
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

УДК 368.3

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВИБРАЦИИ¹

Статья поступила в редакцию 05.03.2016, в окончательном варианте 22.03.2016.

Голушко Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: golushko_da@r4f.su

Трусов Василий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: trusov_v@mail.ru

Юрков Николай Кондратьевич, доктор технических наук, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: yurkov_nk@mail.ru

Бростилов Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: brostilov@yandex.ru

Бростилова Татьяна Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: brostilov@yandex.ru

Рыбаков Илья Михайлович, аспирант, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40, e-mail: ra4foc@r4f.su

Разработан программно-аппаратный комплекс (ПАК), объединяющий в своем составе многоканальную вибрационную установку, информационно-измерительную и управляющую систему, индукционный виброизмерительный преобразователь, а также их программное обеспечение. Цифровой генератор прямого синтеза, используемый в ПАК, предназначен для формирования следующих сигналов: многоканального испытательного сигнала (ИС) с необходимой скоростью изменения частоты и фазовым сдвигом между каналами; сигнала управления постоянной времени сглаживающего фильтра; сигнала управления чувствительностью дифференциального усилителя. Генератор формирует четырехканальный ИС плавающей частоты с необходимым фазовым сдвигом и сигнал управления постоянной времени, который синхронизирован с изменяющейся частотой. Разработанный ПАК позволяет определять динамические характеристики, наиболее полно соответствующие свойствам объекта исследования. Это является важным фактором при выборе методов, средств и режимов проведения испытаний объектов на воздействие вибрации. Использование независимого возбуждения точек крепления объекта исследования позволяет возбуждать резонансы на всех собственных частотах объекта в исследуемом частотном диапазоне. Доказано, что бесконтактная индикация резонансов по импеданс-частотной характеристике одного из вибраторов точна и показательна. Искажения в низкочастотной области рабочего диапазона, вносимые пульсациями фильтра нижних частот преобразователя в эффективное значение, снижены за счет введения переменной скорости изменения частоты ИС и регулирования постоянной времени. Разработана структурная схема ПАК и структура алгоритма формирования ИС.

Ключевые слова: проведение испытаний, электронные средства, информационно-измерительная система, механические воздействия, динамические характеристики, испытательный сигнал, вибрации, собственные частоты, виброизмерительный преобразователь

HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX FOR TESTING OF ELECTRONIC DEVICES ON THE EFFECTS OF VIBRATION

Golushko Dmitry A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: golushko_da@r4f.su

¹ Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 15-19-10037 от 20 мая 2015 г.).

Trusov Vasily A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: trusov_v@mail.ru

Yurkov Nikolay K., D.Sc. (Engineering), Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: yurkov_nk@mail.ru

Brostilov Sergey A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: brostilov@yandex.ru

Brostilova Tatiana Yu., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: brostilov@yandex.ru

Rybakov Il'ia M., post-graduate student, Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation, e-mail: ra4foc@r4f.su

The authors have developed an hardware and software system (HSS), brings together a multi-channel installation vibration; information-measuring and control system, induction vibration measurement converter, as well as their software. The digital generator of direct synthesis, used in the HSS, produces the following signals: multi-channel test signal with the required rate of frequency change and phase shift between the channels; control signal for time constant of the smoothing filter; control signal for the sensitivity of the differential amplifier. The generator produces four-channel test signal of variable frequency with the required phase shift and the control signal for time constant, which is synchronized with the varying frequency. The developed system allows determining the dynamic characteristics that reflect the properties of the object of study, which is an important factor during the choice of methods, means and modes of conducting vibration tests. The use of independent excitation of the object attachment points allows exciting resonance at all normal frequencies of the object within the examined frequency range. It has been proved that contactless resonance detection based on impedance-frequency characteristic of a vibrator is accurate and reliable. Distortions in low-frequency zone of the working range, introduced by filter pulsations of low frequency transducer into effective value, have been lowered due to the introduction of variable rate of test signal frequency rate and the control of the time constants. The block diagram of the HSS and the algorithm for producing the test signal have also been developed and presented in the paper.

