

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 02.05.2024 10:28:10
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11e3bb5738247d54a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
Образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра вычислительной техники

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
« 12 » 08 2020 г.



**РАСЧЕТ ВИБРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы
для студентов направления подготовки 09.03.01
Информатика и вычислительная техника

Курск 2020

УДК 658.512.621:681.3

Составители: Д.В. Титов, Т.А. Ширабакина

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *И.Е. Чернецкая*

Расчет вибрационных характеристик печатной платы:
методические указания по выполнению лабораторной работы /Юго-Зап. гос.
ун-т; сост.: Д.В.Титов, Т.А.Ширабакина.- Курск, 2020.- 10 с.: ил.2, табл.4.-
Библиогр.: с.10.

Рассматриваются характеристики вибрационных воздействий на ЭВС и методы расчета собственных колебаний. Указывается порядок выполнения лабораторной работы. Приводятся контрольные вопросы.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы по дисциплине «Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ» направления подготовки 09.03.01 Информатика и вычислительная техника.

Предназначены для студентов направления подготовки 09.03.01 очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 12.08.20. Формат
Усл. печ. л. 0,5 Уч.-изд. л. 0,4 Тираж 100 экз. Заказ. 241
Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

1 Характеристики вибрационных воздействий

В процессе эксплуатации ЭВС подвергаются механическим воздействиям: линейные ускорения, вибрации, удары.

Под *вибрацией* понимают механические колебания конструкции в целом или ее элементов. Вибрацию описывают с помощью виброперемещения, виброскорости и виброускорения. Вибрация может быть периодической или случайной. Периодическая вибрация подразделяется на гармоническую и полигармоническую, а случайная – на стационарную, нестационарную, узкополосную и широкополосную. Гармоническая вибрация в реальных условиях встречается редко (обычно в лабораторных испытаниях конструкций), но широко применяется при теоретическом анализе вибраций.

Виброперемещение при гармонической вибрации определяется как

$$Z(t) = Z_0 \sin \omega t, \quad (1)$$

где Z_0 – амплитуда виброперемещения; ω – частота вибраций.

Выражения для виброскорости и виброускорения находят путем дифференцирования выражения (1):

$$v(t) = dz / dt = \omega Z_0 \cos \omega t; \quad (2)$$

$$a(t) = d^2 z / dt^2 = -\omega^2 Z_0 \sin \omega t. \quad (3)$$

Для случайной вибрации ее параметры (амплитуда виброперемещения, частота и др.) изменяются во времени случайно.

В результате механических воздействий в элементах конструкции ЭВС могут происходить обратимые и необратимые изменения. В зависимости от физики протекающих в конструкции процессов факторы, вызывающие обратимые изменения, можно классифицировать следующим образом:

- деформации в активных и пассивных элементах, приводящие к изменению их параметров (конденсаторы, катушки индуктивности, пьезоэлектрические кварцевые резонаторы, электровакуумные приборы и др.);

- нарушения электрических контактов в разъемах и неразъемных соединениях, вызывающие изменение омического сопротивления контактов;

- изменение параметров электрических, магнитных и электромагнитных полей, которое может привести к нарушению условий электромагнитной совместимости в конструкции.

Необратимые изменения свойственны конструктивным элементам ЭВС, связаны с нарушением условий прочности и проявляются в механических разрушениях элементов.

Конструкции ЭВС, работающие в условиях механических воздействий, должны отвечать требованиям прочности и устойчивости. Под *вибропрочностью* к воздействию механических факторов подразумевается способность конструкций выполнять функции и сохранять значения параметров в пределах норм, установленных стандартами, после воздействия

механических факторов. Под *виброустойчивостью* к воздействиям механических факторов понимают способность конструкции выполнять заданные функции и сохранять свои параметры в пределах норм, установленных стандартами, во время воздействия механических факторов.

Конструкция ЭВС представляет собой сложную механическую систему, в которой могут возникать резонансные колебания, усиливающие механические нагрузки в десятки раз.

Наиболее эффективным способом борьбы с резонансными колебаниями является частотная отстройка. На практике чаще всего используют условие: $\omega_0 > 2\omega$, где ω_0 – резонансная частота механической системы; ω – частота внешних механических воздействий. Влиять на спектр собственных частот колебаний можно изменением геометрических размеров плат, способов их крепления, материала, конфигурации и массы конструкции.

2 Модель печатной платы

Так как конструкция печатной платы представляет собой сложную механическую систему, состоящую из бесконечно большого числа материальных точек, то переходят к упрощенным абстрактным моделям на основе прямоугольной пластины, с определенным закреплением сторон.

