



УДК 004.654

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.325.326

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СПОСОБА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭКБ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ АКУСТИЧЕСКИМ ШУМОМ ANALYTICAL-EXPERIMENTAL METHOD OF CONDUCTING ECB TESTS FOR ACOUSTIC NOISE EXPOSURE

АЛЕКСЕЕВ ВИКТОР ВАЛЕНТИНОВИЧ

ALEKSEEV VICTOR V.

БУРДУКОВСКИЙ ПАВЕЛ ВАЛЕНТИНОВИЧ

BURDUKOVSKIY PAVEL V.

pvmobil@yandex.ru

pvmobil@yandex.ru

ФГУП «МНИИРИП»

FSUE "MNIIRE"

141002, г. Мытищи, ул. Колпакова, 2а

2a Kolpakova St., Mytishi, 141002

Воспроизведение условий воздействия при акустических испытаниях представляет собой сложную задачу, так как акустические нагрузки имеют случайный характер и изменяются в весьма широком диапазоне частот. Создание универсального стенда, воспроизводящего весь комплекс акустических нагрузок, оказалось практически неосуществимым.

В данной работе применяется метод математического моделирования воздействий акустическим шумом при различных мощностях, сравнение результатов моделирования с натурными испытаниями при воздействиях малой мощности, верификация модели путем проверки физических свойств материалов, входящих в состав изделий, а затем имитация акустических воздействий на вибростендах.

Структура методологии:

- создание модели ЭКБ;
- создание моделей креплений ЭКБ при испытаниях;
- расчет акустических воздействий по данным производителей ЭКБ и на основе созданных моделей;
- сравнение результатов расчетов с экспериментальными измерениями;
- измерение физических свойств материалов, сравнение данных с представленными производителями ЭКБ;
- расчет акустических воздействий по скорректированным данным;
- экспериментальная проверка расчетов в диапазонах частот и давлений акустического шума, которые можно создать;
- расчет механических колебаний при вибрационных воздействиях, эквивалентных воздействию акустического шума;
- экспериментальная проверка расчетов на вибростендах.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ЭКБ

Больших сложностей с созданием моделей ЭКБ отечественного производства нет, т. к. все параметры и размеры можно получить у разработчика, только необходимо учитывать небольшой нюанс. Если разработчик использует свою модель только для изготовления ЭКБ, то возможно, что при переносе модели ЭКБ из САПР разработчика в программу по моделированию физических процессов («АСОНИКА», Comsol, ANSYS) могут возникнуть некоторые сложности с пересечением объектов модели (некорректное задание пересечений в модели ЭКБ может привести к невозможности построения расчетной сетки модели, а излишняя детализация, мелкие фаски, которые никак

не влияют на физические свойства модели, существенно увеличивают объем вычислений.

Наибольшую трудность представляет создание моделей ЭКБ иностранного производства, так как в datasheet указаны только внешние размеры ЭКБ. В данной ситуации предлагается использовать для создания моделей рентгеновский микроскоп с последующим экспортом 3D-моделей в программу по моделированию физических процессов в ЭКБ. (Данная связка сейчас находится в стадии экспериментальной проработки, прямых решений пока нет.)

РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПО ДАННЫМ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ЭКБ И НА ОСНОВЕ СОЗДАННЫХ МОДЕЛЕЙ

Проведен экспериментальный расчет воздействий акустическим шумом на микросхему с шариковыми выводами BGA HFC (рис. 1).

В результате расчетов выявлено [1], что резонансная частота существенным образом зависит от способа крепления ЭКБ и параметров физических величин, поэтому при расчетах надо проводить измерения физических свойств материалов, а не брать их из справочника или слепо доверять данным производителей.

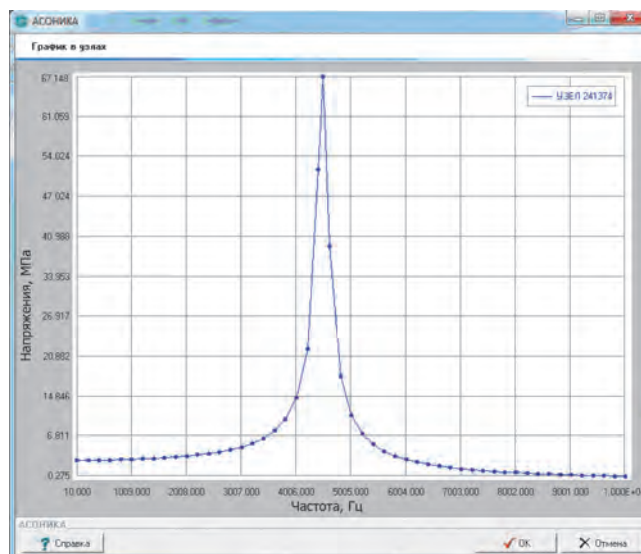


Рис. 1. Зависимость напряжений от частоты в контрольной точке



ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ С ПРЕДСТАВЛЕННЫМИ ПРОИЗВОДИТЕЛЯМИ ЭКБ