Keywords: testing, electronic, information-measuring system, mechanical impact, dynamic characteristics, test signal, vibration, natural frequencies, vibration measurement converter

Введение. В настоящее время задача повышения надежности электронных средств (ЭС), устанавливаемых на подвижных носителях, достаточно актуальна. Это обусловлено повышением нагрузок на бортовые ЭС (повышение маневренности, дальности действия наземного транспорта, авиации, ракетно-космических систем и т.д.) и ростом требований к их функциональным возможностям (увеличение степени интеграции элементов, уменьшение массогабаритных показателей и т.д.) [14].

Во всем мире и в том числе в России многие ученые и специалисты-разработчики устройств уделяют значительное внимание решению этой задачи. С этой целью радиоэлектронные средства (РЭС) в процессе их создания (разработки) и производства подвергаются различным видам испытаний на воздействие внешних факторов [11]. Такие испытания являются одной из наиболее трудоемких и дорогостоящих процедур программы обеспечения качества и надежности изделий. Так, например, в комплексе государственных военных стандартов «Мороз-6» (введен в действие с 1999 г.) включены 5 категорий контрольных испытаний (предварительные и государственные опытных образцов, периодические, приемосдаточные и типовые серийной продукции) и 55 видов испытаний. В том числе 22 вида на воздействие климатических и 19 – на воздействие механических факторов, а также испытания на надежность безотказность, долговечность и сохраняемость [10].

Для количественной оценки безотказности изделий анализ распределения количества повторяющихся неисправностей по наработке на отказ позволяет выявить закономерности физических процессов развития эксплуатационных повреждений и установить их причины. По оценкам Российских ученых количество отказов РЭС, оказавшихся в реальных условиях эксплуатации, доходит до 30 %. При этом до 40 % всех отказов происходит из-за негативного влияния внешних вибрационных воздействий [4, 6, 12]. Важнейшим элементом современных РЭС являются печатные платы с установленными на них комплектующими изделиями. Поэтому актуальной научно-практической задачей является совершенствование методов и средств повышения эффективности испытаний для определения динамических характеристик [13] конструкций печатных узлов РЭС путем создания новых информационно-измерительных и управляющих систем (ИИиУС). В силу этого целью настоящей статьи является представление разра-

ботанного аппаратно-программного комплекса, включающего ИИиУС с расширенной функциональностью. Она предназначена для проведения испытаний на воздействие вибрации.

Устройство и работа системы управления разработанной ИИиУС. Система управления ИИиУС реализована на микроконтроллерах AVR, генератор – на atmega128, а измеритель – на atmega8. Эти устройства были выбраны исходя из соотношения цена / функциональные возможности.

Оба микроконтроллера тактируются от одного кварцевого резонатора с частотой 11,0592 МГц, что снижает ошибки передачи по последовательным интерфейсам. Связь между микроконтроллерами осуществляется по интерфейсу SPI: измеритель в режиме master, генератор в режиме slave. Связь с ЭВМ по интерфейсу RS232 осуществляется измерителем. Коэффициент усиления дифференциального усилителя устанавливается в ручном режиме из интерфейса пользователя программного обеспечения (ПО) и определяется содержимым соответствующего регистра генератора. Запуск генератора осуществляется по команде «start» 0b00011100 (bin), 28 (dec). Настройка генератора осуществляется пакетом из 8 байт с заголовком «setting» 0b00111000 (bin), 56 (dec). После приема команды «setting» генератор ожидает получения 7 байтов, содержащих информацию о настройках - затем переходит в спящий режим. Перевод генератора в спящий режим во время синтеза испытательного сигнала (ИС) осуществляется по команде «mute» – любой байт за исключением «start» и «setting». В таблице 1 представлен протокол информационного обмена.

