

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАМЕНЫ ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

Генкин Б.И., Смолий В.Н.
Кафедра ОФТМ, СТИ ВУГУ
bgenkin@sti.lg.ua; vsmoleay@sti.lg.ua

Abstract

Genkin B.I., Smoleay V.N. Automation makes vibro-stability printed circuit boards of electronic device. By the purpose offered works is analysis behaviour structural elements of electronic device exploited in unfavorable conditions of vibration coercion's and examination adequacy mathematical investigation.

Введение

В работе [1] предложены основные моменты построения экспертной системы для расчета и оценки вибрационных свойств электронных аппаратов, эксплуатируемых в условиях интенсивных вибрационных нагрузок. В статьях [2, 3] описаны механические модели элементной базы электронных аппаратов и методика экспериментальных исследований по определению свойств этих моделей. Пока в печатных изданиях не нашли отражения исследования по моделированию печатных плат, типовых элементов замены, вынуждающих воздействий, и проверка адекватности математических моделей. Целью предлагаемой работы является анализ поведения конструктивных элементов электронных аппаратов в условиях интенсивных вибрационных воздействий и разработка методов автоматизации обеспечения виброустойчивости типовых элементов замены электронных аппаратов.

1. Анализ современного состояния вопроса

Анализ современного состояния вопроса и обобщение информации литературных источников позволяет представить результаты воздействия вибрации на электронные аппараты в виде, приведенном на рис. 1. Концептуальная модель анализа вибрационных характеристик электронных аппаратов, эксплуатируемых в условиях интенсивных вибрационных нагрузок, приведена на рис. 2. Здесь на адекватность определения вибрационных свойств печатных плат с установленными на них электрорадиоэлементами (типовых элементов замены) влияет выбор математической модели для описания исследуемых объектов, параметров этой модели и наличие программы-инструмента для удобства и простоты работы с моделями.

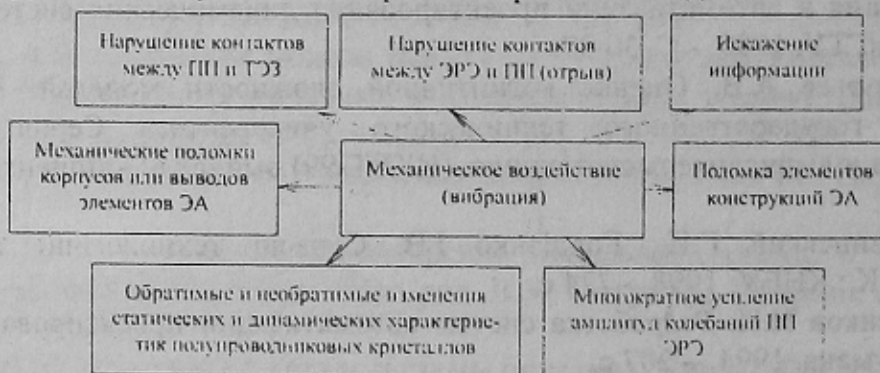


Рис. 1 - Результат воздействия вибрации на ЭА

Задача повышения надежности приборов требует разработки методов математического

и компьютерного моделирования вибрационных процессов в элементах электронных схем.



Рис. 2 - Концептуальная модель анализа вибрационных характеристик ЭА

Изучение явлений вибрации и ударов и разработку способов уменьшения их воздействия на электронные аппараты необходимо предусматривать на этапе проектирования ЭА, т.е. возникает необходимость автоматизации технологического процесса проектирования виброустойчивых ЭА.

2. Математический аппарат исследований

Разработан математический аппарат, описывающий вибрации (в том числе - резонансные) типовых элементов замены, с учетом внутреннего трения в элементах конструкции, ортотропности механических свойств ПП, механических свойств электрорадиоэлементов и способов их соединения с печатной платой, способов соединения печатных плат с несущей конструкцией, различных видов вынуждающих воздействий и др.

