

# ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СХЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ ДЛЯ СИНТЕЗАТОРОВ ЧАСТОТ

Журавлёв В.И., Наумович Н.М., Бричкалевич П.И.

Центр 1.6, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г.Минск, Республика Беларусь

E-mail: vadh@bsuir.by, naumovich@bsuir.by

*Приведён способ построения параметрической схемы моделирования в программном комплексе инженерного анализа для расчёта и оптимизации параметров системы виброизоляции синтезаторов частот СВЧ-диапазона.*

## ВВЕДЕНИЕ

Работа синтезаторов частоты СВЧ-диапазона часто сопряжена с воздействием внешних вибрационных воздействий, что ведёт к нарушению стабильности генерации сетки частот и появлению фазового шума [1]. В качестве элементов пассивной вибрационной защиты синтезаторов часто используются различные виды виброизолирующих креплений со смещением основной резонансной частоты [2].

Наилучшие характеристики конструкций виброизоляторов можно определить, используя программные средства, основанные на алгоритмах метода конечных элементов, конечных разностей или многотельной динамики [3]. Целесообразно использовать параметрическую схему моделирования, представляющую адаптивное перестроение расчётной модели для нахождения оптимальных выходных параметров.

## 1. СТРУКТУРА ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

При использовании статического моделирования производится анализ жёсткостей моделей виброгасителей или виброизоляторов в различных направлениях, зависящих от упругих или вязкоупругих свойств материалов, а также сопоставление полученных результатов расчёта со значениями, определёнными производителем в соответствующих каталогах. Модальный тип исследований предназначен для определения соб-

ственных форм и частот колебаний, которые в свою очередь являются резонансными для каждого виброгасителя.

Воздействие случайной вибрации удобно задавать стандартным параметром спектральной плотностью мощности (PSD) [4]. Рассматривались несколько видов PSD для первоначальной настройки модели и определения корреляции параметров.

Используемая параметрическая схема с обратной связью для анализа конструкции синтезатора с использованием библиотек материалов, компонентов и средств уменьшения вибрации приведена на рисунке 1.

Редактор геометрии предназначен как для создания расчётной модели, так и для импорта и редактирования твердотельной модели, которая в дальнейшем используется при проведении расчётов.

Блок решения статической задачи (формирование преднагружения) необходим для приведения системы в положение равновесия и определения нагрузки на упругие элементы конструкции, которые будут использоваться для анализа собственных частот.

Блок модального анализа позволяет получить заданное количество форм и значений собственных частот, на основе которых решается последующая задача определения виброхарактеристик.

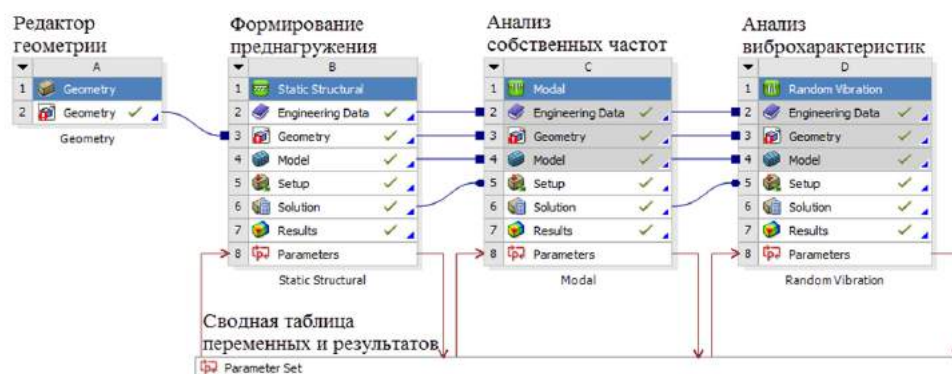


Рис. 1 – Параметрическая схема решения задачи отклика конструкции на случайную вибрацию

