

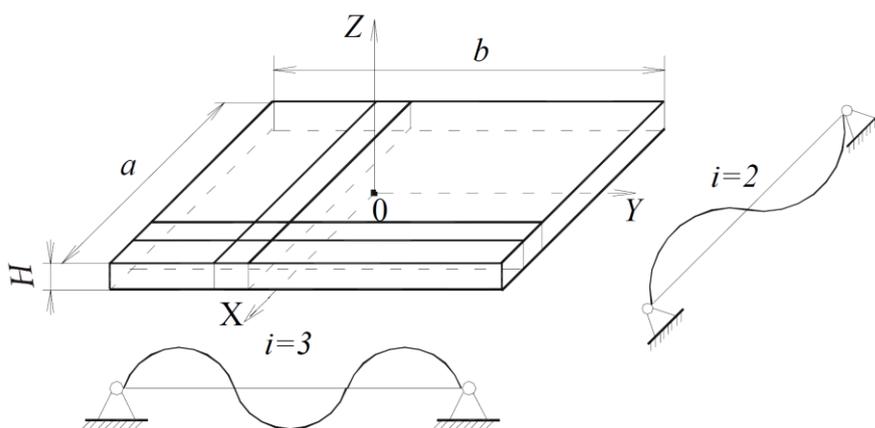
## Лекция 6

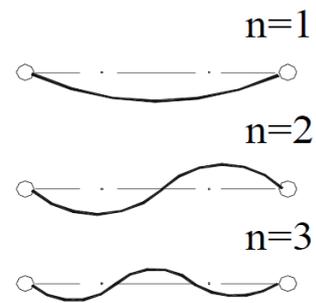
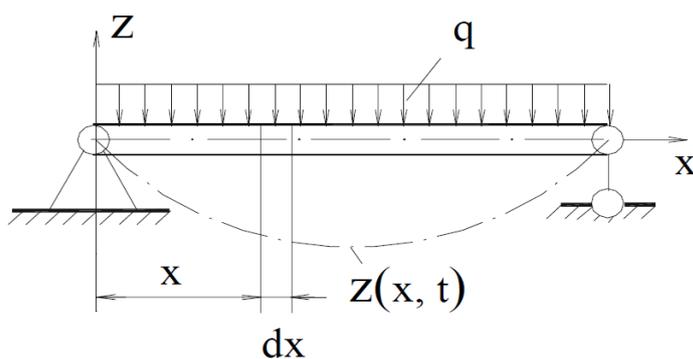
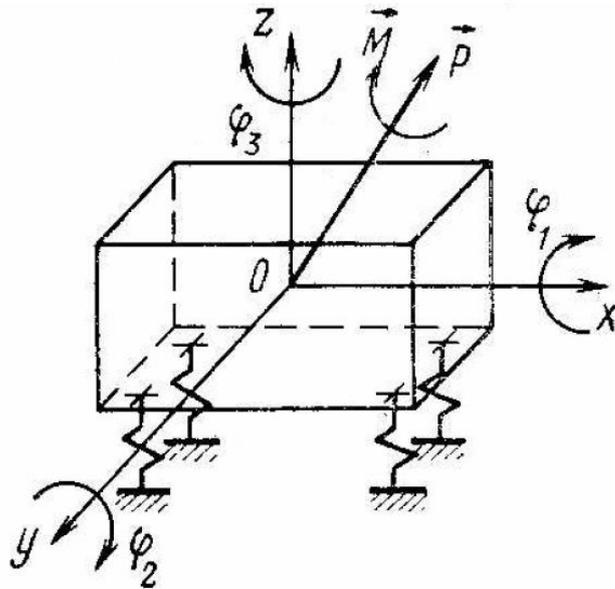
### Методы расчётов деформирования и колебания конструкции электронных средств.

