоких частот, выбор произволь-

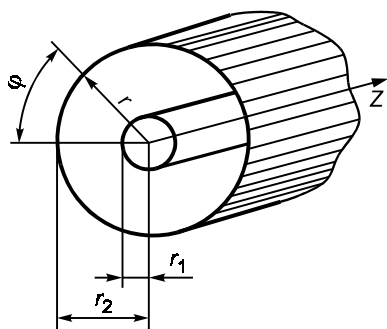


Рис. 1. Упрощенное изображение коаксиальной линии

поперечные электромагнитные (ТЕМ), поперечно-электрические (ТЕ) и поперечно-магнитные (ТМ) волны. Волна ТЕМ является основным типом волны, а волны ТЕ и ТМ — высшими типами волн. Упрощенное изображение коаксиальной линии приведено на рис. 1.

При условии выполнения неравенства  $\lambda \gg \pi(r_1 + r_2)$  в коаксиальной линии будет распространяться ТЕМ-волна [2]. Здесь  $\lambda$  — длина волны источника сигнала, а остальные величины приведены на рис. 1.

В случае ТЕМ-волн векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  лежат в поперечной плоскости. При этом структура поля в поперечной плоскости коаксиальной линии аналогична структуре стационарного электрического поля, и поэтому линейный интеграл напряженности электрического поля между двумя проводниками, взятый в поперечной плоскости, представляет переменное электрическое напряжение

$$\dot{U} = \int_{r_1}^{r_2} \vec{E}_r dr.$$

В диапазоне высоких и сверхвысоких частот у средств измерений переменного напряжения нормируют измеренное или воспроизведенное значения напряжения в поперечной плоскости, проходящей через контактную плоскость их входного и выходного коаксиального электрического соединителя, причем в качестве линии передачи используют коаксиальную линию.

Для измерения переменного высокочастотного напряжения применяют высокочастотные электронные вольтметры (ЭВ), например ВЗ-49, ВЗ-63, или ЭВ нового поколения В7-83, ВКЗ-78. Первичный диодный преобразователь ЭВ размещен в выносном пробнике с наружным диаметром 20 или 12 мм и внутренним диаметром 3 или 1 мм, соответственно. Пробник ЭВ не может быть непосредственно включен в коаксиальную линию в точку, где требуется измерять напряжение. Вследствие этого при измерении переменного высокочастотного напряжения пробник ЭВ включают в специальный проходной соединительный элемент (ПСЭ) с входным коаксиальным соединителем согласно стандарту [3]. Входной коаксиальный соединитель обеспечивает подключение ПСЭ к коаксиальной линии. Такой ПСЭ должен входить в комплект ЭВ. Исходя из изложенного выше напряжение, измеряемое электронным вольтметром, нормируют на входе либо пробника, либо ПСЭ.

Рассмотрим эти случаи подробнее.

1. Если измеряемое значение высокочастотного напряжения нормируют на входе пробника, то в соответствии с действующей государственной поверочной схемой [4] ЭВ применяют в качестве образцового средства измерений (ОСИ) — рабочего эталона 1-го и (или) 2-го разрядов для передачи единицы напряжения. В свою очередь, ЭВ — эталон (ОСИ) 1-го разряда — получает единицу от государственного вторичного эталона методом прямых измерений, при этом пробник ЭВ включают непосредственно в выходное гнездо эталонного преобразователя вторичного эталона. Поверку ОСИ 2-го разряда, в качестве которых применяют ЭВ или калибраторы — поверочные установки, обеспечивают при помощи ЭВ — эталона (ОСИ) 1-го разряда. Поверку ЭВ — эталона 2-го разряда — проводят методом непосредственного сличения с ЭВ — эталоном 1-го разряда. В этом случае пробники обоих ЭВ включают в тройниковый соединительный элемент (ТСЭ), у которого присоединительные размеры выходных гнезд, куда подключаются пробники ЭВ, должны быть такими же, как и присоединительные размеры выходного гнезда эталонного преобразователя вторичного эталона. Такой ТСЭ должен входить в комплект поставки ЭВ.

*Не допускается использовать какие-либо другие ТСЭ, так как изменение длины цанги выходного гнезда элемента, куда включается внутренняя часть пробника ЭВ, например только на 1 мм, вносит дополнительную частотную погрешность около 1,5 % на частоте 1000 МГц.*

2. Если измеряемое значение высокочастотного напряжения нормируют на входе ПСЭ, в который включен пробник ЭВ, то в этом случае ПСЭ имеет на входе и выходе коаксиальные соединители в соответствии с [3], причем входной соединитель обеспечивает подключение к измеряемому объекту, а к выходному соединителю подключена согласованная нагрузка, входящая в комплект поставки ЭВ. В области включения пробника ЭВ образуется суперпозиция падающих и отраженных волн напряжения, амплитудное значение которого зависит от параметров ПСЭ, пробника ЭВ и нагрузки. Поэтому приходится проводить индивидуальную градуировку электронного вольтметра по входу его ПСЭ, в процессе которой устанавливают связь между среднеквадратическим значением напряжения на входе ПСЭ и амплитудным значением напряжения на входе пробника ЭВ.

