

Е.Н. Талицкий, д-р.техн.наук., проф.,
Владимирский государственный университет

Алгоритм проектирования виброзащиты электронной аппаратуры

Предлагается схема алгоритма проектирования виброзащиты электронной аппаратуры, впервые включающая практически все применяемые в настоящее время для этих целей способы. Предназначена для конструкторов электронной аппаратуры, применяемой на подвижных объектах.

The scheme of algorithm of designing vibrodefence of the electronic equipment, for the first time including practically all ways used now for these purposes is offered. It is intended for designers of the electronic equipment used on mobile objects.

Введение

Методы защиты от вибраций электронной аппаратуры (ЭА), устанавливаемой на подвижных объектах, подразделяются на пассивные, обеспечивающие виброзащиту РЭС без дополнительных источников энергии и активные, работающие только при дополнительном внешнем источнике энергии [1].

Активные виброзащитные устройства имеют значительно большую стоимость, массу, размеры и сравнительно низкую надежность. Поэтому для защиты ЭА от вибраций наиболее часто применяются пассивные методы виброзащиты. Они включают виброизоляцию, частотную отстройку, демпфирование колебаний, динамическое гашение колебаний и

уменьшение виброактивности источника. Каждый из перечисленных способов имеет свои преимущества и недостатки.

Методы виброзащиты

Виброизоляция - метод вибрационной защиты посредством устройств, помещаемых между источником возбуждения и защищаемым объектом [1]. Действие виброизоляции сводится к ослаблению связей между источником и объектом. При этом уменьшаются динамические воздействия, передаваемые объекту. Применение виброизоляции для защиты аппаратуры в широком диапазоне частот вынуждающих колебаний, как правило, не приводят к положительным результатам, т.к. эффективность виброизоляции на собственных частотах систем виброизоляции резко снижается [4].

Частотная отстройка применяется для устранения резонансных колебаний. Это обычно достигается за счет повышения значений собственных частот колебаний конструкции [2], которая должна не менее чем в 1,3 и более раз превышать частоты вынуждающих колебаний. Частотную отстройку наиболее часто обеспечивают за счет увеличения жесткости конструкции путем уменьшения площади, повышения жесткости крепления, увеличением толщины и количества точек крепления основания ячейки, установкой ребер жесткости и каркасов.

Этот способ целесообразно применять, когда диапазон частот действующих вибраций не превышает 300-400 Гц, в крайнем случае, 500 Гц. Было установлено, что при превышении этого диапазона устранить резонансные колебания невозможно без существенного, как правило, недопустимого, увеличения массы и габаритных размеров ячеек. Таким образом, частотная отстройка не решает задачу устранения резонансных колебаний ячеек аппаратуры, работающей при воздействии вибрации в широком диапазоне частот (свыше 500 Гц), особенно, если предъявляются жесткие требования к массе и габаритам конструкции.

Для уменьшения амплитуд резонансных колебаний (АРК) в широком диапазоне частот используют *методы увеличения демпфирования* [3]. Следует отметить, что в типовых конструкциях ячеек демпфирование осуществляется за счет трех факторов: потерь энергии в окружающей среде, потерь в сочленениях и потерь в материале ячейки. Демпфирование за счет потерь в сочленениях и в материале ячейки называется конструкционным. Это демпфирование является доминирующим в ячейках ЭА. Практически только оно может ограничивать амплитуды резонансных колебаний до безопасных значений. Поэтому в конструкцию вводят дополнительные элементы с большим «внутренним трением», которые в несколько раз увеличивают потери энергии колебаний ячеек. При этом происходит снижение амплитуд колебаний в области резонанса. Такие элементы, получили название полимерных демпферов (ПД). Применяемые в настоящее время для уменьшения АРК полимерные демпферы можно разделить на четыре вида: внешние и внутренние демпфирующие слои, демпфирующие ребра, демпфирующие вставки, динамические гасители колебаний с демпфированием.

