

УДК 621.31.048

В.В. Князев, Г.Ю. Сафнюк

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ОЦЕНКИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ НЕВОСПРИИМЧИВОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ К ДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО РАЗРЯДА

В статье рассмотрены аспекты практического применения процедуры оценки неопределенности результатов испытаний невосприимчивости электронной аппаратуры к действию электростатического разряда. Рассмотрено развитие этого направления в нормативной документации за последние пять лет. Приведен пример оценки неопределенности результатов испытаний в конкретной испытательной лаборатории. Результаты могут быть использованы для унификации процедуры оценки неопределенности другими испытательными лабораториями Украины.

Ключевые слова: испытание, неопределенность, электростатический разряд, электронная аппаратура, невосприимчивость.

Введение

Постановка проблемы. Испытания невосприимчивости (immunity) технических средств к действию электростатического разряда (ESD) регламентируется международным стандартом IEC 61000-4-2:2008 [1, 2]. Этот вид испытаний является обязательным практически для всех типов электронной аппаратуры, поскольку, электростатический разряд от человека достаточно распространенное явление. В силу сравнительной простоты реализации, ESD испытания осуществляется всеми органами по оценке соответствия, аккредитованными в области электромагнитной совместимости (ЭМС). Поэтому, его можно с уверенностью назвать самым востребованным в мире испытанием в области ЭМС по параметрам невосприимчивости.

Технический регламент Украины по электромагнитной совместимости (ЭМС), введенный в действие с 1 января 2011 года, предусматривает обязательное подтверждение соответствия технических средств (ТС), которые содержат в своей основе электрические, электронные и радиоэлектронные компоненты, требованиям ЭМС. В числе обязательных видов испытаний в Украине также есть испытание невосприимчивости к электростатическому разряду, регламентируемое стандартом ДСТУ IEC 61000-4-2:2008 [1], являющимся идентичным редакции стандарта IEC 61000-4-2:2001.

Из-за организационных и финансовых трудностей при подготовке нормативных актов в Украине, стандарт ДСТУ IEC 61000-4-2:2008 был введен со значительной (на 7 лет) задержкой по отношению к соответствующему стандарту IEC. Получилось так, что практически одновременно со стандартом Украины была принята вторая редакция международного стандарта IEC 61000-4-2:2008 [2], которая по

сравнению с IEC 61000-4-2:2001 содержит новые положения:

- предусматривается специальная методика калибровки датчика тока при расширении требуемой полосы частот до 4 ГГц;

- включены сведения об излучаемых полях при электростатических разрядах, создаваемых человеком, держащим металлический предмет, и генератором электростатических разрядов;

- рассмотрены вопросы неопределенности измерений с примерами бюджетов неопределенности.

Поэтому, оценка неопределенности результатов испытаний с учетом новых требований является актуальной.

Анализ последних публикаций. Для унификации процедуры оценки неопределенности, Международная электротехническая комиссия разработала группу стандартов (публикаций) CISPR 16-4 [3 – 6] и IEC 61000-1-6:2011 [7]. Следует отметить некоторые положения стандарта CISPR 16-4-1 [3], важные для обсуждаемой темы. Введено понятие «стандартная неопределенность соответствия» - SCU (standards compliance uncertainty). SCU – параметр, связанный с результатами измерений, проведенных в строгом соответствии с тем, как описано в стандарте. Этот параметр характеризует дисперсию значения, которое может быть обосновано приписано измеряемой величине. Поэтому, значение SCU, является ориентиром при проведении соответствующих измерений в испытательной лаборатории. Введено понятие «воспроизводимость» или «повторяемость» (reproducibility) результатов измерений. Его числовое значение используется для оценки близости значений, полученных при измерениях одной и той же физической величины, проведенных при различных значениях одного или более влияющих факторов (in-

fluence quantity), которые указаны в конкретном стандарте. В общем случае, воспроизводимость результатов зависит также и от других факторов. Поэтому, степень близости результатов может быть установлена только с определенной вероятностью. Введено понятие «коэффициент чувствительности» (sensitivity coefficient), который характеризует изменение измеряемой физической величины в зависимости от одного из влияющих факторов. Очевидно, что определение коэффициентов чувствительности для каждого вида испытаний, представляет достаточно трудоемкую научно-исследовательскую работу.

Однако, следует отметить, что указанные выше публикации [3 – 6] рассматривают лишь испытания, связанные с измерением собственных электромагнитных помех от технических средств. В принципе, эти положения применимы для любого процесса, связанного с измерениями. В работах [8, 9] показано, что большая часть испытаний в области ЭМС связана с определением невосприимчивости (устойчивости) ТС к действию сторонних электромагнитных помех. Именно к этому классу испытаний относится электростатический разряд, рассматриваемый в рамках данной статьи. Методика аттестации испытательного генератора предусматривает измерения, которые подробно описаны в работе [8].

