

отметить, что испытания не повлияли на структуру швов этой группы корпусов.

1. Неразрушающий контроль и диагностика: Справочник / под ред. Клюева: Машиностроение. – 2003.

2. Волкенштейн С.С., Хмыль А.А. Неразрушающие методы контроля качества монтажа полупроводниковых кристаллов в корпусе ИМС. Технологии в электронной промышленности. – №2. – 2011. – С. 18-22.

УДК 681

## КАЛИБРОВКА СИСТЕМЫ РАМОЧНЫХ АНТЕНН ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ТОКА, НАВОДИМОГО МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ В ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ ОТ 9 КГЦ ДО 30 МГЦ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИЗМЕРЕНИЙ ИЗЛУЧАЕМЫХ РАДИОПОМЕХ ОТ СВЕТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Вольнец А.С.

Белорусский государственный институт метрологии  
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время магнитные составляющие напряженности поля радиопомех от светового оборудования в диапазоне частот от 9 кГц до 30 МГц стандартами рекомендовано оценивать по силе тока, наводимого в системе рамочных антенн (далее – системе LCA), внутри которой устанавливают испытуемый образец [1]. Данные требования для светового и аналогичного оборудования в республике регламентированы в СТБ ЕН 55015-2006. В статье рассматривается система LCA, состоящая из трех взаимно перпендикулярных больших рамочных антенн (далее – антенн LLA), образующих три координаты X, Y и Z диаметром по 2 м. Особенности конструкции системы LCA и её составных частей, а также требования к характеристикам и методам их проверки, установлены в ГОСТ CISPR 16-1-4-2013.

Калибровку каждой антенны LLA (координаты X, Y и Z) выполняют по отдельности путем измерения тока, наводимого в антенне LLA системой «симметрирующее устройство – дипольная антенна» (далее – диполем) и определения коэффициентов калибровки. Диполь предназначен для одновременного излучения магнитного поля, которое измеряют с помощью антенны LLA, и электрического поля, которое антенна LLA не должна воспринимать [2].

Диполь размещают на подставке из изоляционного материала в центре рабочей зоны антенны LLA в первой из восьми позиций, как указано на рисунке 2, и подключают к генератору. Для улучшения согласования в коаксиальном тракте между генератором и диполем возможно использование аттенюатора 6 дБ, затухание которого необходимо дополнительно учесть при расчете коэффициентов калибровки. Антенну LLA подключают к измерителю радиопомех. В диапазоне частот от 0,009 до 0,15 МГц измерения проводят при полосе пропускания измерителя радиопомех 0,2 кГц; в диапазоне частот от 0,15 до 30,0 МГц – при полосе пропускания 9 кГц.

С генератора сигналов на диполь подают синусоидальный сигнал требуемой частоты, напряжением  $U_r$  не менее 1 В. Производят отсчет показаний уровня напряжения сигнала  $U_{ИЗМ_i}$ , дБ(мкВ), на входе измерителя радиопомех, подключенного к выходу антенны LLA. При этом значение  $U_{ИЗМ_i}$  должно быть не менее чем на 10 дБ выше уровня внешних электромагнитных полей (определяется при выключенном генераторе). Выключают генератор и поворачивают диполь приблизительно на  $45^\circ$  в следующую из восьми позиций. Включают генератор и производят отсчет показаний уровня напряжения сигнала  $U_{ИЗМ_i}$ , дБ(мкВ). Таким образом, проводят отсчет восьми показаний уровня напряжения сигнала  $U_{ИЗМ_i}$  на каждой частоте при разных ориентациях диполя. Проверяют, выполняются ли условия:

$$|U_{ИЗМ_{max}} - \bar{U}_{ИЗМ}| \leq 2 \text{ и } |U_{ИЗМ_{min}} - \bar{U}_{ИЗМ}| \leq 2, \quad (1)$$

где  $\bar{U}_{ИЗМ}$  – среднее арифметическое измеренных значений уровня напряжения  $U_{ИЗМ_i}$  в каждой из восьми диполя, дБ(мкВ);  $U_{ИЗМ_{max}}$  – максимальное из измеренных  $U_{ИЗМ_i}$ , дБ(мкВ);  $U_{ИЗМ_{min}}$  – минимальное из измеренных  $U_{ИЗМ_i}$ , дБ(мкВ).