Таблица 1

Протокол информационного обмена микроконтроллера с ЭВМ

Регистр	Наименование параметра	Расчетные формулы, описание и возможные варианты
56 (dec)	«setting»	Заголовок пакета
freq_M	начальная частота	$freq_M = FH / 5,632$ (для 31т)
last	конечная частота	Last = 1 → $FK = 1442$ Гц Last = 2 → $FK = 2884$ Гц Last = 3 → $FK = 4326$ Гц (31т) Last = 4 → $FK = 5767$ Гц (31т), где FK – конечная частота
width	длительность	Количество периодов на одной частоте
step	шаг изменения частоты	$Step = \Delta f / 0,022$, где Δf – требуемое смещение частоты
phase_2	фаза второго канала	$phase_2 = (\phi 2) 360 / 256$, где $\phi 2$ – фаза второго канала относительно первого канала
phase_3	фаза третьего канала	$phase_3 = (360 - \phi 2 + \phi 3) 360 / 256$, где $\phi 3$ – фаза третьего канала относительно первого канала
phase_4	фаза четвертого канала	$phase_3 = (360 - \phi 3 + \phi 4) 360 / 256$, где $\phi 4$ – фаза четвертого канала относительно первого канала

Измеритель дискретизирует 64 значения аналогового выпрямленного и отфильтрованного сигнала, затем передает усредненное значение в ЭВМ по последовательному интерфейсу с целью дальнейшей обработки и визуализации. Для снижения погрешности усреднения в фильтре низкой частоты (ФНЧ) используется управление величиной постоянной времени, реализованное на резистивной оптопаре. Сигнал формируется на портах F и G одиннадцатью разрядами двух старших регистров ΔF , затем преобразуется в цифровую форму резистивным аналого-цифровым преобразователем (АЦП). На рисунке 1 показана схематехническая реализация регулятора постоянной времени сглаживающего ФНЧ.

Постоянная времени τ зависит от значений емкости и сопротивления, равна их произведению. Значение сопротивления четырехканальной резистивной оптопары ЗОП125А зависит от управляющего тока, протекающего через ее диод.

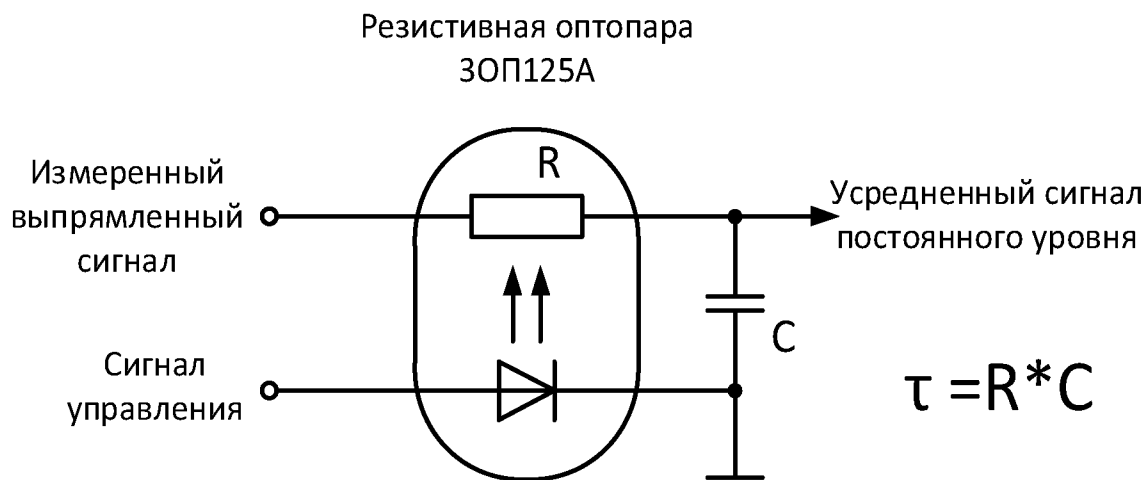


Рис. 1. Реализация регулятора постоянной времени ФНЧ

Описание структурной схемы ИИиУС. При испытаниях для определения динамических характеристик конструкции методом плавного изменения частоты ГОСТ 30630.1.1-99 регламентирует значение скорости изменения частоты равное одной-двум октавам в минуту.