	A	B	C	D
1	ID	Parameter Name	Value	Unit
2	Input Parameters			
3	Static Structural (B1)			
4	P1	Longitudinal - kogu_1-1 To generator-1 Longitudinal Stiffness	60	N mm <sup>-1</sup>
5	P2	Longitudinal - kogu_1-1 To generator-1 Longitudinal Stiffness	60	N mm <sup>-1</sup>
6	P3	Longitudinal - kogu_1-1 To generator-1 Longitudinal Stiffness	60	N mm <sup>-1</sup>
7	P4	Longitudinal - kogu_1-1 To generator-1 Longitudinal Stiffness	60	N mm <sup>-1</sup>
8	P5	Longitudinal - kogu_1-1 To generator-1 Longitudinal Stiffness	60	N mm <sup>-1</sup>
9	P6	Longitudinal - kogu_1-1 To generator-1 Longitudinal Stiffness	60	N mm <sup>-1</sup>
10	P7	Longitudinal - kogu_1-1 To generator-1 Longitudinal Stiffness	60	N mm <sup>-1</sup>
11	P8	Longitudinal - kogu_1-1 To generator-1 Longitudinal Stiffness	60	N mm <sup>-1</sup>
*	New input parameter	New name	New expression	
13	Output Parameters			
14	Static Structural (B1)			
17	Modal (C1)			
38	Random Vibration (D1)			
39	P39	Directional Acceleration Maximum	560,74	m s <sup>-2</sup>
40	P40	Directional Acceleration 2 Maximum	28225	
41	P41	Directional Acceleration 3 Maximum	169,02	
42	P42	Directional Velocity Maximum	1,238E+06	mm s <sup>-1</sup>
43	P43	Directional Velocity 2 Maximum	1,832E+06	mm s <sup>-1</sup>
44	P44	Directional Velocity 3 Maximum	1,238E+06	mm s <sup>-1</sup>
*	New output parameter		New expression	
46	Charts			

Рис. 2 – Блок управления параметрами

В блоке решения случайных вибраций определяются значения виброперемещений, виброскоростей, виброускорений при заданных характеристиках возмущающего воздействия (сигнала). Возмущающее воздействие должно быть задано зависимостью параметра PSD от частот колебаний.

Блок управления входными и выходными параметрами представляет собой сводную таблицу, в которой можно изменять начальные параметры и получить соответствующие им результаты. Начальные параметры определяются предварительно при моделировании всей параметрической схемы.

## II. УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ

Массовые и инерционные характеристики для тел корпуса и исследуемого тела рассчитываются из их геометрии и свойств материалов. Упругая связь является имитацией соответствующего виброгасителя, в которой используются только его упругие свойства (жесткость в заданном направлении).

Пользователь задаёт параметризованные исходные данные для начального варианта проекта, переменные проекта, переменные состояния вместе с их предельными значениями и целевую функцию. В процессе оптимизации выбираются новые значения переменных модели, анализируется новый вариант модели, оцениваются переменные состояния, а затем результаты используются для повторения всей последовательности действий для достижения экстремума целевой функции. На рис. 2 представлено содержимое блока управления со сводной таблицей, формируемой в данном методе решения.

В блоке входных параметров осуществлена возможность изменения нормальной жесткости

(вдоль линии связи между элементами) упругой связи. В блоке выводимых результатов отображены соответствующие значения виброскоростей и виброускорений по трём направлениям декартовой системы координат для точки исследуемого тела.

## III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование параметрических схем при моделировании виброустойчивых синтезаторов частот СВЧ-диапазона возможно при наличии хорошо коррелируемых между собой конструктивных параметров виброизоляторов, материалов и PSD воздействующей случайной вибрации. Комплексное применение виброизоляторов в конструкциях синтезаторов частот позволяет определить наиболее оптимальные характеристики системы виброзащиты и обеспечить требуемый уровень устойчивости конструкции к заданному уровню вибрации.

## IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Apte, U.L. Rohde, A. Poddar, M. Rudolph Optimizing phase-noise performance: theory and design techniques for a crystal oscillator // IEEE Microwave Magazine. – vol. 18, nr. 4. – 2017.– P.108 – 123.
2. B. Kuran and B. Karaman Robust design studies for vibration and shock isolation of sensitive electronic equipments // IEEE 8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, Istanbul, Turkey. 2017. – P.17-22.
3. B.Y. Qiang and X. Deng-feng Modeling and numerical simulations of an active vibration isolation module by the power flow analysis // 3rd IEEE World Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing, Shanghai, China, 2020. – P.546-551.
4. D.E. Newland An introduction to random vibrations, spectral and wavelet Analysis. – Dover Publications, 2013. – 512 pp.