Для унификации процедуры оценки неопределенности результатов любых измерений, проводимых в области ЭМС, международная электротехническая комиссия разработала проект стандарта [7]. В этом документе представлена рекомендуемая последовательность действий, основные элементы которой представлены далее.

Для общности изложения отметим введенные в стандарте CISPR 16-4-1 [3] категории источников неопределенности при проведении стандартизованных измерений уровня эмиссии, которые в полной мере относятся к испытаниям устойчивости. Введено три категории источников, обусловленные соответственно:

- испытательной лабораторий;
- испытательным стандартом;
- испытываемыми образцами продукции.

К числу возможных источников погрешности, связанных с испытательной лабораторией, отнесены такие: навыки оператора, проводящего измерения; обработка результатов измерений; протоколирование; степень внедрения требований стандарта в процедуры измерений и программное обеспечение; система качества. Очевидно, что числовое значение вклада этих источников в бюджет неопределенности измерений может быть оценено только экспертным путем. Источники, связанные с испытательным стандартом, следующие: установ-

ленные технические требования измерений; характеристики измерительного оборудования, включая калибровку и верификацию; описание процедуры измерений; окружающие условия; размещение испытываемого оборудования (ИО); функционирование ИО; тип ИО. Числовые значения основных источников этой категории указаны в технической документации на средства измерения, свидетельствах о метрологической аттестации, калибровке и протоколах верификации. Следовательно, указанная категория источников может быть учтена достаточно корректно. Среди источников, отнесенных к испытываемому оборудованию, наибольшую трудность при анализе вклада в неопределенность результата испытаний вызывает учет стабильности качества ИО. Однако, для единичных образцов ИО, этот источник отсутствует.

Испытания устойчивости ТС к действию сторонних электромагнитных помех включают много видов испытаний, которые отображают разнообразие электромагнитных явлений (гармонических и импульсных). Сегодня, в мировой практике используется более 40 видов испытаний устойчивости ТС. Методики проведения испытаний регламентируются международными, межгосударственными стандартами, а также национальными и отраслевыми стандартами Украины.

Основной проблемой при оценке неопределенности результатов таких испытаний является то, что сам результат является качественным, а не количественным [8, 9], поскольку, как правило, устойчивость ТС характеризуется четырьмя качественными критериями устойчивости.

Целью данной статьи является актуализация полученных ранее [8] значений неопределенности результатов испытаний невосприимчивости технических средств к действию электростатического разряда, с учетом новых требований базового стандарта [2] и общих рекомендаций МЭК.

Составляющие неопределенности

В 2007 году в испытательной лаборатории НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» была осуществлена оценка неопределенности для метода испытаний ESD [8]. Далее представлено сопоставление этих расчетов, с типовым расчетом по стандарту [2].

В перечне, приведенном ниже, указаны составляющие неопределенности (вклады) учитываемые при оценке влияний на измерительные приборы и испытательные установки [2]:

- показания пикового значения разрядного тока (тока первого максимума);
- показания при 10%-ном значении разрядного тока;
- показания при 90%-ном значении разрядного тока;

- показания значения разрядного тока при времени 30 и 60 нс;
- значение низкочастотного передаточного сопротивления Z_{sys} ;
- значение статического (испытательного) напряжения;
- рассогласование цепи «датчик тока – аттенуатор – кабель – осциллограф»;
- составляющая неопределенности при горизонтальном измерении осциллографом;
- составляющая неопределенности при вертикальном измерении осциллографом;
- составляющая неопределенности за счет цепи «датчик тока – аттенуатор – кабель»;
- повторяемость измерений (оценка по типу А);
- ориентация генератора электростатических разрядов (оценка по типу А);
- размещение генератора электростатических разрядов (оценка по типу А);
- варианты испытательной установки (оценка по типу А);
- составляющие неопределенности за счет калибровки датчика тока, осциллографа, аттенуатора.

Необходимо учитывать, что составляющие (вклады), относящиеся к калибровке и к испытаниям на помехоустойчивость, как правило, не совпадают. Это приводит к различиям бюджетов неопределенности для каждого из этих процессов.

Рекомендация [2] относительно создания независимых бюджетов неопределенности измерений для каждого элемента аттестации соблюдена и в наших расчетах.

