

УДК 621.317

К.Ю. Сахаров¹, В.А. Туркин¹, О.В. Михеев¹, А.В. Сухов¹, В.Н. Днищенко²¹ФГУП «Всероссийский НИИ оптико-физических измерений», Москва, Россия²НИПКИ «Молния» Национального технического университета «ХПИ», Харьков, Украина

ПОДГОТОВКА ГОСУДАРСТВЕННОГО СПЕЦИАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦ НАПРЯЖЕННОСТЕЙ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ С ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ФРОНТА ИМПУЛЬСОВ ДО 20 ПС (ГЭТ 178-2010) РОССИИ К СЛИЧЕНИЮ С НАЦИОНАЛЬНЫМ ЭТАЛОНОМ УКРАИНЫ

Проведен анализ составляющих неопределенности воспроизведения единиц напряженностей импульсного электрического и магнитного полей в Государственном первичном специальном эталоне России ГЭТ 178-2010. Расширенная неопределенность составила не более 6,5 %.

Ключевые слова: напряженность импульсного электромагнитного поля, эталон, неопределенность воспроизведения единиц.

Введение

В 2010 году в России утвержден Государственный первичный специальный эталон единиц напряженностей импульсных электрического и магнитного полей с длительностью фронта импульсов до 20 пс ГЭТ 178-2010. Эталон предназначен для метрологического обеспечения существующих и перспективных критических технологий, защиты жизнедеятельности населения и важных объектов от электромагнитных излучений, технологий обработки, хранения, передачи и защиты информации, базовых, критических специальных и промышленных технологий, а также позволит поддерживать единство измерений параметров сверхкоротких электромагнитных импульсов в разработках новых видов радиосвязи сверхширокополосной импульсной радиотехники, радиолокации высокого разрешения, электромагнитной совместимости в области импульсных электромагнитных полей.

В [1] представлены результаты разработки, создания и исследования амплитудно-временных характеристик эталона. Получены длительность фронта воспроизводимых импульсов поля между уровнями 0,1–0,9 от установившегося значения амплитуды около 15 пс, длительность воспроизводимых импульсов поля по уровню 0,5 от установившегося значения амплитуды не менее 1 нс, амплитуда импульсов напряженности электрического поля в рабочей зоне, пересчитанная на входное напряжение генератора 10 В, не менее 30 В/м, а магнитного поля не менее 75 мА/м. Общий вид эталонного комплекса показан на рис. 1

Эталон предназначен для воспроизведения единиц напряженностей импульсного электрического и магнитного полей (НИЭМП), при этом данные значения определяются в установившемся режиме

на вершине импульса поля и, таким образом, задача воспроизведения единиц сводится к определению максимального значения импульса генератора напряжения ТМГ1010 и расчета максимальных значений E_{\max} и H_{\max} в рабочей точке, исходя из геометрии полеобразующей системы.

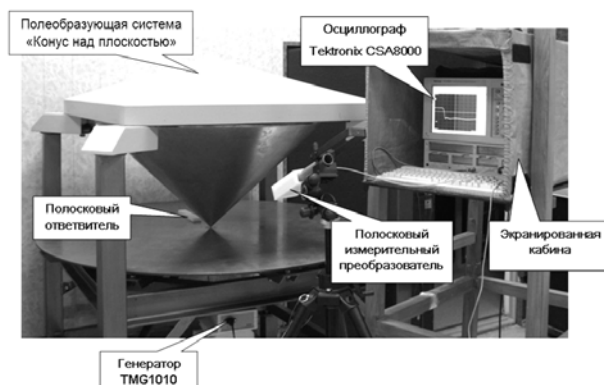


Рис. 1. Эталон ГЭТ 178-2010. Общий вид

Основная часть

В общем случае расчет поля может быть проведен по формулам из [2, 3], однако указанные выражения громоздки и трудно поддаются анализу составляющих неопределенности воспроизведения единиц. В данном случае целесообразно использовать простое соотношение из [4] и применить его для расчета влияния на неопределенности величин, входящих в формулы воспроизведения:

$$E_{\max} = \frac{60 \cdot V_{\Gamma}}{Z \cdot r \cdot \sin \theta}; \quad H_{\max} = \frac{E_{\max}}{120 \cdot \pi}, \quad (1)$$

где V_{Γ} – максимальное значение импульса генератора в установившемся режиме, возбуждающего полеобразующую систему; Z – волновое сопротивление конической линии этой системы; r – расстояние

(радиус-вектор) от вершины конуса до точки воспроизведения единиц; θ – угол между осью конуса и направлением г.

Анализ неопределенности воспроизведения указанных единиц эталонного комплекса сверхкоротких ЭМИ проведем в соответствии с рекомендациями [5]. Исходя из (1), будем рассматривать следующие составляющие: $u(\Theta_{V_i})$ – стандартную неопределенность измерения максимального значения импульса генератора в установившемся режиме на входе в полеобразующую систему; Θ_Z – границы отклонения волнового сопротивления конической линии полеобразующей системы от заданного; Θ_{r_0} – границы отклонения координат положения точки воспроизведения единиц в пространстве.