#### Исходные данные для расчёта

- Согласно исходным данным работе рассматриваются конструкции не выше первого структурного уровня. На первом структурном уровне неделимые элементы, относящиеся к нулевому уровню, объединяются в схемные сочетания по средствам сборочной операции. Следовательно, объектом исследования будут узлы, модули, платы и микросборки. К конструкциям первого структурного уровня относятся: базовая несущая конструкция первого уровня радиоэлектронного средства (РЭС) или электронный модуль первого уровня. Согласно ГОСТ Р 51676-2000 базовая несущая конструкция первого уровня РЭС это конструкция предназначенная для размещения электронных модулей нулевого цикла, изделий электронной техники и электротехнических изделий. Также в соответствии с ГОСТ Р 51676-2000 электронный модуль первого уровня это модуль, выполненный на основе базовой несущей конструкции первого уровня РЭС. Исследование в программе SolidWorks конструкций более высоких структурных уровней будет структурировано аналогично, что обусловлено структурой исследования в самой программе.

#### Представление конструкции при аналитическом расчёте



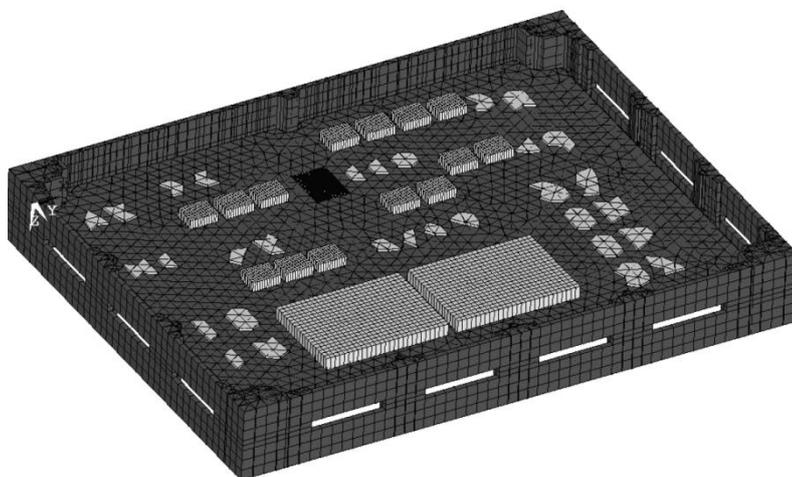
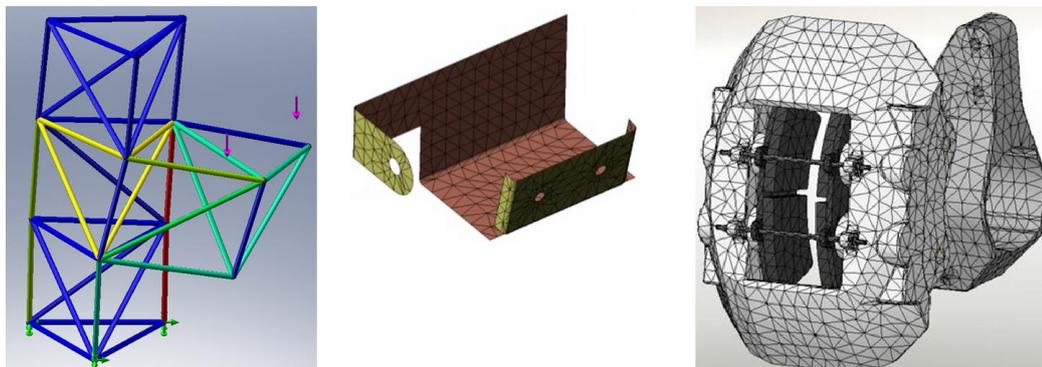


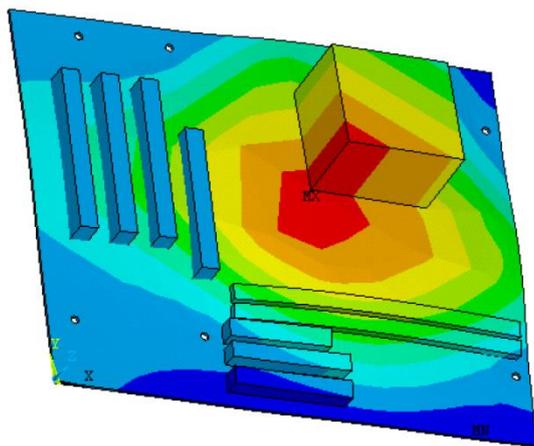
- Расчеты процессов деформирования конструкций относятся к краевым Задачам математической физики. При постановке такой задачи необходимо определить область, в которой протекает физический процесс деформирования, внешние воздействия, или граничные условия, и начальное состояние конструкций. Кроме того, нужно задать уравнения движения, или уравнения взаимодействия соседних точек конструкции, в процессе деформирования. Решение краевой задачи в общем случае сложно. Поэтому всегда стремятся упростить задачу, используя некоторые свойства конструкций. Наибольшие упрощения задачи получаются, если удастся перейти от динамической нестационарной задачи к статической или стационарной. В случае статической задачи внешние воздействия и состояние конструкции во времени не меняются. Время как независимая переменная исчезает. В стационарной задаче движение всех точек конструкции происходит по

