

8. Bayasilova Z.A., Baktybayev M.K., Mikhaylov P.G., Shaikhanova A.K.. Development of a combined pressure and temperature membrane sensor. // Вестник Государственного Университета имени Шакарима города Семей. – №3 (79), 2017. –С. 3-7

9. Михайлов П.Г., Ожикенов К.А., Касимов А.О., Алиева А.У. Узлы и компоненты микроэлектронных датчиков // Известия Южного федерального университета. Технические науки. № 3(164) 2015 С. 184-193.

10. Тихоненков В.А., Тихонов А.И. Теория, расчет и основы проектирования датчиков механических величин. Учебное пособие /Ульяновск, УлГТУ. 2000. 452 с.

11. P. Mikhailov, M. Baktybayev, Z. Bayasilova, M. Tatiyeva and A. Seidildayeva. Multi-functional sensors for control systems and monitoring. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), Volume 9, Issue 13, December 2018, pp. 959–967, Article ID: IJMET_09_13_101.

УДК 368.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИИ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

А.П.Михайлов

ведущий специалист ООО ПЛК Система г. Москва РФ, e-mail: krendeleschik@gmail.com

Аннотация. Вибрационные испытания являются обязательным этапом при разработке и модернизации любой аппаратуры приборостроения, в том числе и измерительных преобразователей (датчиков) различных физических параметров: давления, температуры, линейных и угловых ускорений и проч. Основными задаваемыми параметрами при вибрационных испытаниях являются частота, амплитуда и время, а также закон изменения частоты и амплитуды. В качестве выходных параметров принимаются информативные сигналы, фиксируемые внешними электроизмерительными приборами, а также качественные показатели механической прочности преобразователя.

Ключевые слова: преобразователь, измерение, вибрации, частота, амплитуда, вибростенд.

RESEARCH OF THE IMPACT OF VIBRATION ON TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MEASURING CONVERTERS

Alexey Mikhaylov

Leading Specialist PLC SYSTEM Ltd Moscow RF, e-mail: krendeleschik@gmail.com

Abstract. Vibration testing is an obligatory stage in the development and modernization of any instrument making instrument, including measuring transducers (sensors) of various physical parameters: pressure, temperature, linear and angular accelerations and so on. The main parameters set by vibration tests are frequency, amplitude and time, as well as the law of frequency and amplitude changes. The output parameters are taken informative signals recorded by external electrical devices, as well as quality indicators of the mechanical strength of the transducer.

Keywords: transducer, measurement, vibration, frequency, amplitude, shaker.

Введение. Испытания продукции приборостроения на устойчивость к воздействию дестабилизирующих внешних факторов (ДВФ): температуры, ударов, вибраций, термоциклы, перегрузок и проч., из которых одним из основных ДФВ являются виброперегрузка. Поэтому при разработке любой новой аппаратуры, а также при модернизации существующей, особенно это относится к авиационной и транспортной аппаратуре, всегда проводятся вибрационные испытания на вибростендах. Вибростенды обеспечивают задание вибронагрузок с различными частотами и уровнями вибраций.

Целью работы является изучение оборудования и методики проведения виброиспытаний, а также оценка влияния вибраций на технические характеристики измерительных преобразователей. Необходимость проведения этих исследований состоит в том, чтобы ознакомить студентов и обучающихся с испытательным оборудованием и методиками, используемыми в реальном производстве продукции приборостроения.

Основной материал. Современная радиоэлектронная и измерительная аппаратура различного назначения при эксплуатации и транспортировке обычно подвергается динамическим воздействиям: вибрации, ударным и линейным перегрузкам, влиянию акустических шумов, частотные и амплитудные диапазоны которых весьма широки [1]. Эти воздействия передаются на элементы аппаратуры, вызывая нарушение нормального режима работы и механические повреждения элементов. В последнее время опасность механических повреждений увеличилась из-за постоянного обогащения акустического спектра подвижных объектов высокочастотными составляющими, которые, более эффективно воздействуя на физико-механические свойства материалов, изменяют рабочие характеристики аппаратуры [2].