Разработанная системная модель, базирующаяся на использовании функций влияния и новых фундаментальных функций, позволяет разделить задачи описания свойств и способов закрепления печатной платы, описания свойств электрорадиоэлементов и описания свойств вынуждающих воздействий. При этом математическая модель конкретного типового элемента замены конструируется на основе разработанных математических моделей отдельных его элементов, а исходная сложная краевая задача сводится к сравнительно простой задаче поиска решения линейной системы алгебраических уравнений. Таким образом, разработанный математический аппарат отвечает требованиям универсальности и быстродействия.

Свойства печатной платы и условия закрепления печатных плат в типовых элементах замены учитываем с помощью функций влияния, которые удовлетворяют дифференциальному уравнению

$$\nabla_1^4 \bar{G} - \rho h a^4 \omega^2 \bar{G} = a^2 \delta(\xi - \hat{\xi}) \delta(\eta - \hat{\eta}), \quad (1)$$

где $\delta(\xi - \hat{\xi}) \delta(\eta - \hat{\eta})$ - дельта функции Дирака, $\nabla_1^4 = \bar{D}_1 \frac{\partial^4}{\partial \xi^4} + 2\bar{D}_3 \frac{\partial^4}{\partial \xi^2 \partial \eta^2} + \bar{D}_2 \frac{\partial^4}{\partial \eta^4}$ -

оператор Лапласа, $\xi = x/a$; $\eta = y/a$ - безразмерные координаты; $\bar{D}_1 = \frac{\bar{E}_1 h^3}{12(1 - \mu_1 \mu_2)}$;

$\bar{D}_2 = \frac{\bar{E}_2 h^3}{12(1 - \mu_1 \mu_2)}$; $\bar{D}_3 = \frac{\bar{E}_1 \mu_2 + 2\bar{L}(1 - \mu_1 \mu_2)}{12(1 - \mu_1 \mu_2)}$; \bar{E}_1, \bar{E}_2 - модули упругости; μ_1, μ_2 -

коэффициенты Пуассона; \bar{L} - модуль сдвига.

Функция $\bar{G}(\xi, \eta, \hat{\xi}, \hat{\eta})$ удовлетворяет также граничным условиям, которые описывают способы закрепления печатной платы. В формуле (1) и далее по тексту черта над символом означает комплексное число, ω - угловую частоту колебаний.

Путем решения краевой задачи, состоящей из уравнения (1) и граничных условий, получено следующее соотношение

$$\bar{G}(\xi, \eta, \hat{\xi}, \hat{\eta}) = \sum_{n=1}^{\infty} \left[\sum_{j=0}^3 \bar{C}_{jn} \bar{Y}_{jn}(\eta) + \bar{\Phi}_n(\eta, \hat{\xi}, \hat{\eta}) \right] \sin \pi n \xi, \quad (2)$$

где \bar{C}_{jn} - произвольные постоянные, определяемые из граничных условий по η ,

функции $\bar{Y}_{jn}(\eta)$, $\bar{\Phi}_n(\eta, \hat{\xi}, \hat{\eta})$ - учитывают свойства печатной платы, причем $\bar{Y}_{jn}(\eta)$ - новые фундаментальные функции уравнения (1), $\bar{\Phi}_n(\eta, \hat{\xi}, \hat{\eta})$ - частное решение уравнения (1).

Для математического описания видов воздействия на типовые элементы замены получены функции вынуждающих воздействий для динамического и кинематического возбуждения колебаний.

Функция вынуждающего воздействия для динамического возбуждения колебаний имеет вид

$$\bar{w}_B(\xi, \eta) = a^2 \bar{q}_B \int_{\xi_a}^{\xi_b} \int_{\eta_a}^{\eta_b} \bar{G}(\xi, \eta, \hat{\xi}, \hat{\eta}) d\hat{\xi} d\hat{\eta}. \quad (3)$$

где a - линейный размер печатной платы, \bar{q}_B - интенсивность внешней нагрузки.