Если проводить сканирование широкого диапазона частот (например, от 10 Гц до 1кГц и более) с такой скоростью за одну итерацию и одним устройством, то на низких частотах сглаживающий фильтр преобразователя не обеспечит эффективного усреднения. На выходе появятся значительные пульсации и погрешность постоянного уровня. При скорости изменения частоты в одну октаву за минуту на поддиапазоне от 10 до 20 Гц длительность измерения N составит 900 периодов измеряемого сигнала.

Экспериментальные исследования, направленные на анализ колебательных характеристик печатных плат, показали, что на интервале 1 / 60 октавы при резонансах с высокой добротностью изменения уровней амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) достигают 1дВ. Иными словами, за время установления, равное одной секунде, измеряемый сигнал может измениться на 10 %. При скорости изменения частоты 1 октава в минуту быстродействия преобразователя, имеющего время установления 1 секунда на низких частотах, недостаточно для проведения измерений. За одну секунду в ИС (10–20 Гц) уложится в среднем 15 периодов, что явно мало для преобразования в эффективное значение с приемлемой погрешностью. Поэтому для снижения погрешности при усреднении в сглаживающем ФНЧ осуществляется регулирование постоянной времени.

Авторами разработан АПК, состоящий из многоканальной вибрационной установки, системы управления ИИиУС, индукционного виброизмерительного преобразователя (ВИП). Структурная схема АПК приведена на рисунке 2.

Цифровой генератор прямого синтеза предназначен для формирования таких сигналов: многоканального ИС с необходимой скоростью изменения частоты и фазовым сдвигом между каналами; сигнала управления постоянной времени сглаживающего фильтра; сигнала управления чувствительностью дифференциального усилителя. Генератор формирует четырехканальный ИС плавающей частоты с необходимым фазовым сдвигом и сигнал управления постоянной времени, который синхронизирован с изменяющейся частотой.

Генераторы прямого цифрового синтеза (DDS) уникальны тем, что генерируемый ими сигнал синтезируется с высокой точностью. Частотное разрешение таких генераторов составляет сотые и даже тысячные доли герца. Такое разрешение недостижимо для других методов синтеза. Другой особенностью технологии прямого синтеза является быстрая перестройка по частоте и фазе. Кроме того, DDS-генераторы практически не подвержены температурному дрейфу и старению.

После восьмиразрядного цифро-аналогового преобразователя сигнал поступает на усилитель мощности. Компенсация искажений, возникающих в цепях «усилитель мощности – вибростенд», осуществляется с помощью электромагнитной обратной связи (ЭМОС). Дифференциальный усилитель предназначен для усиления сигналов с активного сопротивления и обмотки возбуждения одного из виброисполнителей для последующего выпрямления. Регулятор постоянной времени меняет значение τ в

соответствии с сигналом управления от генератора. Далее постоянное напряжение измеряется с использованием АЦП и передается для вычисления модуля полного электрического сопротивления в ЭВМ. Полученная зависимость этого параметра от частоты позволяет достаточно точно выявить собственные частоты механических колебаний исследуемого объекта в установленном диапазоне частот.