Если условия (1) выполнены, производят обработку результатов измерений. Если условия (1) не выполнены, проверяют точность установки диполя в центре рабочей зоны антенны LLA и повторяют измерения на соответствующей частоте. В случае повторного невыполнения измерений условия (1), систему LCA бракуют как не соответствующую требованиям ГОСТ CISPR 16-1-4-2013. Далее диполь поочередно располагают в плоскости второй и третьей координаты (оси) повторяют перечисленные выше операции. Обработку результатов измерений выполняют для каждой антенны LLA и каждой частоты из-

мерений в отдельности. Неопределенность измерений рассчитывают в соответствии с GUM ISO/IEC Guide 98:3-2008 [3].

Функция измерения:

$$K_{AF} = U_{Г} - U_{ИЗМ} - K_{ОЦ} - \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 - \Delta_4, \quad (2)$$

где  $K_{AF}$  – коэффициент калибровки,  $\text{дБ}(1/\text{Ом})$ ;  $U_{Г}$  – уровень напряжения на выходе генератора сигналов,  $\text{дБ}(\text{мкВ})$ ;  $U_{ИЗМ}$  – уровень напряжения на выходе антенны LLA,  $\text{дБ}(\text{мкВ})$ ;  $K_{ОЦ}$  – коэффициент оценки,  $\text{дБ}(\text{Ом})$ ;  $\Delta_1$  – неопределенность, обусловленная погрешностью измерителя радиопомех,  $\text{дБ}$ ;  $\Delta_2$  – неопределенность, обусловленная неточностью установки диполя в центр рабочей зоны антенны LLA,  $\text{дБ}$ ;  $\Delta_3$  – неопределенность, обусловленная неидеальностью характеристик диполя,  $\text{дБ}$ ;  $\Delta_4$  – неопределенность, обусловленная конечным разрешением измерителя радиопомех,  $\text{дБ}$ .

**Уровень напряжения на выходе генератора сигналов** задает оператор при выполнении измерений. Интервал, в котором находится значение входной величины, определяется погрешностью установки уровня напряжения выходного сигнала генератором и обычно составляет (0,6...1,0)  $\text{дБ}$ .

Измерение **уровня напряжения на выходе антенны LLA** выполняют при восьми положениях диполя. В качестве значения оценки  $U_{ИЗМ}$  принимают среднее арифметическое результатов восьми наблюдений и выполняют расчет неопределенности по типу А:

$$U_{ИЗМ} = \overline{U_{ИЗМ}} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n U_{ИЗМ_i}, \quad \text{дБ}(\text{мкВ}) \quad (3)$$

где  $U_{ИЗМ_i}$  – результат  $i$ -го наблюдения,  $\text{дБ}(\text{мкВ})$ ;  $n$  – количество наблюдений, равное 8.

Значение **коэффициента оценки** определяют по графику, приведенному в ГОСТ CISPR 16-1-4-2013. В качестве интервала, в котором находится значение входной величины, принимают погрешность считывания значений коэффициента оценки оператором, которая составляет около 0,5  $\text{дБ}$ .

**Погрешность измерения синусоидального напряжения** измерителем радиопомех обычно не превышает (1,0 ... 1,5)  $\text{дБ}$ .

Для оценки неопределенности, обусловленной **неточностью установки** диполя в центр рабочей зоны антенны LLA, были выполнены экспериментальные исследования. Произведено несколько серий наблюдений: при размещении диполя точно в центре рабочей зоны антенны LLA и после смещения его в тех или иных

направлениях. Смещение диполя проводилось во всевозможных направлениях на величину, достаточную, чтобы оператору стало очевидно смещение диполя из рабочей зоны антенны LLA невооруженным глазом. Измерения напряжения на выходе антенны LLA проводились на частотах 0,1; 1; 10 и 30 МГц. Наибольшее влияние смещения диполя на результаты измерений выявлено на частоте 30 МГц и составило 0,2  $\text{дБ}$ .

Наиболее сложной задачей оказалась оценка неопределенности, обусловленной **неидеальностью характеристик** диполя. Дело в том, что в ГОСТ CISPR 16-1-4-2013 приведены только требования к конструктивному исполнению диполя и его линейные размеры без указания допусков. Вопрос контроля метрологических характеристик и обеспечения прослеживаемости измерений не освещен. В связи с этим, было принято решение провести экспериментальные исследования с использованием нескольких диполей, изготовленных разными предприятиями из разных материалов.

В ходе экспериментальных исследований последовательно выполнены операции по определению коэффициентов калибровки системы LCA, имеющейся в БелГИМ, с использованием различных диполей.

В результате исследований установлено:

- коэффициенты калибровки системы LCA при выполнении измерений с использованием диполей различных изготовителей отличаются друг от друга не более чем на 1,2  $\text{дБ}$ ;
- зависимость коэффициентов калибровки от линейных размеров диполей не установлена;
- с увеличением частоты влияние неидеальности характеристик диполей усиливается.