Максимальное значение импульса генератора в установившемся режиме следует определять, когда генератор TMG1010 включен в тракт полеобразующей системы и отсутствует возможность прямого измерения его характеристик с помощью осциллографа. Для этого в составе эталонного комплекса имеется полосковый ответвитель, который калибруется с помощью другого генератора, имеющего более гладкую вершину импульса, чем TMG1010, и возможно большую длительность фронта импульсов. В данном случае для калибровки полоскового ответвителя был использован генератор Г5-84, который имеет длительность фронта выходных импульсов 80 пс. Учитывая это, был разработан следующий метод определения входного напряжения полеобразующей системы:

а) с помощью генератора Г5-84 и стандартных ослабителей с полосой не менее 18 ГГц формируется импульс напряжения $V_{\text{вых1}}$ амплитудой до 1 В, который подается на вход регистратора Tektronix CSA 8000В и измеряется;

б) сформированный импульс подается на вход конической полеобразующей системы и измеряется амплитуда импульса на выходе ответвителя $V_{\text{вых2}}$;

в) в рабочем режиме эталонного комплекса на вход полеобразующей системы подается сигнал от генератора перепада импульсов напряжения TMG1010 $V_{\text{вых3}}$, и в системе воспроизводится импульс поля $V_{\text{вых4}}$. При этом напряжение генератора на входе полеобразующей системы определяется по формуле

$$V_{\Gamma} = V_{\text{вых3}} = \frac{V_{\text{вых1}} \cdot V_{\text{вых4}}}{V_{\text{вых2}}}$$

Отсюда бюджет неопределенности измерения $u(\Theta_{V_i})$ характеризуется шестью ($i = \overline{1,6}$) следующими границами:

$\Theta_{\text{вых1}} = \Theta_{\text{вых2}} = \Theta_{\text{вых4}} = 1\%$ – границы отклонения коэффициента вертикального отклонения осциллографического регистратора при измерении амплитуды импульса напряжения с помощью ос-

циллографического регистратора Tektronix CSA 8000В соответственно на выходе генератора Г5-84, полоскового ответвителя сигнала поля при использовании генераторов Г5-84 и TMG 1010;

$\Theta_{\text{в1}} = \Theta_{\text{в2}} = 0,5\%$ и $\Theta_{\text{в4}} = 6,1\%$ – границы отклонения измеренных мгновенных значений сигнала вследствие соответственно неоднородности вершины импульса на выходе генератора Г5-84, полоскового ответвителя сигнала поля при использовании генераторов Г5-84 и TMG 1010.

Составляющие неопределенности формулы (1) обусловлены отклонением волнового сопротивления конической линии полеобразующей системы от заданного значения, их определяют путем измерения отклонения размеров системы от заданной геометрии. Анализировали следующие варианты отклонения потенциального конического электрода от заданной геометрии (см. рис. 2): излом поверхности (а), гофрирование (б), по высоте (в).

Результаты оценки неопределенности вследствие неточности изготовления конического электрода приведены в табл. 1, где Δ – отклонение от заданной геометрии; $h \approx 250$ мм – межэлектродный зазор; $\delta E_{\text{уст}}$, $\delta E_{\text{дин}}$ – погрешность напряженности электрического поля в установившемся и динамическом режимах. Следует отметить, что в установившемся режиме относительное отклонение напряженности поля от расчетного не превышает погрешности изготовления заданных геометрических размеров.

Таблица 1

Результаты оценки неопределенности вследствие неточности изготовления конического электрода

Вид отклонения от геометрии	Δ , мм	Δ/h , %	$\delta E_{\text{уст}}$, %	$\delta E_{\text{дин}}$, %
Излом	5	2	1,9	–
	0,5	0,2	0,15	–
Гофрирование	5	2	2	8
	0,5	0,2	0,2	0,5
Смещение при установке	2	0,8	0,4	4

Результаты измерений отклонений геометрических размеров полеобразующей системы от расчетных значений при изготовлении показали, что границы отклонения волнового сопротивления конической линии полеобразующей системы от заданного составляет $\Theta_Z \leq 1\%$. Границы отклонения координат положения точки воспроизведения единиц в пространстве для конической линии полеобразующей системы $\Theta_{r_0} = 0,5\%$.

Осциллографический регистратор Tektronix CSA 8000В обеспечивает режим усреднения измеряемых

сигналов. При этом рассчитывается среднее значение для каждой точки записи сигнала по большому циклу

регистрации и в конечном итоге достигается значительное снижение уровня случайного шума.