Функция вынуждающего воздействия для кинематического возбуждения колебаний имеет вид

$$\bar{w}_K(\xi, \eta) = a^2 \rho h S_0 \omega^2 \int_0^1 \int_0^1 \bar{G}(\xi, \eta, \hat{\xi}, \hat{\eta}) d\hat{\xi} d\hat{\eta}, \quad (4)$$

где a - линейный размер печатной платы, ρ - плотность материала печатной платы, h - толщина печатной платы.

В результате с позиций системного подхода описаны вынужденные колебания элементов конструкций электронных аппаратов, эксплуатируемых в условиях интенсивных вибрационных нагрузок.

3. Моделирование и исследования

В качестве объекта математического моделирования выбрана стеклотекстолитовая печатная плата размерами 233.35x220x1.5 мм, на поверхности которой присутствует печатный рисунок. Для шарнирного закрепления всех сторон печатной платы в типовом элементе замены функция влияния (см. (4)) имеет вид, представленный на рис. 3 а) и б). Здесь по осям x и z отложены номера дискретов печатной платы, для которых выполнятся расчет, а по оси y - величина функции влияния. Рис. 3, а отражает исследования, проводимые на печатной плате разбитой на 10000 дискретов, а рис. 3, б - 100 дискретов. Далее, используя полученную функцию влияния, получаем амплитуду вынуждающего воздействия (3) или (4) для интересующего случая возбуждения колебаний, а, в последствии, амплитуду колебаний срединной поверхности печатной платы и прикрепленного к ней электрорадиоэлемента.

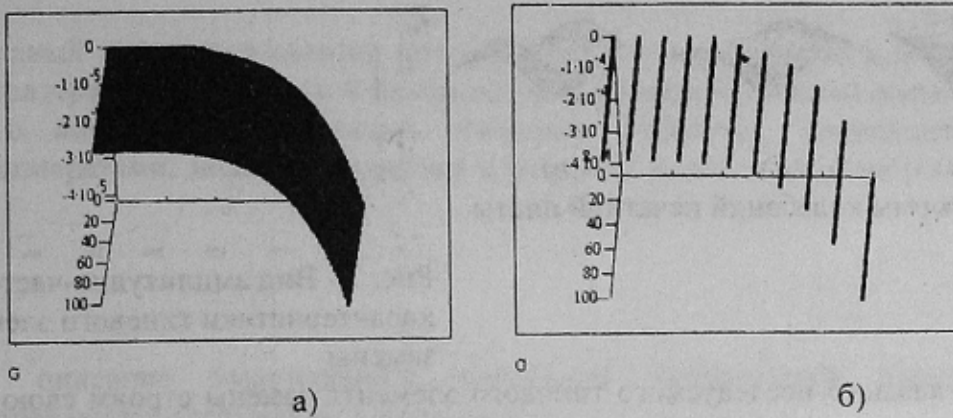


Рис. 3 - Функция влияния для точки печатной платы $x=115$ $y=110$

4. Экспериментальные исследования по проверке адекватности математического аппарата

В ходе экспериментальных исследований по проверке адекватности математического аппарата амплитудно-частотную характеристику типового элемента замены, получаемую в результате математического моделирования, сравниваем с результатами натурных испытаний. При экспериментальных исследованиях снимаем амплитудно-частотную характеристику и находим резонансы (общая схема экспериментальной установки представлена на рис. 4). Структурная схема оснастки для крепления к вибростенду типовых элементов замены, при исследовании адекватности математического аппарата, приведена на рис. 5.

С помощью стробоскопа определяем резонансные частоты (рис. 6) и вблизи резонанса с более мелким шагом строим амплитудно-частотную характеристику (рис. 7). Параметры типового элемента замены, датчиков и вынуждающих воздействий передаем в программу расчета и сравниваем полученные кривые. По результатам сравнения делаем вывод об адекватности математического аппарата.