некоторому известному закону, чаще всего по гармоническому. Тогда решение можно представить в виде известной функции времени, и после подстановки этого решения в дифференциальное уравнение в частных производных время как независимая переменная исключается. Также стремятся уменьшения количества независимых переменных, используя различных особенностей формы конструкций.

- При расчёте печатных плат учитывают их малую толщину пластин по сравнению с ее шириной и длиной приводят трехмерную задачу к двумерной. При этом остается только две независимые переменные координаты. При расчетах стержней исключаются две координаты и остается одна независимая координата вдоль оси стержня. Наконец, можно задаться тем, что конструкция абсолютно жесткая и не деформируется. К такому приему прибегают при расчете движения блоков на амортизаторах.

### Представление конструкции при аналитическом расчёте



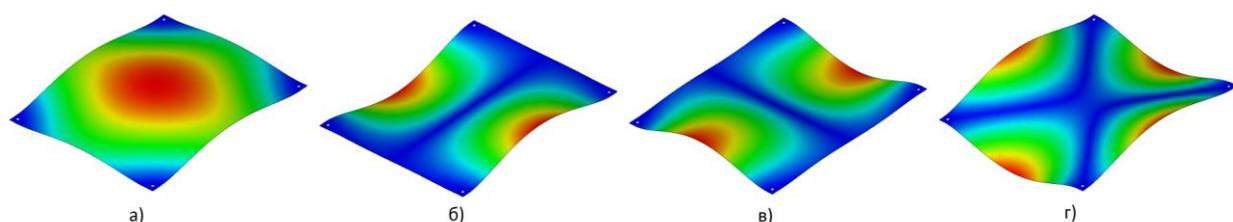


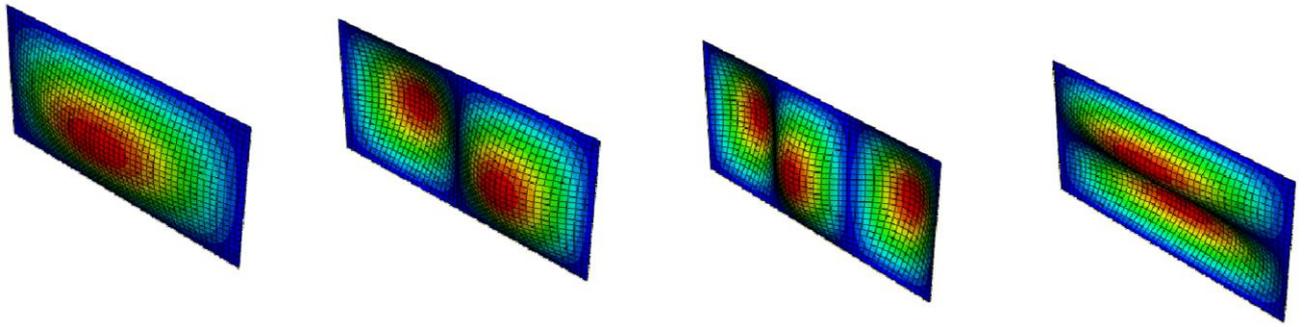
- Численные методы решения краевых задач являются приближенными. Наибольшее распространение получили дискретные численные методы — метод конечных элементов. Главное преимущество численных методов состоит в том, что нет принципиальных препятствий для составления соответствующих систем алгебраических уравнений при любой конфигурации деталей конструкций и любых начальных и граничных условиях. Поэтому с помощью этих методов можно производить расчеты неоднородных конструкций сложной формы. Для того чтобы получить решение необходимо решить систему алгебраических уравнений, в которых количество уравнений равно произведению числа элементов на число неизвестных в каждом элементе и на число шагов по времени. Подобный объем вычислений целесообразно выполнять только с помощью ЭВМ. При исследовании методом конечных элементов модель представляет собой систему подобластей, называемых элементами, которые описывают форму конструкции. Эти подобласти или элементы и образуют сетку модели. Элементы сетки могут располагаться по области произвольно. Соответственно плотность сетки может изменяться на протяжении всей модели, в зависимости от ожидаемого изменения уровня механического напряжения в конкретной области. Регионы, в которые механическое напряжение меняется в широком диапазоне значений, как правило, требуют более высокую плотность сетки. Также могут использоваться несколько типов элементов. Сетку модели для таких объектов как балки можно создать с помощью одномерных элементов «лучей», для пластин или листового металла при помощи двумерных «элементов оболочки», для объёмных же объектов используются трёхмерные «твердотельные элементы».