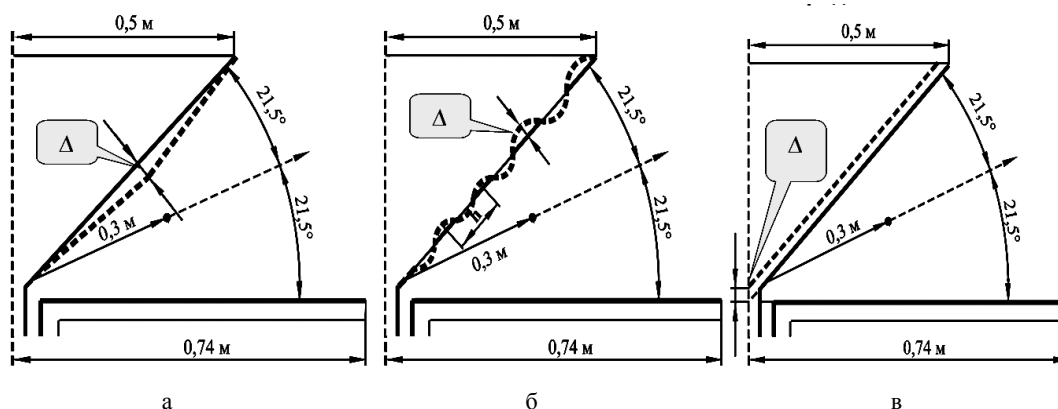


Рис. 2. Варианты отклонения потенциального конического электрода от заданной геометрии поверхности: а – излом; б – гофрирование; в – смещение при установке

Оценка стандартной неопределенности по типу А при использовании количества усреднений $N \geq 100$ и при десяти независимых наблюдениях составляет $u_A \leq 0,1 \%$.

Стандартные неопределенности рассмотренных влияющих величин по типу В определим по формулам

$$u_B(\Theta_{V_{Fi}}) = \frac{\Theta_{V_{Fi}}}{\sqrt{3}}, i = \overline{1,6}; u_B(\Theta_Z) = \frac{\Theta_Z}{\sqrt{3}};$$

$$u_B(\Theta_{r\theta}) = \frac{\Theta_{r\theta}}{\sqrt{3}}.$$

В предположении о нормальности закона распределения измеряемой (выходной) величины, а также уровне доверия $p = 0,95$ расширенную неопределенность воспроизведения максимального значения напряженности импульсов поля оценим как

$$U(\Theta_{V_{Fi}}) = 2 \cdot \sqrt{\sum_i^6 u_B^2(\Theta_{V_{Fi}}) + u_B^2(\Theta_Z) + u_B^2(\Theta_{r\theta}) + u_A^2}.$$

Выводы

В результате проведенных исследований было установлено, что в эталоне обеспечивается воспроиз-

изведение НИЭМП с расширенной неопределенностью не более 7,6%.

Список литературы

1. Эталонный комплекс сверхкоротких электромагнитных импульсов с длительностью фронта 20 пс / С.В. Тихомиров, К.Ю. Сахаров, О.В. Михеев, В.А. Туркин, А.В. Сухов, А.И. Алешико // Измерительная техника. – 2010. – № 7. – С. 57-59
2. Подосенов С.А. Нестационарное излучение V-образной антенны и линейного вибратора / С.А. Подосенов, А.А. Соколов // Метрология. – 1994. – № 1. – С. 26-34.
3. Подосенов С.А. Расчет нестационарных проводочных излучателей в задачах электромагнитной совместимости / С.А. Подосенов, А.А. Соколов // Метрология. – 1994. – № 1. – С. 17-25.
4. Подосенов С.А. Импульсная электродинамика широкополосных радиосистем и поля связанных структур / С.А. Подосенов, А.А. Потапов, А.А. Соколов. – М.: Радиотехника, 2003. – 438 с.
5. РМГ 29–99. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

Поступила в редколлегию 18.08.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина.

ПІДГОТОВКА ДЕРЖАВНОГО СПЕЦІАЛЬНОГО ЕТАЛОНУ ОДИНИЦ НАПРУГИ ІМПУЛЬСНИХ ЕЛЕКТРИЧНОГО І МАГНІТНОГО ПОЛІВ З ТРИВАЛІСТЮ ФРОНТУ ІМПУЛЬСІВ ДО 20 ПС (ГЕТ 178-2010) РОСІЇ ДО ВИЗНАЧЕННЯ НАЦІОНАЛЬНИМ ЕТАЛОНОМ УКРАЇНИ

К.Ю. Сахаров, В.А. Туркин, О.В. Михеев, А.В. Сухов, В.Н. Днищенко

Проведено аналіз складових невизначеності відтворення одиниць напруженостей імпульсного електричного і магнітного полів в Державному первинному спеціальному еталоні Росії ГЕТ 178-2010. Розширена невизначеність складала не більше 6,5%.

Ключові слова: напруженість імпульсного електромагнітного поля, еталон, невизначеність відтворення одиниць.

PREPARATION OF STATE SPECIAL RUSSIA STANDARD OF THE UNITS OF PULSE ELECTRIC AND MAGNETIC FIELD STRENGTHS WITH RISE TIME UP TO 20 PS (GAT 178-2010) FOR COMPARISON WITH NATIONAL STANDARD OF UKRAINE

K.Yu. Sakharov, V.A.Turkin, O.V. Mikheev, A.V. Sukhov, V.N. Dnischenko

The analysis of the reproduction uncertainty components of the units of pulse electric and magnetic field strengths in the State primary special Russia standard GAT 178-2010 has been carried out. The expanded uncertainty makes up no more than 6.5%.

Keywords: intensity of pulse electric and magnetic field, standard complex, reproduction uncertainty of units.