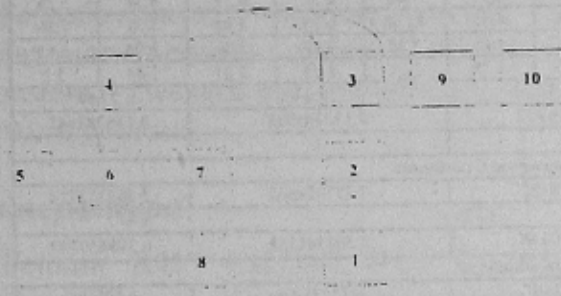


Рис. 4 - Схема установки

1-вибростенд блок генератора синусоидальных колебаний, блок усилителя, блок подмагничивания; 2- оснастка; 3- испытуемый объект; 4-измеритель шума и вибраций; 5- частотомер; 6- осциллограф; 7- осциллограф; 8- фотобумага регистрирующая; 9- строботактометр; 10- осветитель.

Рис. 5 - Схема установки

1- печатная плата; 2- направляющая; 3- датчики; 4- подшипники; 5- крепежные винты; 6- каркас оснастки; 7- пластина крепежа оснастки; 8- крепежные винты; 9- планшайба; 10- отверстия с резьбой; 11- вибратор; 12- элементы коммутации; 13- элементы печатного монтажа; 14- крестовина каркаса оснастки.

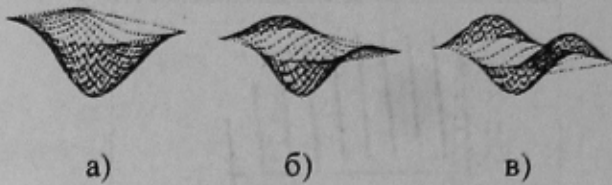


Рис. 6 - Формы колебаний печатной платы

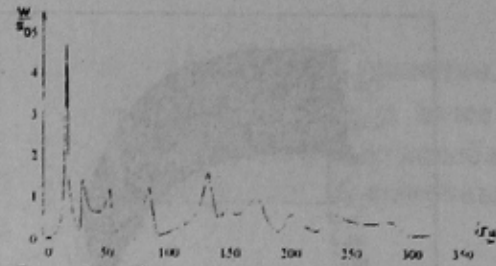


Рис. 7 - Вид амплитудно-частотной характеристики типowego элемента замены

Для каждого исследуемого типowego элемента замены строим свою амплитудно-частотную характеристику и сравниваем с результатами численного моделирования.

5. Результаты экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводим для типowego элемента замены в виде стеклотекстолитовой пластины с печатным монтажом. Амплитудно-частотные характеристики снимаем для трех разных точек печатной платы для исключения попадания в узловые линии. Измерения величины амплитуды производим для последовательного ряда частот с целью нахождения резонансов. В околорезонансных областях исследования проводим с более мелким шагом. Серия испытаний состояла в последовательной записи процесса колебаний сначала при увеличении частоты, а затем при уменьшении частоты. Каждая серия была повторена три раза. Результаты повторов оказались идентичными, поэтому приводим данные лишь для одного из повторов каждой серии.

Экспериментальные данные обрабатываем методами математической статистики. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1