Расчет частоты свободных колебаний прямоугольных пластин производится на основе следующих допущений:

- изгибные деформации пластин при вибрации, по сравнению с ее толщиной, малы, упругие деформации подчиняются закону Гука;
- пластина имеет постоянную толщину;
- в пластине имеется нейтральный слой, который при изгибных колебаниях пластины не подвержен деформациям растяжения-сжатия;
- материал пластины идеально упругий, однородный и изотропный;
- все прямые, нормальные к поверхности нейтрального слоя до деформации, остаются прямыми и нормальными к ней после деформации.

Дифференциальное уравнение свободных незатухающих колебаний пластины имеет следующий вид:

$$m \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} + D \left(\frac{\partial^4 z}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 z}{\partial y^4} \right) = 0, \quad (4)$$

где $z = z(x, y, t)$ – виброперемещение пластины, определяемое в точке с координатами x, y ; m – масса пластины; $D = Eh^3 / 12(1 - \varepsilon^2)$ – жесткость пластины на изгиб (цилиндрическая жесткость); E, ε – соответственно модуль упругости и коэффициент Пуассона материала; h – толщина пластины.

Уравнение (4) имеет точное решение для свободных колебаний прямоугольных пластин, две противоположные стороны которых свободно опираются, при любом закреплении двух других сторон. Решение уравнения собственных колебаний имеет вид

$$z(x, y, t) = K_{\phi}(x, y) \exp(j\omega_0 t). \quad (5)$$

Амплитудная функция $K_{\phi}(x, y)$, называемая собственной формой колебаний пластины, определяется выражением

$$K_{\phi}(x, y) = A_{k,n} \sin\left(\frac{k\pi x}{a}\right) \sin\left(\frac{n\pi y}{b}\right), \quad (6)$$

где a, b – размеры сторон пластины; k, n – число полуволн синусоиды в направлении осей x и y соответственно.

В случае свободного опирания всех сторон частота свободных колебаний пластины может быть найдена по формуле

$$\omega_0 = \pi^2 \left[\left(\frac{k}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2 \right] \sqrt{\frac{D}{\rho h}}, \quad (7)$$

где $k, n = 1, 2, 3, \dots$ – число полуволн синусоиды, укладываемых вдоль сторон пластины; a, b – размеры сторон; ρ – плотность материала пластины. Низшая частота собственных колебаний пластины ω_{01} соответствует $k = n = 1$ и определяется следующим выражением:

$$\omega_{01} = \pi^2 \frac{a^2 + b^2}{a^2 b^2} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho(1-\varepsilon^2)}}. \quad (8)$$

3 Приближенные методы расчета собственных колебаний пластин

Реальные конструкции печатных плат не соответствуют требованиям однородной пластины, что приводит к многообразию краевых условий пластины. В таких случаях применяются приближенные решения уравнения (4) по методам Рэлея, Ритца и др.

Метод Рэлея позволяет учесть нагружение печатной платы функционального узла с установленными на ней элементами и получить выражение для расчета частоты свободных колебаний платы, справедливое при любых краевых условиях. Частота свободных колебаний основного тона печатной платы определяется по формуле

$$\omega_{01} = \frac{\alpha_1}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m_s + m_0}}, \quad (9)$$

где α_1 – коэффициент, характеризующий зависимость частоты свободных колебаний пластины от краевых условий; a – большая сторона пластины; m_s, m_0 – приведенные к площади пластины массы элементов и самой пластины.

Коэффициент α_1 находится из формул, приведенных в таблице 1, в зависимости от схемы закрепления и соотношения сторон пластины $\beta = a/b$.

Выражение (9) обеспечивает достаточную точность лишь при расчете частоты основного тона. С ростом номера тона (обертон) точность результатов расчета существенно снижается.

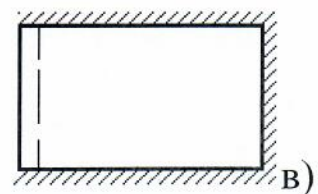
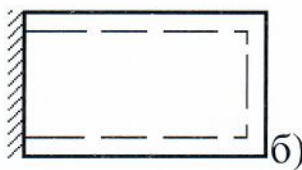
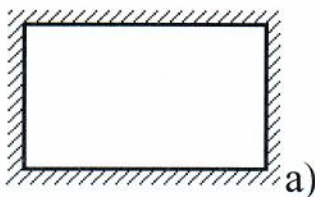
Метод Ритца, являющийся развитием метода Рэлея, позволяет определять частоты свободных колебаний пластины на основном тоне и обертонах для различных краевых условий. Наибольшее применение находит формула

$$\omega_{0i} = K_{\vartheta} \frac{\alpha_{ij}}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m}}, \quad (10)$$

где α_{ij} – коэффициент, зависящий от способа закрепления пластины, соотношения ее сторон и номера тона колебаний; $m = (m_n + m_{\vartheta}) / (ab)$ – масса пластины, приведенная к площади; $K_{\vartheta} = 1 / \sqrt{1 + m_{\vartheta} / m_n}$ – коэффициент, учитывающий нагрузку пластины с размещенными на ней элементами; m_{ϑ} – масса элементов, размещенных на пластине; m_n – масса пластины.