Динамическое гашение вибрации – заключается в присоединении к защищаемому объекту системы, реакции которой уменьшают размах вибрации объекта в точках присоединения этой системы [1]. Пассивные системы динамического гашения вибрации снижают амплитуды колебаний защищаемого объекта только на частоте собственных колебаний присоединенной системы. Учитывая, что для ЭА обычно характерна вибрация, как правило, в непрерывном и широком диапазоне частот, применять динамические гасители колебаний (ДГК) для защиты такой аппаратуры нецелесообразно. Однако, если ДГК обладает большими демпфирующими свойствами, он может в несколько раз уменьшить амплитуды резонансных колебаний и рассматривается в этом случае как полимерный демпфер.

Иногда применяют *метод рационального размещения элементов*, заключающийся в расположении наиболее чувствительных к вибрации элементов в точках конструкции с наименьшими амплитудами колебаний, а также рациональной ориентации элементов относительно вектора вибрационных воздействий. Если элементы, размещаемые на ячейке, примерно равночувствительны к вибрации, то применять рассматриваемый метод не имеет смысла. Другим недостатком является значительное увеличение сложности печатного монтажа, а следовательно увеличение паразитных связей, приводящее к ухудшению радиочастотных свойств и увеличению стоимости аппаратуры. Сложность монтажа увеличивается за счет того, что элементы, имеющие наибольшее число связей, часто оказываются в противоположных концах ячейки. По этим причинам этот метод в рассматриваемый алгоритм не включен.

Очевидно, что многообразие способов виброзащиты требует разработки алгоритма их выбора.

Работа алгоритма

Результаты анализа отказов ЭА в условиях воздействия вибраций в широком диапазоне частот (до 500 Гц и выше) показывают, что наиболее часто отказывают электро- и радиоэлементов (ЭРЭ) из-за недопустимо больших виброускорений и виброперемещений, возникающих при резонансных колебаниях ячеек, так как ячейки обладают, во-первых, небольшой изгибной жесткостью ячеек, выполняемых обычно на подложках из стеклотекстолита малой толщины (1-3 мм), а, следовательно, имеющих низкие значения СЧК (<200-300 Гц), и во-вторых, широким диапазоном частот воздействующей вибрации (до 500 Гц и выше).

Поэтому первой, а часто основной, задачей при обеспечении виброзащиты ЭА является устранение или уменьшение до допустимого уровня АРК ячеек.

