

улучшения методики измерения добротности резонаторных колебаний, что связано с быстрым развитием электроники в последнее время, и разработки более совершенных алгоритмических методов обработки результатов измерений. В результате применения таких методов удается повысить точность измерения добротности на два-три порядка, а этого оказывается достаточно для достижения приемлемой точности определения влажности и плотности в реальных производственных условиях.

Следует упомянуть еще одну актуальную для производства проблему, связанную уже не с датчиками как таковыми, а с технологией их применения. Ширина тестируемого бумажного полотна бумагоделательной машины довольно велика (несколько метров), а размеры датчика малы. Поэтому приходится периодически смещать датчик поперек полотна, чтобы он сканировал его поверхность. Но полотно тоже постоянно движется в продольном направлении, так что появляются большие зоны его поверхности, не подверженные измерениям. Проблема состоит в том, как в результате такого зигзагообразного движения датчика по поверхности бумажного полотна получить более-менее достоверную картину пространственного распределения влажности и плотности. Для этого приходится разрабатывать специальные программно-алгоритмические методы обработки измеряемых данных, которые дают вероятностное распределение на основе рассчитанной погрешности и истории измерений.

УДК. 62-238.9

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОБСТВЕННОЙ РЕЗОНАНСНОЙ ЧАСТОТЫ МОБИЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ

Бержанин Д.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь*

Жесткая конкуренция на рынке предъявляет все более высокие требования к срокам разработки и поставки готовых изделий. В этих условиях моделирование на ранних этапах проектирования позволяет значительно сократить сроки освоения изделия.

Одним из важнейших показателей надежности устройства, закладываемого на этапе проектирования, является виброустойчивость в заданных частотах. Обычно заранее известно в каком частотном диапазоне устройство должно быть работоспособно. Поэтому на этапе проектирования необходим анализ свободных механических колебаний, который проводится с целью определения собственных частот и форм колебаний элементов конструкции. Расчет свободных механических колебаний проводится без учета динамических нагрузок, но является первым и обяза-

1. Nyfors E., Vainikainen P. Industrial microwave sensors. – Norwood: Artech Hous, 1989. – 352 pp.
2. Kukharchik P.D., Serdyuk V.M., Titovitsky J.A. Diffraction of hybrid modes in a cylindrical cavity resonator by a transverse circular slot with a plane anisotropic dielectric layer // Progress In Electromagnetics Research B. – 2008. – Vol. 3. – P. 73–94.
3. Kupfer K. Methods of density-independent moisture measurements // Electromagnetic Aquametry. Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances. Edited by Klaus Kupfer. – Berlin: Springer, 2005. – P. 135–168.
4. Ермакович О.Л., Курило Н.И., Лисовский Г.А., Титовицкий И.А. Снижение позиционной чувствительности радиоизотопного плотнoмера к положению листового материала в измерительном зазоре // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: Материалы междунар. научн.-практ. конф. /Редкол.: Хрусталев Б.М. (гл. ред.). – Минск: Бизнесофсет, 2013. – С. 77–78.
5. Okamura S., Zhang Y. New method for moisture content measurement using phase shift at two microwave frequencies // Journ. Micr. Power Electrom. Energy. – 2000. – Vol. 35. No 3. – P. 175–178.

тельным шагом при решении более сложных динамических задач.

В качестве системы, позволяющей применить метод конечных элементов для поиска и анализа значений собственных частот и форм волн, выбран пакет ANSYS. Методика анализа колебаний включает: создание геометрической модели, задание свойств материалов и граничных условий, настройка опций расчета, выбор варианта закрепления конструкции (при необходимости), просмотр и анализ результатов.

Дифференциальное уравнение свободных колебаний является частным случаем общего уравнения движения [1]:

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = 0, \quad (1)$$

где М – масса, К – коэффициент упругости.

В анализе свободных колебаний предполагается упругое поведение конструкции, поэтому ожидаемый отклик является гармоническим [1]:

$$\{x\} = \{\phi_i\} \cos(\omega_i t) \quad (2)$$

где  $\phi_i$  определяет форму колебаний  $i$ -ой моды (собственный вектор) и  $\omega_i$  является собственной частотой этой моды.