Таблица 1 - Формулы вычисления коэффициента α_i в зависимости от варианта закрепления сторон пластины

№	Вариант крепления пластины (рисунок 1)	Формулы расчета α_i
1	a	$22,37(1 + 0,61\beta^2 + \beta^4)^{1/2}$
2	б	$15,42(1 + 0,95\beta^2 + 0,41\beta^4)^{1/2}$
3	в	$15,42(1 + 1,19\beta^2 + 2,1\beta^4)^{1/2}$
4	г	$22,37(1 + 0,48\beta^2 + 0,19\beta^4)^{1/2}$
5	д	9,87
6	e	$9,87(1 + 2\beta^2 + \beta^4)^{1/2}$



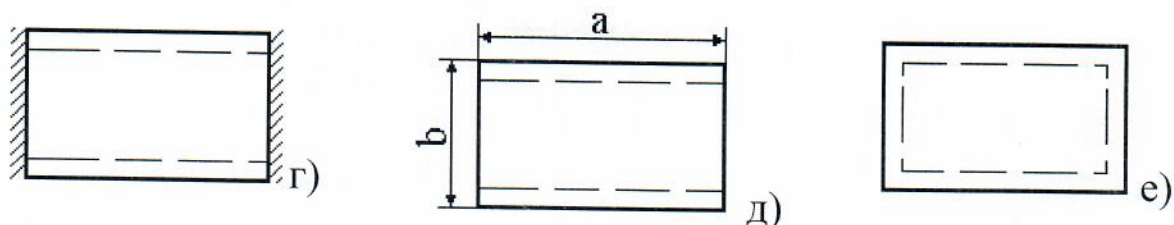


Рисунок 1 - Варианты крепления пластины: - сторона закреплена; - сторона лежит на опоре (в направляющей)

Для упрощения процедуры расчета частоты свободных колебаний пластины основного тона формула (10) преобразуется к виду:

$$f_{01} = 10^5 K_m K_\rho \frac{Ch}{a^2}, \quad (11)$$

где $C = \frac{\alpha_1}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{m}}$ - частотная постоянная для пластины, изготовленной из стали; a - большая сторона пластины; $K_m = \sqrt{E\rho_c / (E_c\rho)}$ - поправочный коэффициент на материал пластины; E, E_c - модули упругости материала пластины и стали; ρ, ρ_c - плотности материала пластины и стали соответственно. В таблице 2 приведены значения частотной постоянной C для различных вариантов закрепления и соотношения сторон a/b стальной пластины.

Таблица 2 - Частотная постоянная C стальной пластины

Схема закрепления пластины (рисунок 1)	Значение C при соотношении сторон a/b , равном					
	1	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
a	86	145	234	352	497	868
b	56	84	124	176	240	864
v	76	139	230	349	494	866
z	69	93	131	181	244	406
d	38	70	112	165	230	394
e	47	76	117	170	234	375

В случае точечного крепления печатных плат (рисунок 2) собственная частота колебаний определяется по формуле

$$f_0 = 1,57 \left(A + \frac{1}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{m}}, \quad (12)$$

где $A = 1/a^2$ при числе точек крепления $n = 4$; $A = 4/(a^2 + b^2)$ при $n = 5$; $A = 0,25/a^2$ при $n = 6$.