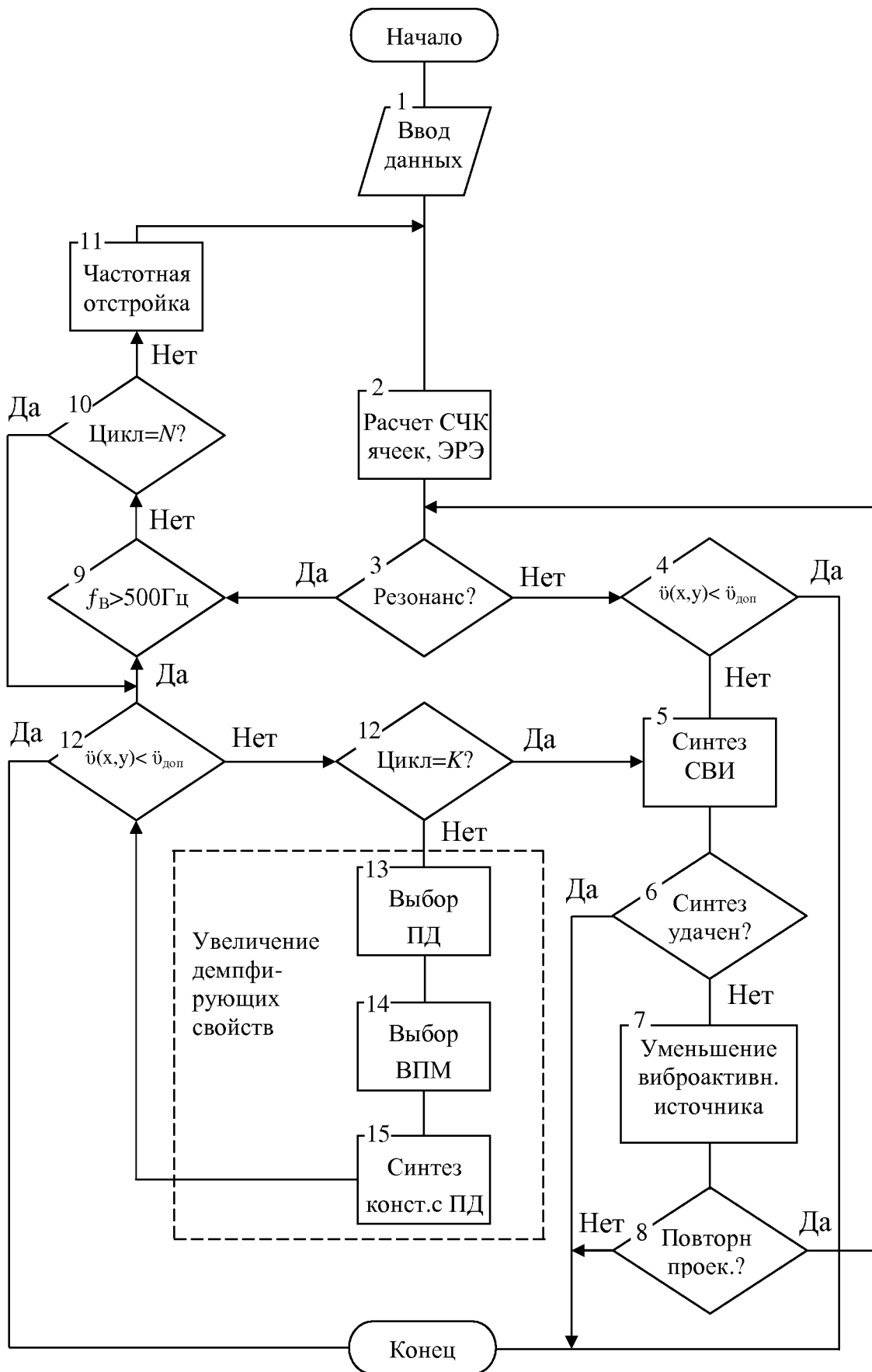
Рассмотрим один из возможных вариантов схем проектирования, показанный на рисунке. Исходными данными (блок 1) являются диапазон частот и амплитуда действующей на ЭА вибрации, допустимые ускорения на ЭРЭ, конструктивные параметры блока и узлов - размеры, модули упругости материалов и т.д., условия эксплуатации температурный диапазон и другие условия.

В блоке 2 проводится расчет собственных частот колебаний ячеек и ЭРЭ. Расчет может проводиться на основе аналитических или численных методов в зависимости от сложности конструкций. Если ячейки имеют прямоугольную форму и закреплены только по краям одним из "классических" способов, однородны, то предпочтение следует отдать аналитическим методам моделирования.

В блоке 3 проверяется возможность возникновения резонансных колебаний ячеек и ЭРЭ путем сравнения диапазона частот вибраций с собственными частотами колебаний элементов конструкций. Если резонансные колебания отсутствуют, то необходимо определить, не превышают ли виброускорения, действующие на ЭРЭ и заданные в ТЗ, допустимые виброускорения для ЭРЭ (блок 4). Если не превышают, то никаких мер по виброзащите применять не нужно. В противном случае необходима виброизоляция с целью уменьшения виброускорений, действующих на ЭА. В блоке 5 проводится синтез системы виброизоляции. Он включает определение центра тяжести блока, расчет моментов инерции, выбор схемы расположения виброизоляторов и их статический расчет, выбор типа виброизоляторов, определения собственных частот блока на виброизоляторах и оценку эффективности системы виброизоляции [4]. Могут проводиться также расчеты на ударное воздействие и воздействие линейного ускорения. Если синтез удачен, т.е. удалось уменьшить виброускорения до допустимого уровня, то дальнейшие шаги по виброзащите не предпринимаются (блок 6). Если

синтез неудачен, что может произойти из-за жестких ограничений на размеры системы виброизоляции (СВИ) и очень низкой наименьшей частоты действующих вибраций (меньше 5 Гц), то необходимо уменьшение вибраций системы, в которых применяются ЭА. Если заказчик согласен на соответствующую корректировку ТЗ, то может проводиться повторное проектирование виброзащиты с учетом проведенной корректировки или использовано уже найденное решение СВИ.