Например, мощность акустических нагрузок, генерируемых двигателями современного реактивного самолета, достигает до сотен киловатт, а суммарные мощности акустических нагрузок, возникающих при работе двигателей космических ракет, достигли сотен мегаватт. Шумы реактивной струи и пульсации обтекания создают у поверхности летательных аппаратов уровни переменных давлений порядка 170...190 дБ с расширением частотного диапазона вибрационного воздействия до 5000 Гц [3].

На рис. 1 в обобщенном виде представлены диапазоны ударных, вибрационных и акустических воздействий, которым подвергаются элементы и узлы современной аппаратуры различного назначения [4].

Нормативно-техническая документация на измерительные приборы и преобразователи содержит требования по следующим видам механических нагрузок []:

- вибрационным (на фиксированной частоте и в диапазоне частот);
- ударным (многократные и одиночные);
- линейным;
- акустическим шумам.

Устойчивость приборов к механическим нагрузкам высоких уровней должна быть обеспечена на протяжении всего их срока службы.

Воздействие перечисленных факторов и в первую очередь вибраций приводит к появлению знакопеременных деформаций элементов приборов и, в конечном итоге, к постепенным и катастрофическим отказам аппаратуры [5].

Кроме того, для многих измерительных приборов влияние вибрации и ударов даже небольших уровней приводит к появлению дополнительных погрешностей измерения. Особенно характерно такое влияние на линейные и угловые акселерометры малых ускорений.

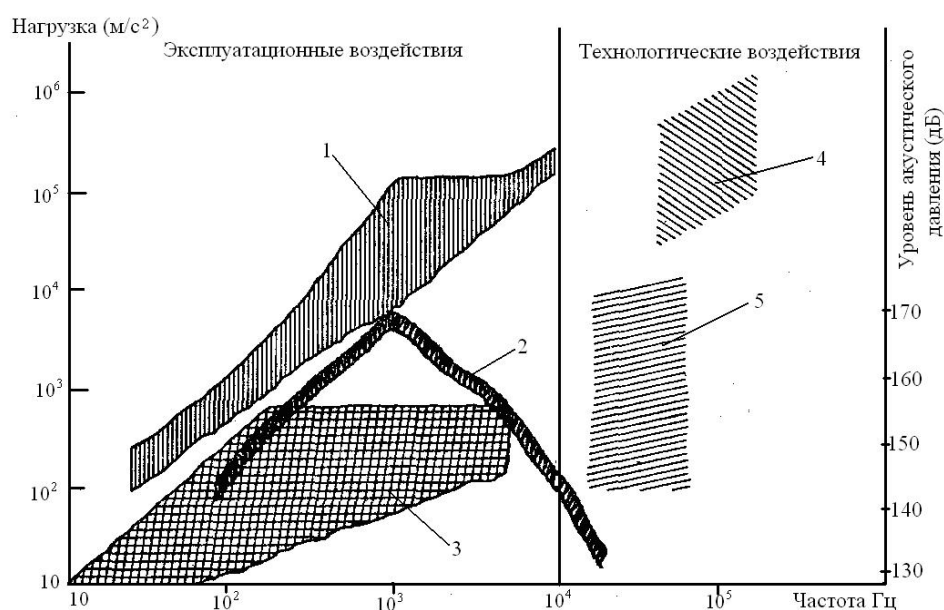


Рисунок 1 – Уровни вибрационных и акустических воздействий, которым подвергаются приборы в составе аппаратуры и при производстве: 1-удары; 2 - акустический шум; 3-вибрация; 4 - ультразвуковая сварка; 5- ультразвуковая очистка деталей приборов.

Рассмотрим используемое при виброиспытаниях оборудование и методику их проведения. Следует отметить, что методика виброиспытаний, вне зависимости от используемой виброзадающей и измерительной аппаратуры, имеет много совпадающих процедур.