В работе [8] представлен следующий перечень составляющих неопределенности при аттестации ESD генератора:

- калибровка осциллографа;
- калибровка мишени;
- калибровка пробника;
- несовпадение мишень – пробник;
- несовпадение пробник – осциллограф;
- измерение амплитуды тока;
- измерение временных интервалов;
- повторяемость.

После вычисления неопределенности результатов аттестации ESD генератора вычисляется неопределенность метода испытаний. Следует отметить, что в стандарте [2] эта часть не рассмотрена.

Составляющие бюджета неопределенности следующие:

- неопределенность аттестации генератора ESD;
- ориентация разрядного наконечника ESD;
- расположение заземляющего токопровода;
- расположение испытуемого объекта;
- мониторинг результатов измерений.

Оценка неопределенности

Рассмотрим подход, предложенный в стандарте [2] и работе [7], с учетом того, что документально обоснованные значения неопределенности могут быть определены только для процессов, связанных с измерением выходных параметров генератора. Оценка вклада остальных источников пока носит экспертный характер. Поэтому, далее приведены результаты оценки неопределенности, связанной с процедурой аттестации испытательного генератора и дополнительно с методом воздействия электростатическим разрядом. Расчет составляющих бюджета неопределенности измерений требует следующих шагов:

- определить характеристики возмущающих величин (т.е. что создается контрольно-измерительной аппаратурой);
- идентифицировать составляющие бюджета неопределенности и их величины;
- определить стохастические распределения каждой составляющей;
- вычислить стандартные неопределенности $u(x_i)$ для каждой составляющей;
- вычислить комбинированную неопределенность $u_c(y)$, коэффициент запаса k и расширенную неопределенность $U_c = u_c(y) \cdot k$.

В табл. 1 представлен бюджет неопределенности измерения пикового значения разрядного тока для 4-ой степени жесткости ESD генератора, который был составлен в ИЛ НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ», с учетом рекомендаций РМГ 43-2001.

В табл. 2 приведен пример бюджета неопределенности при калибровке (измерение пикового значения разрядного тока) по [2].

Для того чтобы удостовериться в соответствии испытательного генератора электростатических разрядов требованиям, установленным в [2] значения неопределенности измерения параметров I_p по результатам калибровки не должны превышать следующих указанных ниже предельных значений для калибровочных лабораторий:

- расширенной неопределенности измерения времени нарастания разрядного тока $t_r - \leq 15\%$;
- расширенной неопределенности измерения пикового значения разрядного тока I_p и значений разрядного тока при 30 нс I_{30} и 60 нс $I_{60} - \leq 7\%$.

Как видно из табл. 1, реализованные в лаборатории значения неопределенности измерений параметров импульса разрядного тока при контактном разряде не превышают указанные в [2] предельно допустимые и меньше, чем полученные в типовом примере.

В табл. 3 приведен пример бюджета неопределенности для метода испытаний электростатическим разрядом, полученный авторами.

Таблиця 1

Бюджет неопределенности
измерения пикового значения разрядного тока ESD генератора ИЛ

Название составляющей	Значение, %	Распределение вероятностей	$u_i(y)$, %
Погрешность калибровки осциллографа	± 1	нормальное	0,5
Погрешность калибровки датчика тока	± 1	прямоугольное	0,58
Погрешность аттенюатора	$\pm 0,5$	прямоугольное	0,29
Несовпадение датчика –аттенюатора	$\pm 0,7$	U-образное	0,49
Несовпадение аттенюатора – осциллографа	$\pm 0,5$	U-образное	0,35
Границы отн. погрешности при измерении амплитуды сигнала	$\pm 0,7$	прямоугольное	0,40
Погрешность считывания показаний	± 1	прямоугольное	0,58
Рассеяние значений выходного тока генератора	Значения взяты из протокола первичной аттестации	нормальное	1,29
U_c	–	–	1,79
U	2,262	–	4,04

Таблиця 2

Пример бюджета неопределенности
при калибровке (измерение пикового значения разрядного тока) по [2]

Название составляющей	Значение, %	Распределение вероятностей	$u_i(y)$, %
Суммарный вклад в измерение при вертикальной развертке осциллографа	3,2	нормальное	1,6
Составляющая за счет цепи «датчик тока – аттенюатор – кабель»	3,62	нормальное	1,8
Рассогласование цепи «датчик тока – аттенюатор – кабель – осциллограф»	2	U-образное	1,4
Низкочастотное передаточное сопротивление	6×10^{-6}	нормальное	3×10^{-6}
Повторяемость измерений	1,5	нормальное	1,5
U_c измерения пикового тока	–	–	3,17
U измерения пикового тока	–	$k = 2$	6,3