Статистическая обработка экспериментальных данных

Проверка однородности дисперсий по критерию Кохрена											
Выборочные дисперсии	4.51	4.08	5.82	6.55	9.33	8.37	9.02	6.32	6.22	8.34	5.26
Выборочные дисперсии	10.25	9.38	11.42	8.54	11.5	8.05	10.98	6.35	7.88	5.34	5.26
Выборочные дисперсии	3.55	2.88	2.59	3.82	3.94	4.05	3.32	3.28	2.51	2.98	3.11
Выборочные дисперсии	1.95	2.38	3.18	2.65	2.46	1.78	2.21	2.52	3.21	2.04	3.2
Сумма дисперсий	73.82			94.95			36.03			27.38	
Отношение для критерия Кохрена	0.126388513			0.121116377			0.112406328			0.116388687	
Меньше критического (Да - 1, Нет - 0)	1			1			1			1	
Оценка значимости коэффициентов по критерию Стьюдента											
Дисперсия воспроизводимости	6.710909091			8.631818182			3.275454545			2.507272727	
Коэффициент Стьюдента	2.776										
Полученное значение	0.149011108			0.115850448			0.305301138			0.398859759	
Проверка адекватности по критерию Фишера											
Анализируемое отношение	5.96044E-07			4.63402E-07			1.2212E-06			1.60E-06	
Меньше критического (Да - 1, Нет - 0)	1			1			1			1	

Контролируемые результаты, получаемые с помощью интегрированной системы расчета, и статистически обработанные результаты натуральных испытаний сведены на едином графике результатов экспериментальных исследований (рис. 8).

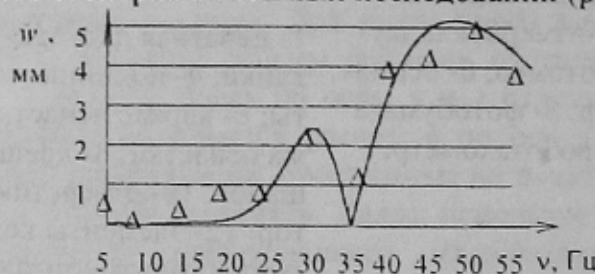


Рис. 8 - Амплитудно-частотная характеристика печатной платы в точке (115, 110)

— - расчетные данные; Δ - экспериментальные данные.

Сравнительный анализ результатов математического моделирования и натуральных испытаний по критерию адекватности Фишера говорит об подтверждении адекватности математического аппарата исследований реальным событиям, происходящим с электронными аппаратами, эксплуатируемыми в условиях интенсивных вибрационных нагрузок.

Заключение

1. Разработано описание вынужденных колебаний конструкций электронных аппаратов, отвечающее следующим требованиям:
 - сочетание универсальности численных методов расчета с быстродействием методов, основанных на аналитических соотношениях;
 - возможность исследования резонансных явлений, для чего необходим учет внутреннего трения в элементах конструкций;
 - возможность конструирования математических моделей сложных конструкций на основе разработанных математических моделей элементов и вынуждающих воздействий;
 - возможность дополнений и совершенствования без изменения общего алгоритма решаемой задачи.
2. Разработана совокупность математических моделей элементов электронных аппаратов, описывающих их механические свойства при вибрационных воздействиях, произведена экспериментальная проверка разработанных математических моделей.
3. Разработанный системный подход, базирующийся на использовании функций влияния и новых фундаментальных функций, позволяет отдельно рассмотреть задачи описания свойств и способов закрепления печатной платы, описания свойств электрорадиоэлементов и описания свойств вынуждающих воздействий.
4. Разработанные математические модели позволяют формализовать и автоматизировать процесс обеспечения виброустойчивости типовых элементов замены электронных аппаратов, тем самым повысить их надежность в процессе эксплуатации.

Литература

1. Генкин Б.И., Смолий В.Н. Система поддержки принятия решений инженера-конструктора электронных аппаратов// Збірник наукових праць Східноукраїнського державного університету: Технічні науки (промисловий транспорт, машинобудування, автоматизація, безпека життєдіяльності). За заг. Ред. В.М.Грибанова. – Луганськ: Вид-во Східноукр. держ. ун-ту, 1999р. - с. 116-117
2. Генкин Б.И., Смолий В.Н. Элементная база электронных аппаратов как составная часть экспертной системы конструктора// Вісник СУДУ, вып.1 (23), Луганск,2000. - с. 123-126.
3. Смолий В.Н. Методика определения вибрационных свойств элементной базы электронной аппаратуры// Вісник СУДУ, вып.2 (24), Луганск,2000. - с. 74-78.