## Сравнение результатов расчёта для четырёх опертой платы

а, мм	b, мм	Способ решения	Частоты гармоник, Гц			
			первая	вторая	третья	четвёртая
120	120	SolidWorks	272,62	500,73	500,81	568,79
		Аналитический	171,10	171,10	342,20	684,39
		Ошибка, %	37%	66%	32%	-20%
156	120	SolidWorks	185,31	324,13	419,27	462,54
		Аналитический	115,43	195,08	310,51	461,73
		Ошибка, %	38%	40%	26%	0%
204	120	SolidWorks	113,83	213,74	307,57	411,19
		Аналитический	77,19	223,08	300,28	308,77
		Ошибка, %	32%	-4%	2%	25%
170	170	SolidWorks	121,89	230,03	230,07	266,52
		Аналитический	120,78	120,78	241,55	483,10
		Ошибка, %	1%	47%	-5%	-81%
221	170	SolidWorks	83,98	152,19	191,64	217,27
		Аналитический	81,48	137,70	219,19	325,93
		Ошибка, %	3%	10%	-14%	-50%

## Формы колебаний плат для разного типа крепления

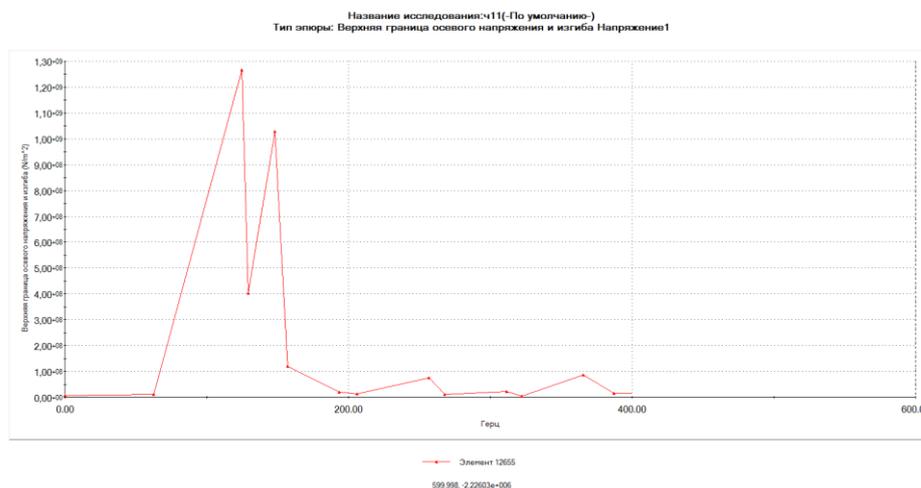
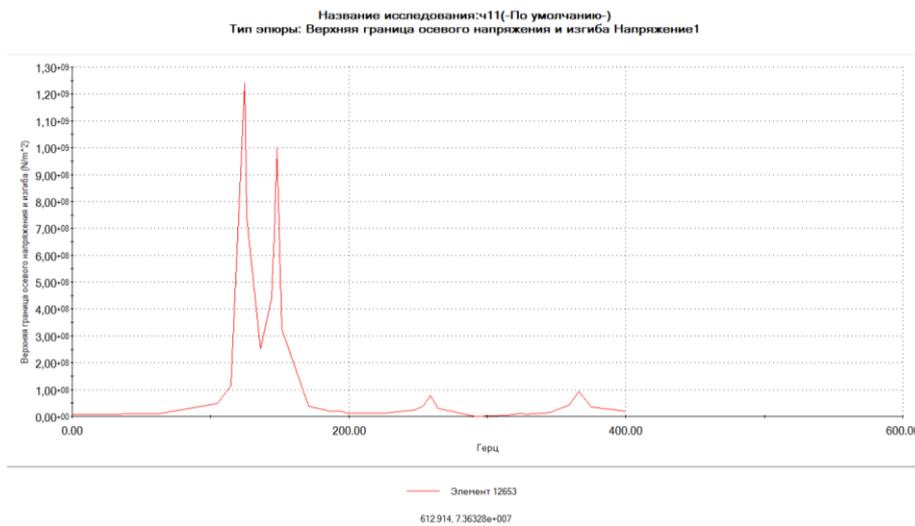
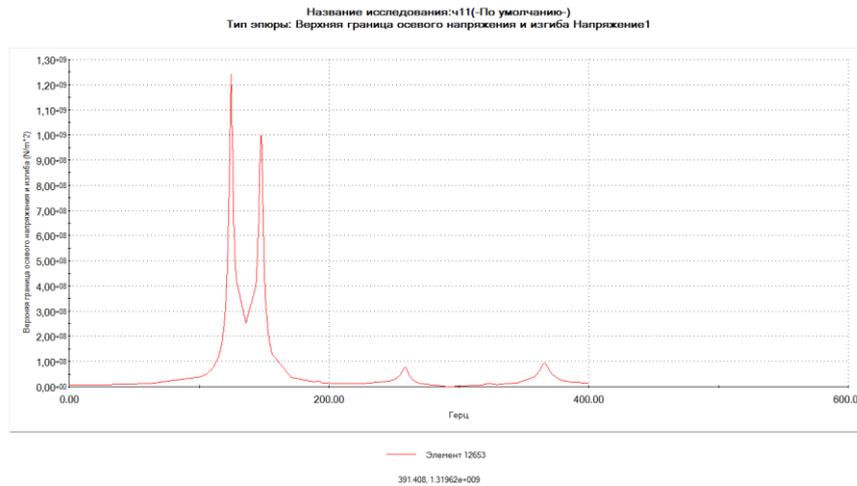