Поставив (2) в (1) получим уравнение, по которому рассчитывают свободные колебания элементов конструкции электронной системы:

$$([K] - \omega_i^2 [M])\{\phi_i\} = 0 \quad (3)$$

При расчете свободных колебаний закрепление конструкции не является обязательным условием расчета, как в задачах статики; форма свободных колебаний вычисляется в относительных единицах и не позволяет определить абсолютные смещения [2].

При анализе свободных колебаний к конструкции не прикладываются нагрузки, поэтому для расчета необходимо знать только модуль Юнга, коэффициент Пуассона и плотность материалов (табл. 1).

Таблица 1 – Свойства материалов

Материал	Модуль Юнга, МПа	Кэфф. Пуассона	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
Сталь	210000	0,3	7800
Алюминий	74000	0,34	2700
Полиамид	3000	0,31	1200
Оргстекло	31000	0,35	1200
Стеклотекстолит	21000	0,22	2050
Резина	900	0,5	1000
Пластик	1400	0,37	1000
ПЭТФ	3500	0,4	2100

В данном анализе объекты, напрямую не влияющие на прочность устройства и имеющие незначительные массы, представлены условно. Платы печатные с элементной базой также изображены условно, так как они не выполняют несущих функций, а массовые характеристики элементной базы не оказывают значительных влияний на расчет, то их физические свойства, необходимые для расчета, усреднены.

В анализе свободных вибраций не задаются конструкционные и тепловые нагрузки, которые могут быть учтены только как предварительные, в данном анализе расчет ведется при температуре 22 °С.

В заданном диапазоне частот (от 0 до 150 Гц) при анализе было выявлено 6 резонансных частот. Три первых выявленных резонансных частоты очень близки к 0 Гц. Это частоты, соответствующие жесткому движению конструкции. В

отличие от статического линейного анализа при расчете свободных вибраций предотвращение жесткого движения тел не является обязательным условием [2]. Таким образом, информативными являются только три резонансных частоты (табл. 2).

Таблица 2 – Резонансные частоты

Резонанс	Частота, Гц
1	30,1
2	81,8
3	97,6

Первый резонанс панели мобильной электронной системы приходится на частоту 30,1 Гц. При такой частоте максимум колебаний приходится на углы устройства, минимум – на геометрический центр, при этом колебания имеют кольцевую направленность фактически параллельную лицевой плоскости устройства (рис. 1).

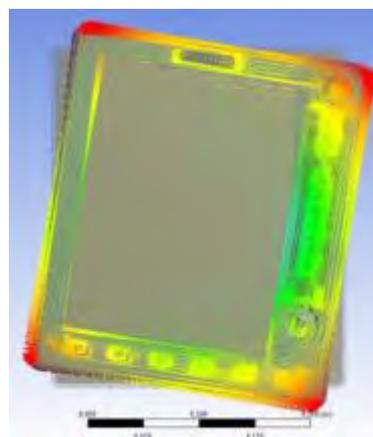


Рисунок 1 – Распределение амплитуды и направленность колебаний на резонансной частоте 30,1 Гц



Рисунок 2 – Распределение амплитуды и направленность колебаний на резонансной частоте 81,8 Гц

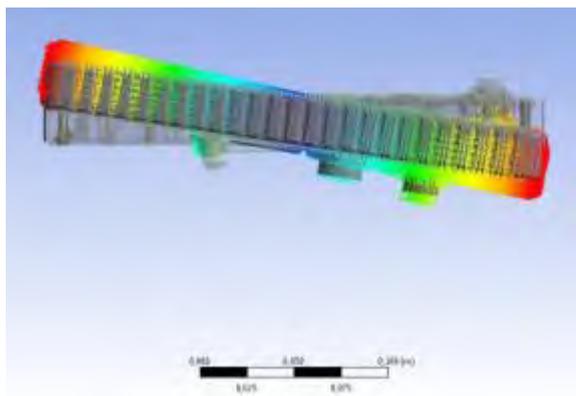


Рисунок 3 – Распределение амплитуды и направленность колебаний на резонансной частоте 97,6 Гц

Соответствующие частотам 81,8 Гц и 97,6 Гц формы колебаний (смещения), изображены на рис. 2 и 3. На всех рисунках также изображено отклонение от изначального положения.