В качестве виброзадающей аппаратуры чаще всего используются вибраторы электродинамического типа, которые преобразуют электрическую энергию усилителя мощности в механическую.

Кратко рассмотрим работу и особенности конструкций вибраторов указанного типа (рис. 2).

Вибратор снабжен подвижной системой с электродинамическим приводом. Принцип работы вибратора заключается в следующем.

В кольцевой зазор электромагнита, питаемого постоянным током, помещается катушка, закрепленная на упругой подвижной системе. При пропускании через катушку переменного тока, амплитуда и частота которого могут быть регулируемыми, она начинает выталкиваться из зазора или втягиваться в него в такт с частотой пропускаемого тока. Величина (амплитуда) линейного перемещения катушки зависит от величины пропускаемого через нее переменного тока и величины тока подмагничивания электромагнита.

Катушка жестко связана с механической подвижной системой на направляющих пружинах.

Сила, развиваемая вибратором [6]

$$F_0 = B \cdot L \cdot i_0 \cdot \sin \omega t, \quad (1)$$

где B - магнитная индукция в кольцевом зазоре магнитопровода; L - общая длина провода подвижной катушки; $i_0 \cdot \sin \omega t$ - переменный ток, протекающий в подвижной катушке.

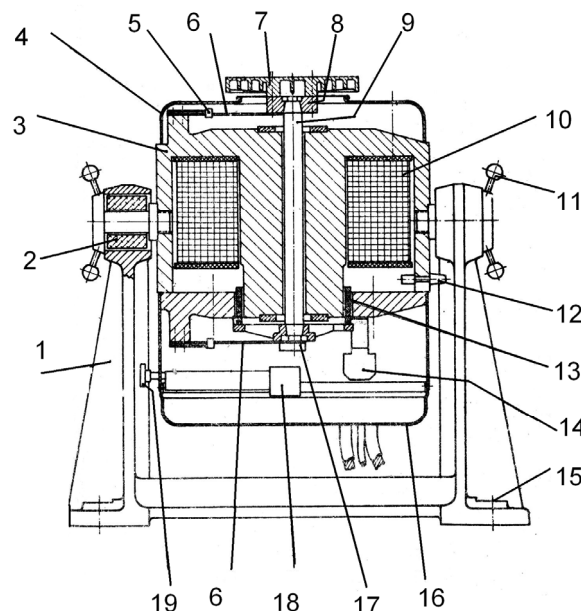


Рисунок 2 – Вибратор электродинамический : 1-станина; 2, 5 – амортизаторы; 3-магнитопровод; 4, 16 - защитные колпаки; 6-плоские пружины; 7-Планшайба для испытаний объекта; 8-Фланец присоединения; 9- Стержень; 10, 13-Катушки подмагничивания и управляющая; 11-



зажимной рычаг; 12-Штуцер воздушного охлаждения; 14, 15- клеммы контактные и заземления; 17, 18 -Датчик ускорения и осциллятор; 19-Ручка настройки «нуля» датчика ускорения.

Отметим наиболее важные особенности конструкции и работы вибратора.

Вибратор может быть повернут от вертикального положения в диапазоне углов от 0° до $\pm 90^\circ$. Эластичные амортизаторы передают лишь в незначительной мере остаточные вибрации на основание, потому для вибростенда не требуется особого фундамента.

Магнитопровод вибратора построен по принципу громкоговорителя. Внутри корпуса магнитопровода на сердечнике уложена обмотка подмагничивания 10 для создания постоянного магнитного поля. В воздушном зазоре магнитопровода помещена катушка управления 13, которая закреплена на несущем стержне 9 с фланцем 8, на котором может быть закреплена одна из сменных планшайб 7.