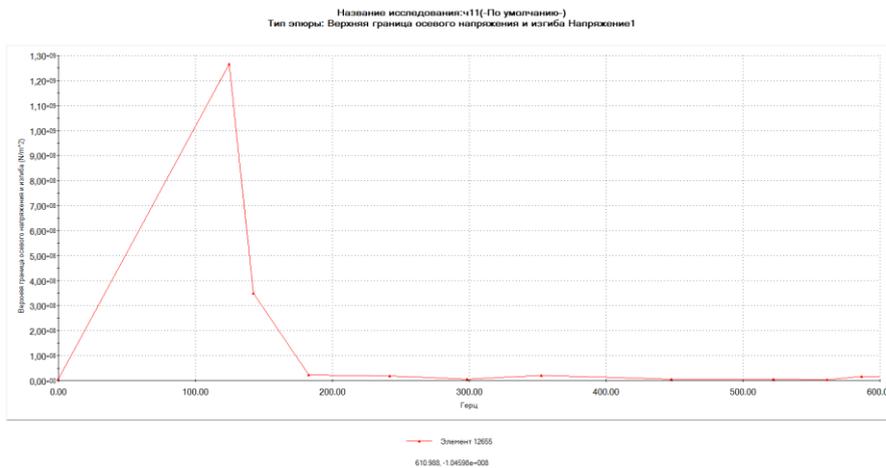


- Существуют работы сравнивающие значения полученные аналитически и в соответствующих программах , подобные работы показывают хорошую сходимость результатов, однако в подобных работах используется модели соответствующие тем что что используются при составление аналитических уравнении, например печатная плата заземлённая по краям . В данной же работе сравнивались результаты для четырех опертой платы рассчитанной аналитически и в программе, при этом использовались формулы представленные в литературе. Разница между результатами оказалась значительной и в некоторых случаях может доходить до 60%.
- Учитывая всё выше описанное, стоит отметить форма колебаний полученных в SolidWorks simulation для пластины, закреплённой по краям винтами, не соответствует описанию представленное на рисунке 2.1. И нельзя сопоставить форме колебания число полуволн по длинной и короткой стороне. Так например гармоники с индексами  $f_{10}$  и  $f_{01}$  вообще не присуще уравнению представленному в формуле (2.13), к тому же