Таблиця 3

Бюджет неопределенности
для метода испытаний электростатическим разрядом

Название составляющей	Значение, %	Распределение вероятностей	$u_i(y)$, %
Погрешность аттестации генератора ESD	4,04	нормальное	2,02
Ориентация разрядного наконечника ESD	3,5	прямоугольное	2,02
Расположение заземляющего токопровода	3,5	прямоугольное	2,02
Расположение ИО	2	прямоугольное	1,16
Мониторинг	2	прямоугольное	1,16
U_c	-	-	3,86
U	-	нормальное	7,72

При этом, следует учитывать, что как показано в работе [9], на результаты испытаний невосприимчивости к ESD наибольшее влияние оказывают параметры воздействующего импульса. Следовательно, для этого фактора «коэффициент чувствительности» (sensitivity coefficient) максимален.

Выводы

Представленные результаты оценки предлагаются в качестве стандартной неопределенности соответствия (SCU) испытаний невосприимчивости технических средств к действию электростатического разряда в испытательных лабораториях Украины.

Повторяемость (reproducibility) результатов испытаний невосприимчивости в значительной мере определяется уровнем компетентности персонала проводящего испытания.

На результаты испытаний невосприимчивости к ESD наибольшее влияние оказывают параметры воздействующего импульса. Для этого фактора «коэффициент чувствительности» (sensitivity coefficient) максимален.

Актуализацию неопределенности результатов испытаний необходимо проводить при внесении изменений в методики проведения испытаний, замене используемого испытательного оборудования и средств измерительной техники. Следует учитывать и влияние человеческого фактора.

Список литературы

1. ДСТУ IEC 61000-4-2:2008 EMC. Частина 4-2. Методики випробування та вимірювання. Випробування на несприйнятливості до електростатичних розрядів (IEC 61000-4-2:2001, IDT)

2. IEC 61000-4-2:2008 Electromagnetic compatibility. Part 4-2. Testing and measure techniques. Electrostatic discharge immunity test.

3. CISPR 16-4-1:2009 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-1 Uncertainties, statistics and limit modeling – Uncertainties in standardized EMC test.

4. CISPR 16-4-2 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-2 Uncertainties, statistics and limit modeling – Uncertainty in EMC measurements.

5. CISPR 16-4-3 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-3 Uncertainties, statistics and limit modeling – Statistical considerations in the determination of EMC compliance of mass-produced products.

6. CISPR 16-4-4 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-4 Uncertainties, statistics and limit modeling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services.

7. Draft technical report IEC 61000-1-6:2011 Electromagnetic compatibility. Part 1-6 General – Guide to assessment of measurement uncertainty.

8. Князев В.В. Оценка неопределенности результатов испытаний технических средств по параметрам ЭМС / В.В. Князев, И.П. Лесной // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2007. – Випуск 6 (64): Невизначеність вимірювань: наукові, нормативні, прикладні та методичні аспекти. – С. 44-46.

9. Князев В.В. Електромагнітна сумісність і нормативне забезпечення відтворюваності випробувань / В.В. Князев // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2011. – №4. – С. 27-30.

Поступила в редколлегию 13.01.2012

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

ПРАКТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ОЦІНКИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ НЕСПРИЙНЯТЛИВОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДО ДІЇ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО РОЗРЯДУ

В.В.Князев, Г.Ю.Сафнюк

У статті розглянуті аспекти практичного застосування процедури оцінки невизначеності результатів випробувань несприйнятливості технічних засобів до дії електростатичного розряду. Розглянуто розвиток цього напрямку в нормативній документації за останні п'ять років. Наведений приклад оцінки невизначеності результатів випробувань у конкретній випробувальній лабораторії. Результати можуть бути використані для уніфікації процедури оцінки невизначеності іншими випробувальними лабораторіями України.

Ключові слова: випробування, невизначеність, електростатичний розряд, електронна апаратура, несприйнятливості.

PRACTICE OF ESTIMATION OF UNCERTAINTIES OF THE RESULTS OF TECHNICAL EQUIPMENTS IMMUNITY TEST TO ACTION OF ESD

V.V. Kniaziev, H.U. Safnyuk

In the article the aspects of practical application of procedure of estimation of uncertainties of the results of technical equipments immunity test to action of ESD are considered. Development of this direction is considered in normative documentation for the last five years. An example of estimation of uncertainties of test results is made in a concrete proof-of-concept laboratory. Results can be drawn on for the unitization of procedure of estimation of uncertainties by other proof-of-concept laboratories of Ukraine.

Keywords: test, uncertainties, ESD, hardware, immunity.