Для ограничений колебаний подвижной системы в резонансной области, упругие элементы снабжены ограничителями-амортизаторами 5. Испытываемый объект можно прикрепить с помощью 4-х винтов либо к фланцу 8 (применяя, например, легкий по жесткости стержень, либо к одной из сменных планшайб 7).

Вибрирующая катушка размещена в нижней части магнитопровода для уменьшения нежелательного воздействия на испытываемый объект потоков рассеяния магнитного поля в зазоре магнитопровода.

К подвижной системе жестко присоединен емкостной датчик ускорения 17, а к корпусу - осциллятор 18 измерительного устройства ускорения 40. Анодный ток покоя осциллятора 18 устанавливается, вдавливая и поворачивая ручку регулировки 19. Два зажимных рычага 11 фиксируют положение наклона стола в необходимом положении от 0 до 90° .

При продолжительной работе с максимальной нагрузкой, предусмотрена возможность для воздушного охлаждения катушки с помощью вентилятора.

Электрические величины (ток I и напряжение U в катушке) связаны с механическими величинами (скоростью V_m подвижной системы и скоростью V_m корпуса вибратора) следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} U = z_{y\bar{e}} \cdot I + \Theta(V_m - V_M) \\ z_M V_M + z^I (V_M - V_m) + \Theta I = 0 \\ z_M V_M + z^I (V_m - V_M) - \Theta I = z^I V_m \end{cases}, \quad (2)$$

где $\Theta = B \cdot l$ - коэффициент электромеханической связи (B - индукция в зазоре, l - длина провода); $z_{эл} = r + j \cdot \omega \cdot l$ - электрическое сопротивление обмотки; $z_m = j \cdot \omega \cdot m$, $z_M = j \cdot \omega \cdot M$, $z^n = k^n (1 + i \cdot \lambda^n) / j \cdot \omega$ - механические сопротивления подвижной системы, корпуса и упругой подвески λ^n - коэффициент потерь; z^h - входное сопротивление испытуемого объекта (нагрузка), U , I , V - комплексные амплитуды.

При $M \rightarrow \infty$ первое и третье уравнения системы (2) совпадают с уравнениями электромеханического преобразователя.

Вибратор может работать в режиме заданного тока $i = I_0 \cdot e^{j\omega t}$, $I_0 = \text{const}$ или в режиме заданного напряжения $U = U_0 \cdot e^{j\omega t}$, $U_0 = \text{const}$.

На основании упрощенной системы уравнений (3)

$$\begin{cases} RI + a\omega = LU \\ \beta\omega + c\varphi = KI \end{cases} \quad (3)$$

была построена модель электродинамического вибратора (рис. 3) в MATLAB [7].