частота с индексом  $f_{11}$  не является первой гармоникой и скорее сопоставима с четвертой гармоникой. Результаты полученные при помощи уравнения в формуле (2.31) также не оказались достаточно точными к тому же гармоники там представляются при помощи тех же индексов
- Само представление частот числом полуволн как видно из рисунка является не корректным, если для закреплённой по краям платы мы можем легко представить число полуволн, то сопоставить числа полуволн для четырех опертой платы является проблематичным Таким образом аналитическое решение хоть и позволяет получить значения быстро , наглядно показать влияние тех или иных факторов , но ввиду того что описание конструкции упрощается для получения решения его точность снижается, особенно это справедливо для

расчёта реальных конструкций которые имеют сложную конструкцию не поддающихся аналитическому описанию .

## Напряжение в выводе радиоэлемента при различном числе точек в гармоническом исследовании

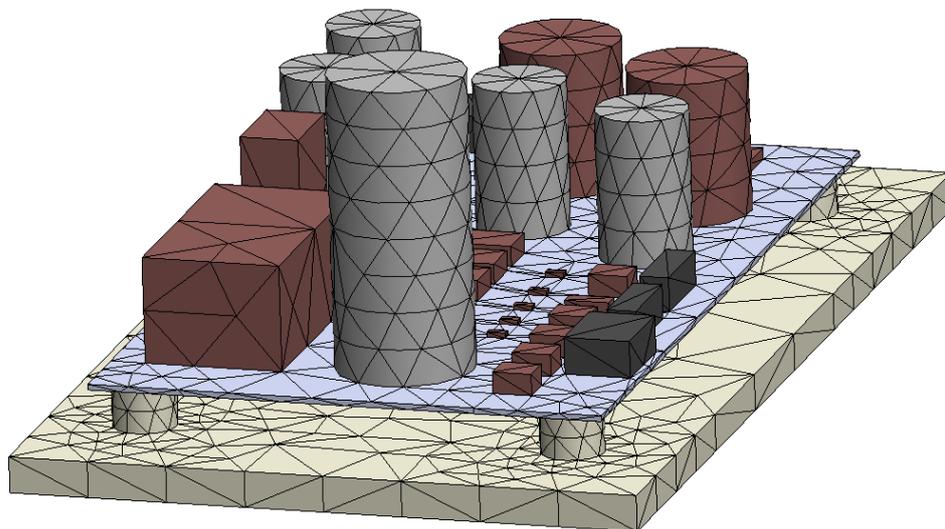
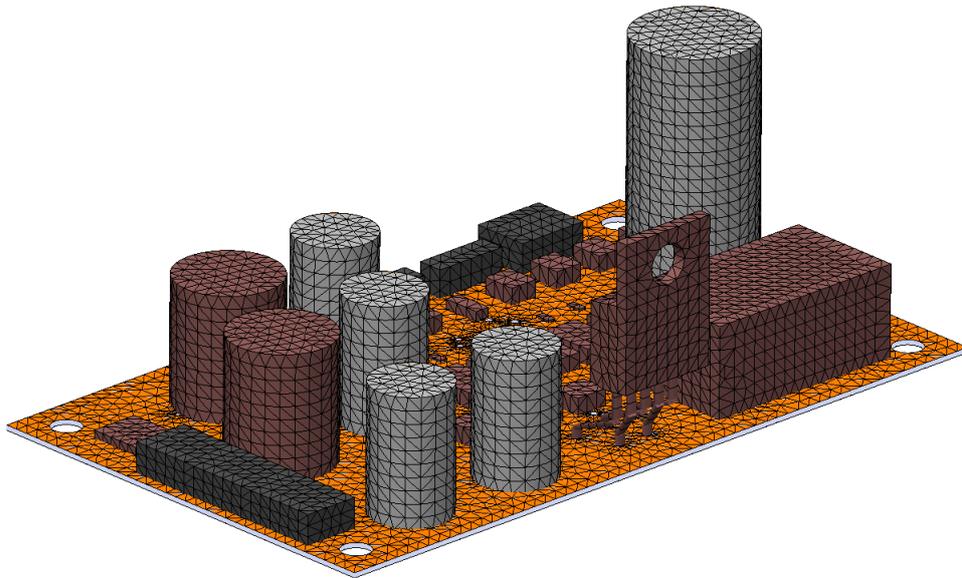