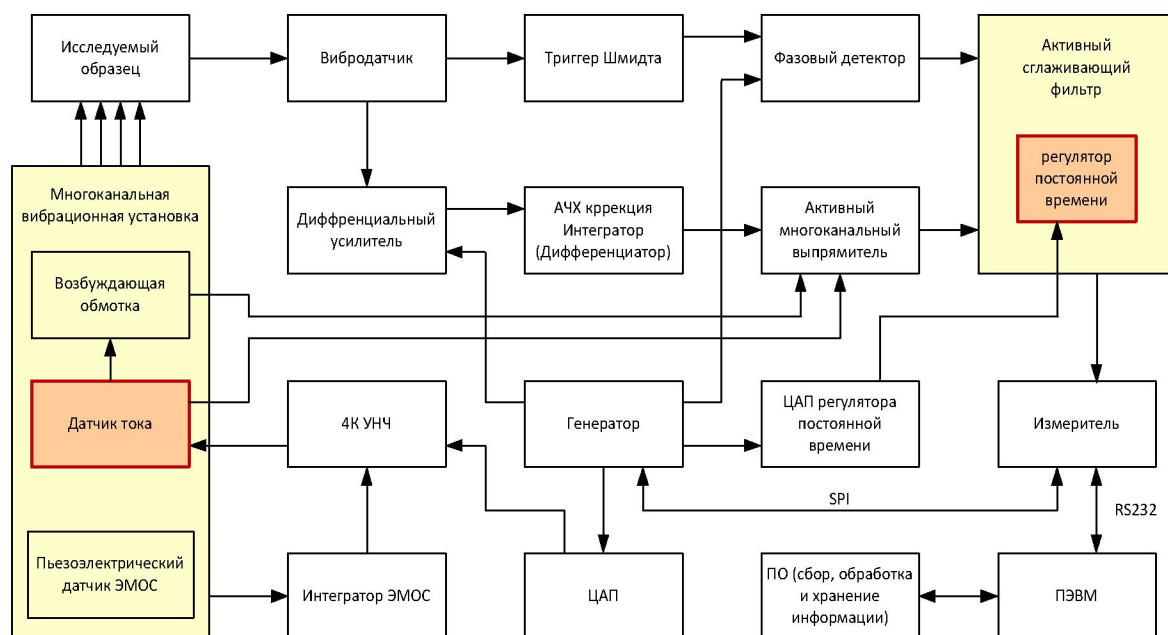


Рис. 2. Структурная схема АПК, включающего вибрационную установку

Для измерения фазочастотных характеристик в АПК применен фазовый детектор, структурная схема которого показана на рисунке 3.

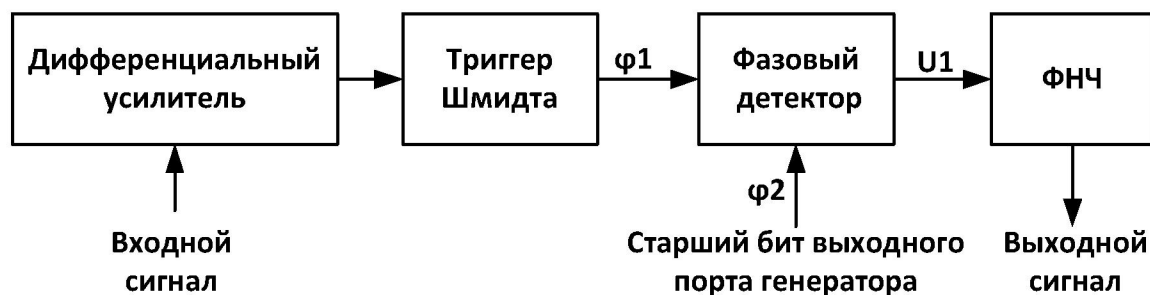


Рис. 3. Структурная схема фазового детектора

Триггер Шмидта представляет собой RS-триггер, управляемый одним входным аналоговым сигналом, с двумя разными напряжениями переключения в «1» и в «0»: напряжение переключения в «1» выше напряжения переключения в «0». Таким образом, синусоидальный сигнал, усиленный дифференциальным усилителем, преобразуется в прямоугольные импульсы с сохранением фазы исходного сигнала.