Эта связь однозначна при условии, что входной сигнал имеет форму «чистой» синусоиды. Однако при наличии гармонических составляющих в измеряемом сигнале появляется дополнительная погрешность. При измерении переменного высокочастотного напряжения отградуированным ЭВ необходимо, чтобы условия при измерении и градуировке были одинаковы, т. е. согласованная нагрузка должна быть неотъемлемой частью ПСЭ данного ЭВ. Схема соединения приборов при измерении выходного высокочастотного напряжения измерительного генератора при помощи отградуированного ЭВ приведена на рис. 2, где  $\dot{\Gamma}_1, \dot{\Gamma}_2$  — комплексные коэффициенты отражения выхода измерительного генератора и входа ПСЭ, соответственно. Так как на практике значения  $\dot{\Gamma}_1$  и  $\dot{\Gamma}_2$  не равны нулю, возникает дополнительная погрешность систематического характера, которую принято называть погрешностью рассогласования [5]:

$$\delta_p = \sqrt{\frac{1 + 2\Gamma_2 \cos \varphi_2 + \Gamma_2^2}{1 - 2\Gamma_1 \Gamma_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + \Gamma_1^2 \Gamma_2^2}}, \quad (1)$$

где  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  — модули и фазы комплексных коэффициентов отражения  $\dot{\Gamma}_1$  и  $\dot{\Gamma}_2$ , соответственно.

У электронных вольтметров, например ВЗ-49 и ВЗ-63, нормируют только модуль коэффициента стоячей волны по напряжению  $K_{стУ}$  входа ПСЭ, но никакой информации о фазе  $K_{стУ}$  не дается. Поэтому для случая наихудших фазовых соотношений выражение (1) можно преобразовать к виду

$$\delta_p = (1 \pm \Gamma_2) / (1 \mp \Gamma_1 \Gamma_2) \text{ или } \delta_p = (\pm \Gamma_2 \pm \Gamma_1 \Gamma_2). \quad (2)$$

Как следует из (2), наибольший вклад в значение погрешности рассогласования  $\delta_p$  вносит величина  $\Gamma_2$ . Однако в процессе градуировки электронного вольтметра по входу его проходного соединительного элемента влияние  $\Gamma_2$  учитывается, и при измерении высокочастотного напряжения таким ЭВ эта погрешность теперь будет определяться выражением

$$\delta_p = (\pm \Gamma_1 \Gamma_2).$$

В том случае, если измерения высокочастотного напряжения проводят на конкретной реальной нагрузке, включаемой вместо согласованной нагрузки (см. рис. 2), то  $\delta_p$  определяют из (2). Если потребитель имеет возможность измерить  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  на интересующих его частотах, то, используя (1), он может оценить поправку, так как  $\delta_p$  носит систематический характер, при этом погрешность определения поправки будет зависеть от погрешностей измерения значений  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

Обращаем внимание потребителей, что в эксплуатационной документации на ЭВ погрешность измерения высокочастотного напряжения указывают без учета погрешности  $\delta_p$ , которая часто бывает доминирующей. При определении суммарной погрешности измерения высокочастотного напряжения дополнительную погрешность  $\delta_p$  суммируют с

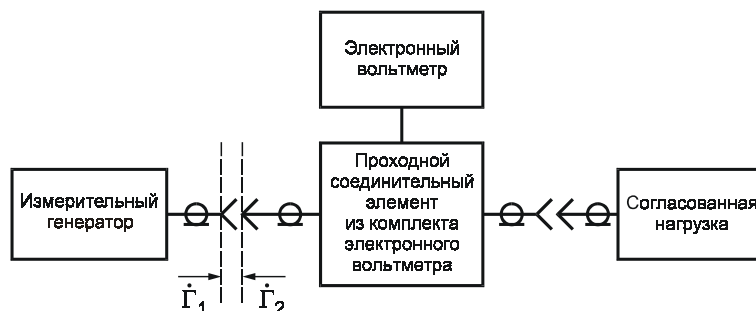


Рис. 2. Схема соединения приборов при измерении выходного высокочастотного напряжения при помощи отградуированного электронного вольтметра

погрешностью измерения арифметически, но с учетом весового коэффициента, который определяют по рекомендации, приведенной в [6].

## Л и т е р а т у р а

1. **ГОСТ Р 52002—2003.** Электротехника. Термины и определения основных понятий.
2. **Гольдштейн Л. Д., Зернов Н. В.** Электромагнитные поля и волны. М.: Сов. радио. 1971. С. 473—486.
3. **ГОСТ 13317—89.** Элементы соединения СВЧ-трактов радиоизмерительных приборов. Присоединительные размеры.
4. **ГОСТ Р 8.648—2008.** ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от  $1 \cdot 10^{-2}$  до  $2 \cdot 10^9$  Гц.
5. **Телитченко Г. П.** Система обеспечения единства измерений переменного электрического напряжения: состояние. СПб.: Изд-во гос. ун-та, 2002.
6. **Механиков А. И.** Оценка погрешности радиоизмерений на СВЧ в условиях априорной недостаточности // Измерительная техника. 1970. № 4. С. 71—73; **Mekhannikov A. I.** Evaluating UHF measurement errors under conditions which are known to be inadequate // Measurement Techniques. 1970. V. 13. N 4. P. 591—594.

Дата принятия 20.04.2010 г.