- Рассмотрим настройку динамического исследования на примере исследования под названием «гармонический анализ». Так же как и частотном исследовании в свойствах исследования можно определить число рассматриваемых гармоник.
- Но также во вкладке «гармонические параметры» кликнув на кнопку «дополнительно» можно задать количество точек расположенных в окрестностях каждой из гармоник. Минимальное число точек соответственно равно одному. Задавая меньшее число точек можно сократить время анализа, но в тоже время существует опасность упустить явления вызванные резонансом радиоэлементов или других малых конструкций, чьи резонансные частоты не выделяются при частотном анализе. Так например на рисунке показана зависимость механического напряжения в выводе транзистора от частоты при различном числе точек для каждой гармонике.
- Как видно из рисунка в случае, если в исследовании представлены только точки соответствующие гармоникам на графике можно не обнаружить второй пик напряжения, вызванный резонансом самого элемента. Это может быть критично, особенно если первая гармоника колебаний радиоэлемента будет ниже чем первая гармоника колебания платы. В тоже время на рисунке частотная зависимость отображена точно, но в тоже время, подобное исследование занимает на порядок больше времени.
- Чтобы обозначить все возможные резонансные явления и в тоже время сократить время расчёта стоит устанавливать число точек расположенных в окрестностях гармоник в районе пяти. Как видно расчёт в программе позволяет достаточно достоверные параметры для сложных конструкций, в большинстве случаев это

наиболее точны метод а возможно наиболее простой... однако существует опасность при через мерном уменьшении рассчитываемых на временной или частот шкале точек упустить из виду некоторые резонансные явления

### Конечно элементные сетки для разных исследований



- Поскольку аналитические расчёты всегда строятся на упрощение задачи и не могут дать такую же точность результатов как конечно элементный метод. Их использование целесообразно на ранних этапах проектирования, например при выборе габаритов печатной платы. Аналитическое решение некоторых задач не всегда просто найти в

литературе, в таких случаях применение метода конечных элементов становится единственной альтернативой.

- В программе SolidWorks simulation для расчёта РЭС в условиях внешних дестабилизирующих воздействий могут быть использованы три вида исследования: частотное исследование, динамическое исследование, исследование на ударную нагрузку. При составлении конечно элементной модели для частотного исследования и динамического исследования следует представлять саму плату в виде одномерных элементов, гибкие выводы радиоэлементов в виде одномерных элементов, радиоэлементы поверхностного монтажа выполнять в виде геометрических примитивов. Для модели стоит создать как стандартную сетку так и сетку на основе кривизны, и для дальнейшего анализа выбрать ту что содержит меньшее количество элементов. При настройке частотного исследования стоит рассмотреть такое количество гармоник, что бы сумма их массового участия была не меньше девяноста процентов. При настройке динамического исследования стоит уделять внимание точкам по временной или частотной шкале, для которых будут рассчитываться эпюры параметров. В частности для «гармонического анализа» стоит остановиться на пяти точках для описание области рядом с гармоникой. Исследования на ударную нагрузку накладывает несколько другие требования на составление конечно элементной модели, поскольку в данном исследовании нельзя использовать одномерные и двумерные элементы. Данное исследование более ресурсоемкое и соответственно занимает больше времени, поэтому модель требуется максимально упростить, а также использовать стандартную сетку, поскольку если в модели нет одномерных элементов, стандартная сетка оказывается более экономичной. Чтобы получить максимальные значения параметров временное окно исследования придется задать в диапазоне от одной до полутора секунд. При таком временном окне расчёт даже для упрощённой модели может занять от одного до нескольких часов. В таких случаях, если время расчёта является критичным, можно ограничиться аналитическим расчётом прогиба платы при падении с определённой высоты.