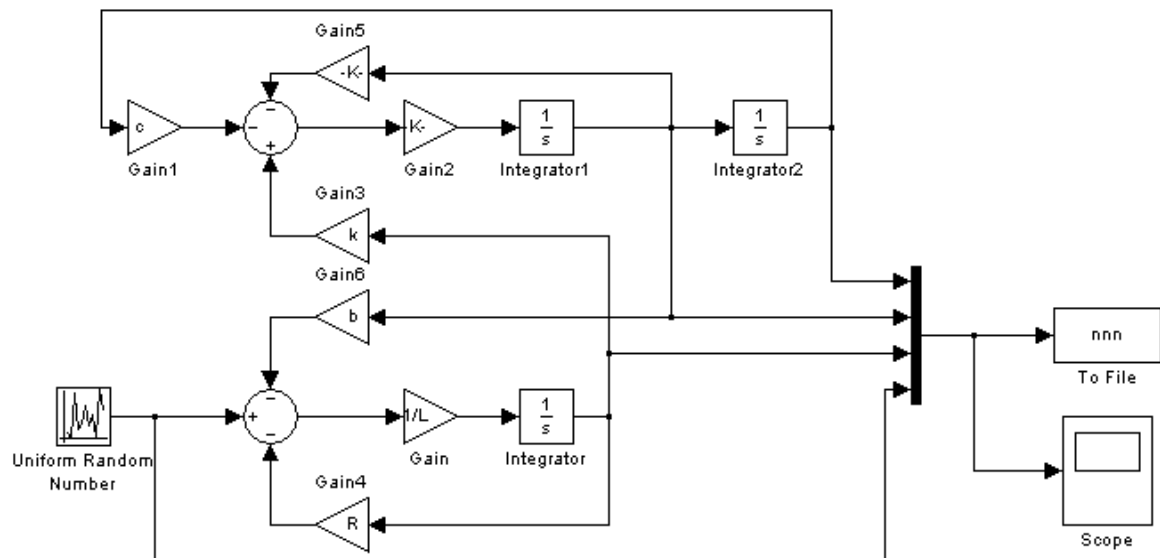


Рисунок 3 – Модель электродинамического вибратора

Для расширения диапазона амплитуд задаваемых ускорений, используют испытательные приспособления, которые при определенных частотах

(резонансных) способны значительно увеличить амплитуду и, соответственно, виброускорений без увеличения мощности генератора. Такие приспособления называют усилителями вибраций.

Это связано с необходимостью получения на отдельных частотах при испытаниях датчиков более значительные виброперемещения (виброускорения) чем те, которые обеспечивают сами вибраторы.

Виброусилительное устройство (ВУУ) предназначено для усиления виброускорений при испытаниях приборов на воздействие вибраций.

Принцип работы ВУУ основан на усилении амплитуды колебаний инерционной массы испытуемого датчика, закрепленной, на упругом элементе ВУУ, на его резонансных частотах или близких к ним. ВУУ с закрепленным на нем испытуемом датчике крепится на столе вибростенда, который является возбудителем колебаний.

Пример конструктивного исполнения ВУУ приведен на рис. 4.

ВУУ состоит из корпуса 2, шпильки 3, грузов 4 и болтов 1. Корпус 2 выполняет роль упругого элемента и может быть сменным.

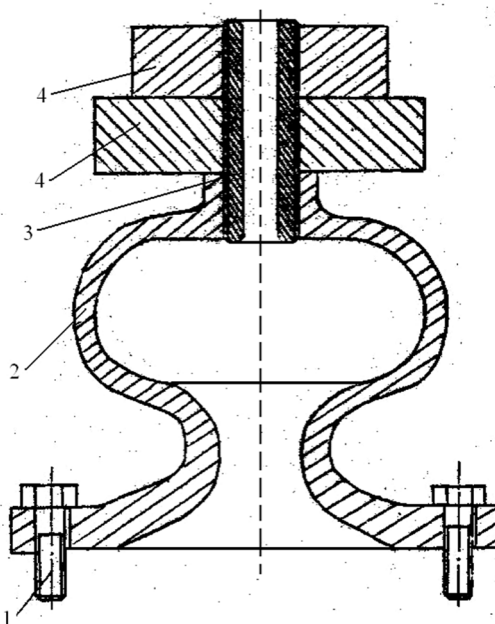


Рисунок 4 – Общий вид виброусилительного устройства

Поэтому каждый корпус имеет собственную резонансную частоту, которая может изменяться в узких пределах в зависимости от изменений массы грузов 4. Резонансные частоты каждого корпуса образуют определенный спектр, соответствующий набору различных масс грузов. При добавлении массы испытуемого датчика этот спектр, изменяется в сторону низких частот.

Таким образом, резонансные частоты ВУУ можно менять двумя способами:

1. заменой корпуса 2;
2. изменением массы дополнительного груза 4.

С помощью болтов 1 корпус 2 крепится к столу вибростенда. Грузы 4 крепятся к корпусу с помощью шпильки 3, а испытуемый датчик закрепляется или на шпильке 3, или непосредственно в резьбовом отверстии корпуса 2 с помощью установочного приспособления.