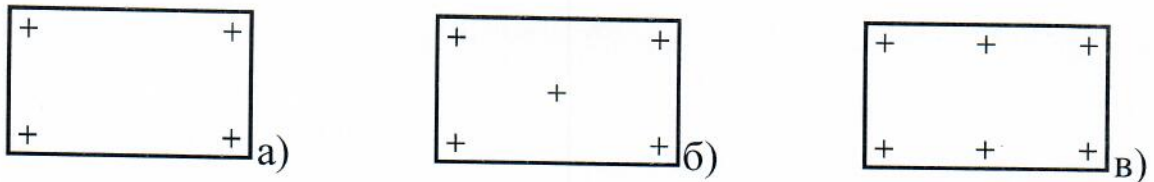


Рисунок 2 - Точечное крепление плат

Для прямоугольной пластины, свободно опертой по контуру и имеющей параллельные сторонам ребра жесткости с одинаковыми прямоугольными поперечными сечениями, первая собственная частота колебаний определяется из выражения

$$f_{01} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{B + \frac{r+1}{k+1} \xi^4 B + aD(\xi^2 + 1)^2}{b^3 \left(m_y + \frac{r+1}{k+1} m_x + \frac{m_n}{k+1} \right)}}, \quad (13)$$

где a, b – длина и ширина пластины; r, k – число ребер, параллельных осям X и Y ; m_n, m_x, m_y – массы пластин и ребер, параллельных осям X и Y соответственно; $\xi = b/a$; D – цилиндрическая жесткость пластины;

$B = E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12}$ – жесткость ребра; E_1 – модуль упругости материала ребра; b_1, h_1 – ширина и высота ребра.

4 Задание для самостоятельной работы

1. Для заданных размеров ПП (таблица 3), изготовленной из стеклотекстолита, исследовать влияние соотношения сторон a/b на низшую частоту собственных колебаний пластины ω_{01} в следующих случаях: свободного опирания по формуле (8); метода Рэлея по формуле (9); метода Ритца по формуле (11). Способ закрепления задается преподавателем. Результаты представить в виде графика.

Таблица 3 - Исходные данные для расчетов

Размер стороны ПП a , см	Диапазон изменения соотношения сторон ПП a/b	Толщина ПП h , см	Модуль упругости $E \cdot 10^{-10}$, Н/м ²	Коэффициент Пуассона ν	Плотность материала $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³
$a = 5 + N$, где N - номер варианта	[0,5 ÷ 3] с шагом 0,5	0,2	3,2	0,279	2,47

2. Исследовать влияние способа закрепления ПП на низшую частоту собственных колебаний пластины ω_{01} для метода Рэлея. Соотношение сторон ПП задается преподавателем. Результаты представить в виде таблицы.

Частота собственных колебаний пластины ω_{01} в зависимости от способа закрепления ПП (рисунок 1)					
а)	б)	в)	г)	д)	е)

3. Для заданных размеров ПП (таблица 3), изготовленной из стеклотекстолита, исследовать влияние соотношения сторон a/b на низшую частоту собственных колебаний пластины ω_{01} в случае точечного закрепления ПП (рисунок 2) в соответствии с выражением (12). Способ закрепления задается преподавателем. Результаты представить в виде графика.

4. Исследовать влияние способа точечного закрепления ПП на низшую частоту собственных колебаний пластины ω_{01} . Соотношение сторон ПП задается преподавателем. Результаты представить в виде таблицы.

Частота собственных колебаний пластины ω_{01} в зависимости от способа закрепления ПП (рисунок 2)		
а)	б)	в)

5. Для заданных размеров ПП (таблица 3), изготовленной из стеклотекстолита, исследовать влияние ребер жесткости на низшую частоту собственных колебаний пластины ω_{01} в соответствии с выражением (13). Исходные данные для ребер жесткости приведены в таблице 4. Количество ребер жесткости задается преподавателем.

Таблица 4 – Исходные данные

Ширина ребра жесткости b_1 , мм	Высота ребра жесткости h_1 , мм	Материал	Модуль упругости $E \cdot 10^{-10}$ Н/м ²	Коэффициент Пуассона ν	Плотность материала $\rho \cdot 10^{-3}$ кг/м ³
3	1	Алюминий	7,3	0,3	2,7
2	1	Сталь	22	0,3	7,8

Контрольные вопросы

1. Что понимается под гармонической и полигармонической вибрацией?

2. Дайте характеристику случайной вибрации.
3. Приведите характеристику модели печатной платы.
4. Перечислите особенности амплитудно-частотной характеристики механической колебательной системы.
5. Назовите особенности расчетов собственных частот ПП методами Рэлея и Ритца.
6. Перечислите методы борьбы с механическими воздействиями в конструкциях ЭВС.
7. Приведите характеристики изменений в элементах конструкции ЭВС, вызванные механическими воздействиями.
8. Дайте определение вибропрочности и виброустойчивости конструкции ЭВС.

Библиографический список

1. Медведев А.А. Печатные платы. Конструкции и материалы.- М.: Высшая школа, 2005.-228с.
2. Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ: учеб. пособие / Т.А. Ширабакина, С.Н. Гвоздева, Д.В. Титов; Юго-Зап. гос. ун-т.- Курск,2019.- 200 с.