Поскольку не вычисляется возбуждение конструкции внешними силами, в расчетных результатах представляется относительная форма свободных колебаний.

УДК 535.376

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ТЕПЛОВОЙ НАРАБОТКИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВЕТОДИОДОВ

Бумай Ю.А.<sup>1</sup>, Бобученко Д.С.<sup>1</sup>, Доманевский Д.С.<sup>1</sup>, Манего С.А.<sup>1</sup>,  
Трофимов Ю.В.<sup>2</sup>, Цвирко В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»  
Минск, Республика Беларусь

Рассмотрено изменения электрических и оптических параметров светодиодов (СИД) Nichia, происшедших в процессе тепловой наработки, и светодиода Helio, происшедших в результате воздействия ультразвукового излучения (УЗ). Была проведена обработка УЗ на частотах  $f = 84,5$  кГц и  $f = 117,6$  кГц синего СИД Helio. Время обработки составляло 15 минут на каждой из двух выше указанных частот. Тепловые испытания для СИД Nichia проведены при температуре печи 100 °С в течение 400 часов при токе через СИД 35 мА.

В результате тепловой наработки оптические параметры светодиодов Nichia изменились существенно, что видно на рисунках 1 и 2, на которых приведены распределения спектрального потока излучения от энергии фотона для двух светодиодов. Кривые 1 и 2 соответствуют спектрам после тепловой наработки (1 – для тока 10 мА, 2 – для тока 20 мА), кривые 3, 4 – соответствуют исходным спектрам до тепловой наработки (3 – для тока 10 мА, 4 – для тока 20 мА). КПД для пер-

Полученные данные позволяют судить о возможных возникающих напряжениях в устройстве.

Так на резонансной частоте 30,1 Гц наибольшие механические напряжения приходятся на элементы крепежа, выполняющие несущие функции, внутри устройства, так как они расположены перпендикулярно направлению колебаний. Несущие металлические пластины, находящиеся с лицевой и обратной стороны устройства, имеют минимальное напряжение и не подвержены колебаниям по меньшему габаритному размеру (по оси Z).

На резонансных частотах 81,8 Гц и 97,6 Гц напряжения будут возникать на несущих пластинах, так как колебания направлены на их изгиб по меньшему габаритному размеру (по оси Z) и элементах крепежа, оси которых перпендикулярны направлению колебаний.

1. Прохоров, А.М. Физическая Энциклопедия. В 5 т. Т.2. Добротность – магнитооптика / А.М. Прохоров. – М. : Советская энциклопедия, 1990. – 703 с.
2. Kent, L.L. Ansys Workbench Tutorial / L.L. Kent . Arlington: University of Texas, 2005. – 76 p.

вого светодиода изменились от 9 % (10 мА), 7,3 % (20 мА) до тепловой наработки до 2,6 % (10 мА), 2,0 % (20 мА) после тепловой наработки. Также изменилась световая отдача. Значения этих изменений следующие: от 6,3 лм/Вт (10 мА); 4,8 лм/Вт (20 мА) до 1,9 лм/Вт (10 мА); 1,4 лм/Вт (20 мА).

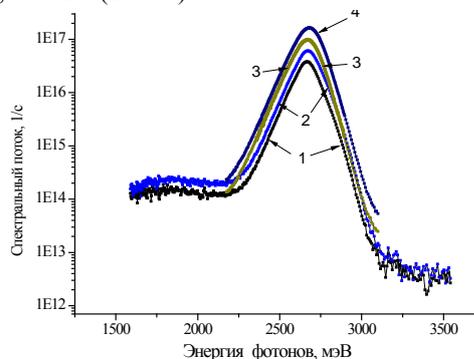


Рисунок 1 – Распределение спектрального потока излучения от энергии фотона для светодиода Nichia NSPB500S (СИД1)