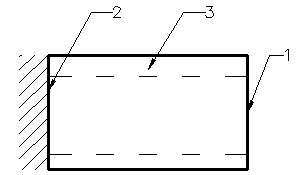
**Определение частоты собственных колебаний печатных плат**

При расчете динамических характеристик ячеек РЭА их часто представляют в виде пластин постоянной толщины, состоящей из упругого однородного и изотропного материала. К таким пластинам можно отнести печатные платы, основания шасси и другие плоские конструкции постоянной толщины.

Крепление пластин к опоре может быть жестким или подвижным (рис.21). При жестком закреплении нет угловых и линейных перемещений. Шарнирная опора исключает линейное перемещение, но при этом возможен поворот по опертой стороне.

|  |
| --- |
| Рис.21. Условное обозначение способов крепления пластин |



1 – свободный край;

2 – жесткозащемленный край;

3 – свободноопертый край.

Для всех возможных способов закрепления пластины собственная частота вибрации определяется по формуле:



где,

D – цилиндрическая жесткость пластины, Нм;



a – длина пластины, м;

Kα – коэффициент, зависящий от способа крепления печатной платы;

g – ускорение свободного падения, м/c2;

μ – коэффициент Пуассона для материала платы;

E – модуль упругости материала платы, Н/м2;

h –толщина платы, м.

Формулы для расчета коэффициентов Kα в зависимости от способа крепления печатной платы приведены в табл.5.

**Способы закрепления печатных плат**

Табл.5.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Эскиз закрепления  платы | Формула  для  определения  Кα | Эскиз закрепления  платы | Формула  для  определения  Кα |
|  |  |  | 9,87(1+Y2) |
|  |  |  | 3,52A/B |
|  |  |  | 9,87Y2 |
|  |  |  | 9,87 |
|  |  |  | 22,37 |
|  |  |  | 22,37Y2 |
|  |  |  | 3,52 |
|  |  |  | 3,52Y2 |
|  |  |  | 15,42 |
|  |  |  | 15,42Y2 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  | a –большая сторона платы  b – меньшая сторона платы  Y=a/b |

Kα – коэффициент, зависящий от способа крепления печатной платы;

g – ускорение свободного падения, м/c2;

μ – коэффициент Пуассона для материала платы;

E – модуль упругости материала платы, Н/м2;

h –толщина платы, м.

Реальные конструкции электронных устройств не соответствуют требованиям однородности пластины, а разновидность внутренних структур приводит к многообразию краевых условий пластин.

Для расчета частоты свободных колебаний печатных плат используют метод Рэлея-Ритца. Этот метод позволяет учесть массу радиоэлементов, размещенных на плате и получить соотношение для расчета частоты свободных колебаний платы при любых краевых условиях.



где,

a – длина пластины, м;

Kα – коэффициент, зависящий от способа крепления печатной платы;

D – цилиндрическая жесткость пластины, Нм;



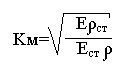
μ – коэффициент Пуассона для материала платы;

E – модуль упругости материала платы, Н/м2;

h –толщина платы, м.

m – приведенные к площади пластины массы радиоэлементов и печатной платы.

Если пластина изготовлена не из стали, а из другого материала, то вводится поправочный коэффициент на материал платы:



где,

Е – модуль упругости для материала платы, Н/м2;

Ест – модуль упругости для стали, Н/м2;

ρ – плотность материала платы, кг/м3;

ρст – плотность стали, кг/м3.

Модуль упругости Е, коэффициент Пуассона μ, плотность материала печатной платы ρ зависят от количества слоев, их толщины и материала, поэтому такие характеристики могут быть определены экспериментально, либо расчетным путем для каждого конкретного случая. В табл. 6 приведены характеристики некоторых материалов печатных плат.

**Характеристики материалов для печатных плат**

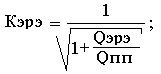
Табл.6.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Марка материала | Плотность,  ρ, г/см3 | Модуль упругости, Е·106, Н/см2 | Коэффициент Пуассона, μ |
| СТЭФ | 2,47 | 3,3 | 0,279 |
| СТЭ | 1,98 | 3,5 | 0,21 |
| НФД | 2,32 | 3,45 | 0,23 |
| СФ | 1,85 | 3,02 | 0,22 |
| Сталь 20 | 7,82 | 22 | 0,25 |

Плотность фольгированных материалов зависит от толщины листа. С увеличением толщины листа плотность уменьшается. Так плотность стеклотекстолите СФ-2-50 изменяется следующим образом:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| h,мм | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| ρ,г/см3 | 3,34 | 2,47 | 2,18 | 2,03 | 1,94 | 1,89 |

Если печатная плата нагружена радиоэлементами, то вводится поправочный коэффициент на массу радиоэлементов.



где,

Qэрэ – масса элементов, равномерно размещенных на печатной плате;

Qпп = ρпп·Sпп· hпп – масса печатной платы;

Окончательно формула для приближенного определения собственной частоты вибрации равномерно нагруженных пластин принимает вид:



*Пример:*

Определить собственную частоту вибрации печатной платы, изготовленной из материала СТЭФ –2 –1,5 –35, размером 120х100 мм2.

Масса элементов, размещенных на плате mэрэ=35 гр =35,3∙10-3кг.

Крепление печатной платы соответствует рис.22.

|  |
| --- |
| Рис.22 |



*Исходные данные для расчета:*

h=1,5 мм =1,5∙10-3м – толщина платы из марки материала;

ρ=2,47 г/см3 =2,47 ·103кг/м3– плотность материала платы;

μ= 0,279 – коэффициент Пуассона;

Е=3,3·106 Н/см2 =3,3·1010 Н/м2 – модуль упругости для платы;

Ест= 22 ·106 Н/см2 =22 ·1010 Н/м2 – модуль упругости для стали;

ρст= 7,82 г/см3= 7,82 ·103кг/м3- плотность стали;

h=1,5 мм =1,5∙10-3м – толщина платы;

Sпп=120·10-3·100·10-3=1,2·10-2м2 – площадь печатной платы.

1. Коэффициент, зависящий от способа крепления печатной платы выбираем из таблицы. Кα=22, 37

2. Цилиндрическая жесткость материала платы:



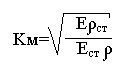
D=3,3·1010··(1,5∙10-3)3/12(1-0,2792)= 10,0646 Нм;

3. Масса печатной платы:

Qпп = ρпп·Sпп· hпп =2,47 ·103·1,2·10-2·1,5∙10-3=0,04446 кг.

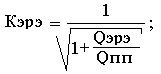
4. Приведенная к площади пластины масса радиоэлементов и печатной платы: (Qэрэ+ Qпп)/Sпп =(35∙10-3+0,04446)/ 1,2·10-2 =6,62 кг/м2.

5. Коэффициент, учитывающий материал печатной платы:



Км=√ (3,3·1010∙7,82 ·103)/ (22 ·1010∙2,47 ·103)=0,689

6. Коэффициент, учитывающий массу радиоэлементов, размещенных на плате:



Кэрэ=1/√1+35∙10-3/0,04446 =0,748;

7. Определяем частоту вибрации печатной платы:



fo=22, 37/2π (120·10-3)2·(√10,0646/6,62)∙ 0,689∙0,748=157 Гц.

Если собственная частота вибрации превосходит частоту внешних воздействий, то условие вибропрочности выполнено. В противном случае необходимо повысить жесткость печатной платы.