Перед работой на ВУУ выбирается его корпус в зависимости от требуемой частоты и массы испытуемого датчика.

Испытуемый датчик закрепляется на шпильке или непосредственно в резьбовом отверстии корпуса ВУУ таким образом, чтобы его нижняя поверхность была прижата к верхней плоскости корпуса.

Работа с ВУУ производится в следующей последовательности.

Включить вибростенд и изменяя частоту колебаний, установить резонансную частоту. На этой частоте амплитуда виброускорений на ВУУ максимальна. После этого необходимо установить требуемую амплитуду на ВУУ. Если фактическая резонансная частота незначительно отличается от номинальной, её можно изменить за счет изменения количества грузов. Если же фактическая резонансная частота значительно отличается от номинальной, то заменяется корпус ВУУ.

Вывод. Рассмотренные методики виброиспытаний и их аппаратное оснащение с использованием электродинамических вибростендов и виброусилительных устройств, позволяют обеспечить полный цикл вибронагрузок при разработке и модернизации аппаратуры и приборов для большинства отраслей. При этом, знание особенностей конструкции вибростенда и систем измерения и регулирования параметров вибрации, способствуют расширению номенклатуры и типов испытуемых приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джексон Р.Г. Новейшие датчики. Справочник пер. с англ. / М.: Техносфера, 2007. -380 с.
2. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
3. Юрков, Н.К. Жаднов В.В. Особенности конструирования бортовой космической аппаратуры учеб. пособие / Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – 112 с.
4. Чернышов А.А. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных схем / М.: Радио и связь, 1988.
5. Герасимов, О. Н. О Юрков Н. К. Применении испытаний РЭС на воздействие внешних дестабилизирующих факторов на заключительных этапах производственного контроля // Надежность и качество сложных систем. – 2015. –№ 4 (12). – С. 116–121



6. Bushmelev P, Pivkin A., Lysenko A., Study Algorithm Speed Signal Generating Feedback for Information-measuring System Control Active Vibration Protection // International 2015. – Vol. 10, № 23. – P. Journal of Applied Engineering Research.

7. Дьяконов В.П. MATLAB Simulink 5/6/7. Основы применения. - 2-е изд., перераб. и доп./ М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. - 800 с.

УДК 621.314.5

ПРОЦЕДУРА ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ СИНУС-ФИЛЬТРА ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЕ НАПРЯЖЕНИЯ

М.Ю. Пустоветов

кандидат технических наук, докторант кафедры «Электропоезда и локомотивы», Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет транспорта (МИИТ)", г. Москва, Россия, e-mail: mgsn2006@yandex.ru

Аннотация. В работе предложена и поэтапно рассмотрена процедура выбора параметров синус-фильтра для случая повышенной (400 ... 1000 Гц) частоты напряжения. Обсуждены вопросы ограничений и специфических требований, оказывающих влияние на выбор компонентов синус-фильтра.

Ключевые слова: преобразователь частоты, синус-фильтр, компьютерное моделирование.

THE PROCEDURE OF SINE-WAVE FILTER PARAMETERS SELECTION IN CASE OF INCREASED FREQUENCY OF VOLTAGE

Mikhail Pustovetov

Ph.D., doctoral student of the «Electric trains and locomotives» department of Federal State Institution of Higher Education «Russian University of Transport», Moscow, Russia, e-mail: mgsn2006@yandex.ru

Abstract. The paper proposes and gradually considers the procedure for selecting the parameters of the sine-wave filter for the case of increased (400 ... 1000 Hz) voltage frequency. Limitations and specific requirements affecting the choice of sine-wave filter components discussed.

Keywords: frequency converter, sine-wave filter, simulation.

Введение. Для современного электрического привода переменного тока, а также систем электроснабжения, имеющих в своем составе преобразователь частоты (ПЧ), проблема электромагнитной совместимости является одной из ключевых ввиду характерных особенностей современной технологии формирования напряжения импульсными полупроводниковыми

