

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТРОСОВЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ ДЛЯ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТ

В. И. Журавлёв, Н. М. Наумович, И. К. Стежко, В. Н. Кийко

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь
E-mail: center1.6@bsuir.by*

Рассматривается виброзащита генераторов в конструкциях синтезаторов частот на основе тросовых виброизоляторов. Для их использования необходимо выполнение гармонического анализа с различными параметрами массы и жёсткости при воздействии внешних вибраций. На основе результатов моделирования показана эффективность предварительного определения резонансных частот для учёта в проектировании конструкций синтезаторов частот при дальнейшей защите от случайной вибрации.

Ключевые слова: *синтезаторы частот, вибрация, тросовый виброизолятор, гармонический анализ, моделирование.*

ВВЕДЕНИЕ

Развитие электронных систем обуславливает необходимость обеспечения их стабильной работы в условиях действия дестабилизирующих факторов. Одними из ключевых компонентов современных радиоэлектронных систем являются высокостабильные виброустойчивые синтезаторы частот [1]. Приоритетной задачей является противодействие реакции на воздействующую вибрацию кварцевых генераторов, как оказывающих наибольшее влияние на фазовые характеристики синтезаторов частот [2]. В качестве внешних элементов системы виброизоляции генераторов применимы различные виды виброизолирующих креплений на основе эластомеров, пружинные крепления, а также микротросовые виброизоляторы с демпфирующими свойствами стальных тонких многопроволочных тросов. В данной работе рассматривается гармонический анализ тросовых виброизоляторов для использования в конструкциях синтезаторов частот в наиболее востребованном диапазоне 50...2000 Гц.

ФАЗОВЫЙ ШУМ ОПОРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ПРИ СЛУЧАЙНОЙ ВИБРАЦИИ

Воздействие случайной вибрации приводит к появлению в спектре сигнала генератора фазовых шумов на частотах, отстоящих от его рабочей частоты на величины, кратные частоте вибрационного возмущения [3]. Фазовая нестабильность представляет собой обусловленный воздействием ускорения сдвиг фазы выходного сигнала генератора, в котором

используется данный резонатор. Под действием виброускорения сдвиг резонансной частоты резонатора на кварцевом кристалле пропорционален амплитуде виброускорения и зависит от направления [4]. Фазовый шум L генератора в условиях случайной вибрации:

$$L(f) = 20 \log \left[\frac{G \cdot \sqrt{2 \cdot PSD} \cdot f_0}{2 \cdot f_v} \right], \quad (1)$$

где f_0 – резонансная частота кварцевого кристалла без ускорения; G – вектор чувствительности к ускорению; PSD – спектральная плотность мощности ускорения, $g^2/Гц$; f_v – частота вибрации.

Из выражения (1) видно, что для расчёта фазового шума генератора необходимо определить чувствительность G генератора к вибрациям. Данный параметр зависит как от конструкции генератора, его расположения в конструктивных модулях разного уровня, так и от наличия виброизолирующих компонентов.

МОДЕЛЬ ТРОСОВОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА

Моделирование вибрационных характеристик конструктивных элементов на данном этапе проводился с помощью численного метода конечных элементов. В основу метода заложено два типа исследований: статический и модальный. Анализ осевой жёсткости модели виброизолятора проводился при заданных начальных условиях:

- основание модели жёстко закреплено (запрещено перемещение и вращение по всем направлениям);
- на подвижную часть модели приложена сосредоточенная сила равная 25 Н.

$$c = E \cdot J, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала; J – момент инерции троса.

Для определения момента инерции троса виброгаситель с учётом винтообразности проволок используем формулу [5]:

$$J = \frac{n \cdot \pi}{64} \cdot \frac{6 \cdot d_2^4}{\cos \alpha} + d_1^4, \quad (3)$$

где d_1 – диаметр центральной проволоки; d_2 – диаметр винтовой проволоки троса; n – число прядей троса; α – угол навивки.

Так как при анализе вибрационных характеристик в расчётных программных пакетах отсутствуют проверенные модели тросов, то они были заменены на цельные стержни равного сечения с заданными характеристиками материала. Поскольку при этом осуществляется коррекция мо-

мента инерции согласно формуле (3) при заданном модуле упругости, на выходной результат такое допущение влияет незначительно.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

При использовании статического типа исследований производится анализ жёсткостей моделей виброизоляторов в различных направлениях, зависящих от упругих или вязкоупругих свойств материалов. Полученный результат статического анализа виброизолятора из стальных микро-тросов представлен на рис.1 в виде распределения виброперемещений.