Неопределенность, обусловленная **конечным разрешением измерителя радиопомех**, определяется ценой единицы младшего разряда и обычно составляет (0,1...0,2)  $\text{дБ}$ .

Расширенная неопределенность измерений коэффициентов калибровки по данной методике для уровня доверия 95 % (коэффициент охвата 2,0) составляет 1,6  $\text{дБ}$ .

Полученный **коэффициент калибровки**  $K_{AF}$  может быть использован при проведении измерений радиопомех в соответствии с СТБ ЕН 55015-2006:

$$I = U + K_{AF}, \quad (5)$$

где  $I$  – сила тока, наводимого в антенне LLA, внутри которой установлено испытуемое световое оборудование,  $\text{дБ}(\text{мкА})$ ;  $U$  – уровень напряжения на входе измерителя радиопомех, подключенного к антенне LLA.

Принимая во внимание, что в соответствии с ГОСТ CISPR 16-1-4-2013 чувствительность токо-съемника должна быть не хуже 1 В/А, значения коэффициентов калибровки системы LCA отри-

цательные.

1. СТБ ЕН 55015-2006 (EN55015-200: IDT) Электромагнитная совместимость. Радиопомехи от электрического светового и аналогового оборудования. Нормы и методы измерений.
2. ГОСТ CISPR 16-1-4-2013 (CISPR 16-1-4:2012: IDT) Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре

- для измерения параметров промышленных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-4. Аппаратура для измерения радиопомех и помехоустойчивости. Антенны и испытательные площадки для измерения излучаемых помех.
3. ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения - Часть 3: Руководством по выражению неопределенности измерений (GUM:1995).

УДК 620.179.16

## РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДИК КОНТРОЛЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОРОШКОВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Галаган Р.М., Богдан Г.А.

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
Киев, Украина*

Современные многофазные материалы обладают принципиально новыми уникальными физико-механическими свойствами, которые удается получить за счет подбора металлических компонентов и варьирования в широких интервалах их концентраций и степени пористости, а также изменением параметров технологических режимов изготовления. Вследствие этого возникает необходимость исследования закономерностей формирования их физико-механических свойств в зависимости от состава, структуры, внешних условий на различных этапах изготовления. В случае материалов с резко неоднородным строением такие закономерности весьма сложны и недостаточно изучены. Порошковые конструкционные материалы (ПКМ) являются специфическим классом неоднородных материалов, которые можно рассматривать как своеобразный предельный случай гетерофазной среды с максимально различающимися свойствами составляющих фаз [1].

Технологии изготовления ПКМ многостадийны. К основным стадиям их изготовления можно отнести [2]:

- подготовка исходных компонентов;
- формирование (прессование) изделий заданной формы;
- спекание;
- окончательная обработка.

Каждая из перечисленных операций оказывает значительное влияние на формирование физико-механических свойств готового изделия и может привести к возникновению дефектов внутренней структуры материала. Поэтому разработка достоверных оперативных методов неразрушающего контроля, которые позволяют оценить состояние материала на различных стадиях изготовления является актуальной задачей.

На данный момент для решения поставленной задачи наибольшее применение получили акустические методы неразрушающего контроля, которые обладают наибольшей методической простотой и универсальностью [3]. Физико-механические характеристики ПКМ рассчитываются по измеренным значениям скорости распространения упругой волны в исследуемом материале исходя из известных соотношений [4].

В качестве образцов для проведения исследований чаще всего используются заготовки небольших размеров в форме параллелепипеда с длиной порядка 20 мм, шириной и высотой порядка 4-5 мм. Толщина по длине образца колеблется в пределах 1,5 мм. Измерение скорости ультразвука проводится по длине образца на перпендикулярных гранях по трем точкам.

Проведенные исследования высокопрочных ПКМ на основе вольфрама с добавлением 20% и 40 % кобальта показали:

- При подборе наиболее оптимального сочетания исходных компонентов для получения заданных физико-механических характеристик материала, относительное изменение скорости распространения ультразвуковой (УЗ) волны, обусловленное влиянием технологических факторов, между образцами может достигать 10%.

- При отработке технологии изготовления материала (введение дополнительных стадий обработки или изменение технологических режимов) скорость УЗ волны между образцами не превышает 2 %.

- Из-за анизотропии внутренней структуры скорость УЗ волны в пределах одного образца при контроле в перпендикулярных направлениях может изменяться в пределах 2%.

- При контроле ПКМ в одном направлении в различных точках скорость УЗ волны может