Для большинства материалов ЭКБ в справочной литературе отсутствуют точные физико-механические параметры для моделирования: модуль упругости, коэффициент Пуассона, плотность и коэффициент механических потерь (КМП). Таким образом, требуется разработать методику идентификации параметров материалов ЭКБ. В нашем случае, сопоставив экспериментальные данные и результаты математического моделирования, требуется определить неизвестные параметры материалов ЭКБ. Наиболее перспективными являются методы идентификации, построенные на принципе настраиваемой модели. Поскольку параметры материалов не зависят от вида механического воздействия, предлагается проводить идентификацию при гармонической вибрации. Задача идентификации формулируется в следующем виде: необходимо найти такие значения параметров математической модели, которые удовлетворяют минимуму функции цели и лежат в области допустимых значений параметров, т. е. задача идентификации сводится к задаче оптимизации. Функция цели имеет следующий вид:

$$Q(X) = \sum_{i=1}^m (a_{0,i} - a_{p,i})^2,$$

где m — число точек измерения по частоте; $a_{0,i}$ и $a_{p,i}$ — экспериментальное и расчетное значения виброускорения на i -й частоте.

Оптимизация может проводиться многими методами. Однако здесь отсутствуют функциональные ограничения, что позволяет ограничиться методами безусловной оптимизации. Прямые ограничения выбираются из следующих соображений. По заданному материалу в справочнике находятся значения параметров и берется допуск $\pm 20\%$. Это и есть ограничения. Если параметры не найдены в справочнике, то идентификация проводится в несколько этапов, каждый раз при суженном диапазоне изменения параметра идентификации. Идентификацию следует выполнять последовательно в определенном порядке, чтобы оказались задействованными как можно меньше неопределенных параметров (в лучшем случае — один). Эту последовательность можно проследить на конкретных примерах идентификации неизвестных физико-механических параметров изделия: модуля упругости материала несущей конструкции и коэффициента Пуассона, КМП и коэффициента зависимости КМП от напряжения. Чтобы уточнить погрешность измерений, температуру и зависимость амплитуды виброускорения от частоты гармонической вибрации определяют несколько раз, а температуру в эксперименте — в нескольких точках микросхемы. Затем полученные значения усредняются. Для экспериментально полученных значений вибровоздействий и откликов на них определяются: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, доверительный интервал. Затем находится погрешность выходного ускорения для каждого значения частоты как погрешность результатов косвенных измерений.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА МАТЕРИАЛА ЭКБ

В этом случае выполняются следующие операции:

- пластина из материала, идентичного используемому в ЭКБ, жестко закрепляется винтами по четырем углам на столе вибростенда;
- экспериментально определяется первая резонансная частота пластины;

- с помощью изменения параметров производится настройка модели механического процесса исследуемой пластины на экспериментально определенную резонансную частоту. Варьируемыми параметрами при оптимизации являются модуль упругости и коэффициент Пуассона. Коэффициент жесткости опор принимается бесконечно большим (10^{10} Н/м), так как винты максимально зажаты. Отсутствие данных о КМП не влияет на результаты идентификации, так как для определения модуля упругости и коэффициента Пуассона достаточно только совпадения резонансных частот и совсем не обязательно совпадение амплитуд виброускорений. Это связано с тем, что в модели микросхемы КМП практически не влияет на резонансные частоты. Предполагается, что остальные параметры — геометрические размеры, плотность — известны;
- по результатам идентификации строится зависимость модуля упругости от температуры. Далее с помощью метода наименьших квадратов определяется коэффициент зависимости модуля упругости E от температуры K_E :

$$E = E^{20} - K_E(T - 20),$$

где E^{20} — модуль упругости при температуре 20°C ; T — температура.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ КМП

В этом случае выполняются следующие операции:

- пластина из материала, идентичного используемому в ЭКБ, жестко закрепляется винтами в четырех углах стола вибростенда;
- с датчика в центре пластины снимается зависимость амплитуды виброускорения от частоты;
- с помощью программы идентификации проводится настройка КМП пластины на экспериментальную зависимость, при этом идентифицируются γ_0^{20} и k_0^{20} ;
- по результатам идентификации строятся зависимости γ_0 и $k\sigma$. Далее определяются следующие коэффициенты:

$$\gamma_0 = \gamma_0^{20} - K_\gamma(T - 20), \quad k\sigma = K_\sigma^{20} - K_k\sigma(T - 20),$$

где γ_0 и $k\sigma$ — КМП и коэффициент зависимости КМП от напряжения; γ_0^{20} и K_σ^{20} — КМП и коэффициент зависимости КМП от напряжения при температуре 20°C ; K_γ и $K_k\sigma$ — коэффициенты зависимостей КМП и коэффициента зависимости КМП от напряжения от температуры соответственно; T — температура.

Выводы:

- первые расчеты показали осуществимость моделирования акустических воздействий с приемлемым уровнем точности;
- таким образом можно создать существенно менее затратный способ проведения испытаний ЭКБ на воздействие акустическим шумом;
- при этом необходимо провести верификацию моделей и расчетных методик на точность измерений и достоверность результатов измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система «АСОНИКА» для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий: монография / Под ред. А. С. Шалумова.