Если проверка на наличие резонансных колебаний показывает, что ячейки или другие элементы будут резонировать (блок 3), то необходимо применить частотную отстройку или увеличить демпфирующие свойства системы. Выбор одного из таких способов определяется двумя факторами. Во-первых, тем, что частотная отстройка, как правило, конструктивно-технологически выполняется проще, но при частотах возбуждения больше 500 Гц она приводит к значительному увеличению массы и габаритов конструкции. Поэтому в блоке 9 проверяется, превышает ли верхняя частота возбуждения частоту, равную 500 Гц. Если нет, то для устранения резонансных колебаний целесообразнее применить частотную отстройку (блок 11). Для этого можно увеличить толщину конструкции, уменьшить площадь подложки, изменить способ крепления, применить ребро жесткости. В программе может быть реализовано несколько различных вариантов частотной отстройки. Выбор того или иного варианта может проводиться по различным критериям - стоимости, массе, габаритам и другим. После применения каждого варианта ведется расчет и проверяется условие отсутствия резонансных колебаний. Если за определенное число циклов N частотную отстройку провести не удастся (блок 10), то необходимо попытаться решить задачу виброзащиты путем применения ПД.



Алгоритм проектирования виброзащиты

Поэтому в блоке 12 приводится сравнение допустимых значений виброускорений $\ddot{u}_{\text{доп}}(x,y)$ или виброперемещений $\ddot{u}(x,y)$ с полученными в блоке 3 значениями при резонансе ячейки. Допускаемые виброускорения обычно определяются из ТУ на ЭРЭ, допускаемые виброперемещения могут быть определены из дополнительного расчета по определению усталостной долговечности электрических выводов ЭРЭ.

Если виброускорения или виброперемещения не превышают допустимые значения необходимо уменьшить АРК путем применения ПД (блок 13). Выбор типа ПД в настоящее время не формализован, поэтому обычно его проводят исходя из конструктивных особенностей ячейки, этапа на котором решается проблема виброзащиты и т.д. Выбор ВП материала (блок 14) проводится в зависимости от типа ПД, и температурного и, в меньшей степени, частотного диапазонов. Так например ПД в виде внешнего слоя требует применения ВП материалов с большим модулем упругости ($E > 10^8$ Па), а демпфирующие вставки выполняются из материалов с $E < 10^6$ Па. Учитывая малую номенклатуру разработанных ВП материалов, может ставиться задача синтеза новых материалов. После выбора ВП материала оптимизируются параметры конструкции, обеспечивающие максимальное демпфирование и рассчитывается вибрационное поле ячейки (блок 15).

Если в течение заданного числа циклов K (блок 12) условие в блоке 12 выполняется, то задача виброзащиты решена. В противном случае необходимо дополнительно применить виброизоляцию (переход на блок 5). Если и в этом случае виброзащиту обеспечить не удастся, необходимо принять меры по уменьшению виброактивности системы, в состав которой входит ЭА.

Заключение

На основе разработанного алгоритма создана программа [5], используемая в учебном процессе и в промышленности, позволяющая

существенно сократить время проектирования виброзащиты электронной аппаратуры.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Вибрации в технике: Справочник: В 6т. – М.: Машиностроение, 1981.- т.6. Защита от вибрации и ударов / Под ред. К.В. Фролова, 1981- 456 с.
2. Токарев М.Ф., Талицкий Е.Н., Фролов В.А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.А. Фролова.- М.: Радио и связь, 1984 – 224 с.
3. Нашиф А., Джоунс Д., Хендерсон Дж. Демпфирование колебаний: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988 – 448 с.
4. Ильинский В.С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий. – М.: Радио и связь, 1982. – 296 с.
5. Копылов И.А., Талицкий Е.Н., Шумарин С.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005611814 «Программный комплекс проектирования виброустойчивых электронных модулей», 2005.