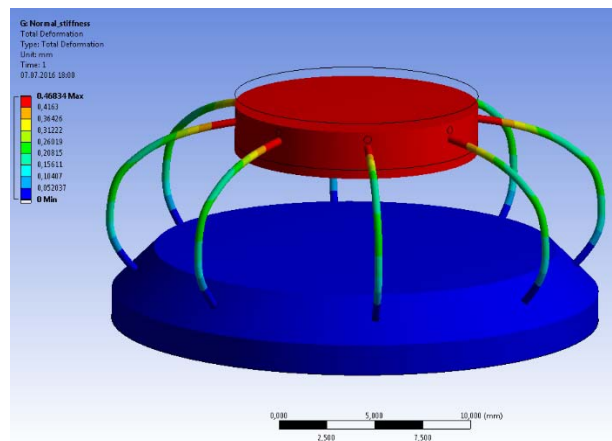


Рис.1. Распределение виброперемещений тросового виброгасителя

Результаты расчёта показывают наличие максимального перемещения 0,468 мм, что соответствует осевой жёсткости 53,4 Н/мм. Такой результаты вполне согласуется с характеристиками реальных тросовых вибро-изоляторов, что говорит в пользу адекватности начальной модели.

Дополнительным граничным условием для дальнейшего гармонического анализа является только жёсткое закрепление основания в модели. В интересующем диапазоне наиболее вероятны первые формы собственных частот (рис.2).

Определение основных мод колебаний позволяет оценить степень опасности возможных резонансных режимов, которые могут возникнуть при попадании гармоник в рабочий диапазон действующих внешних нагрузок. На основании этих данных можно предусмотреть дополнительную защиту на этих частотах и оптимизировать конструкцию для повышения виброустойчивости синтезатора частот.

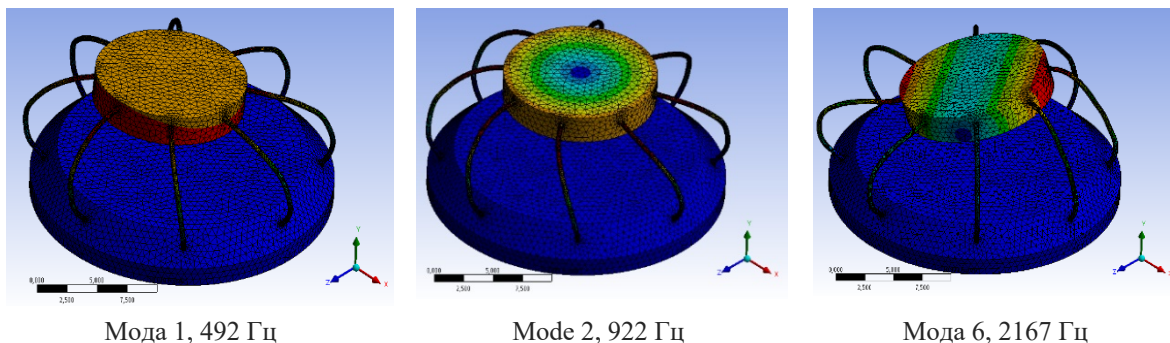


Рис.2. Формы собственных частот тросового виброгасителя

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гармонический анализ виброизоляторов для его использования в составе синтезатора частот позволяет определить оптимальные характеристики его конструкции, исходя из спектра воздействующей вибрации и параметров генератора. При этом следует учитывать, что использование тросовых виброизоляторов эффективно в ограниченном диапазоне частот, поэтому потребуется экспериментальная проверка используемых решений и уточнения параметров модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Муравьев В. В. Синтезатор СВЧ с прямым цифровым синтезом // Приборы и методы измерений. 2014. № 1 (8). С. 52 – 56.
2. Apte A., Rohde U. L., Poddar A., Rudolph M. Optimizing Phase-Noise Performance: Theory and Design Techniques for a Crystal Oscillator // IEEE Microwave Magazine. 2017. V. 18. N. 4. P.108 – 123.
3. Hati A., Nelson C. W., Howe D. A. Vibration-induced PM and AM noise in microwave components // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. 2009. V. 56. N.10. P.2050 – 2059.
4. Filler R. L. The acceleration sensitivity of quartz crystal oscillators: a review // IEEE Transactions. on UFFC. 1988. V. 35. P. 297–305.
5. Пономарев Ю.К., Посохов П.В., Симаков О.Б. Разработка методики расчёта характеристик тросового виброизолятора с радиусным и прямолинейными участками осевой линии // Новые материалы и технологии в машиностроении. Сб. науч. трудов. Вып.20. Брянск: БГИТА, 2014. С.64-74.