Цифровой фазовый детектор обладает высокой линейностью, работает с аналоговыми или цифровыми сигналами прямоугольной формы и представляет собой вентиль «Исключающее ИЛИ». Зависимость выходного напряжения от разности фаз для входных прямоугольных сигналов с коэффициентом заполнения, равным 50 %, показана на рисунке 4.

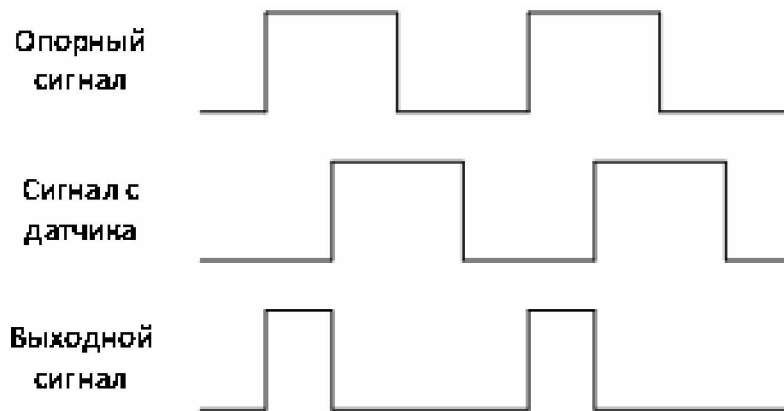


Рис. 4. Зависимость выходного напряжения фазового детектора от разности фаз

Напряжение на выходе фазового детектора определяется разностью фаз между сигналом с датчика ϕ_1 и опорным сигналом ϕ_2 снимаемым со старшего бита выходного порта первого канала генератора.

$$U_I = K_{дет}(\Delta\phi),$$

где $K_{дет} = 1,59 \text{ В / рад}$ при напряжении питания 10В.

На старшем бите порта генератора формируется опорный цифровой сигнал, фаза которого совпадает с синусоидальным ИС после АЦП.

Описание схемы для реализации алгоритма формирования ИС. Формирование ИС реализовано на генераторе прямого синтеза, построенном на 8-разрядном микроконтроллере [2]. Схема реализации алгоритма, используемого в генераторе, представлена на рисунке 5.

Один период синусоидальных колебаний представлен во внутренней памяти программы микроконтроллера 256 значениями. Эти значения необходимо загрузить в ОЗУ, чтобы впоследствии передать их в соответствующий порт ввода-вывода по указателю *Assum*. Формирование нуля на выходе генератора происходит с помощью передачи в порты ввода-вывода значения 7F в бесконечном цикле. Запуск генератора выполняется командой *Start*, полученной по последовательному интерфейсу в цикле программы или по прерыванию. *Assum* – это аккумулятор фазы, состоящий из трех 8-разрядных регистров. В младший регистр добавляется слагаемое ΔF , определяющее текущее значение величины частоты (F):

$$F = ((\Delta F)F_{clock}) / (m2^b),$$

где F_{clock} – тактовая частота; m – количество тактов в цикле генерации; b – разрядность аккумулятора (в данном случае «24»).

Фазовый сдвиг n -ого канала определяется 8-разрядной переменной ϕ , добавляемой к старшему регистру аккумулятора непосредственно перед передачей в порт значения из ОЗУ. Условие $T = 1$ (на блок-схеме по рисунку 5) определяет, закончилось ли формирование одного периода колебаний. Если «да», то необходимо заново рассчитать значение ΔF . Если «нет», то необходимо установить и выдать сигнал управления для τ в порт двух старших регистров ΔF . Цикл необходимо задать так, чтобы количество тактов в разных ветках было одинаковым. На частотах выше 160 Гц скорость изменения частоты генерации постоянна, равна одной октаве в минуту и зависит от значения $\Delta F = \Delta F + \beta$, где β определяется согласно [5, 8, 9] по:

$$\beta = 160(2^b)m/F_{clock}.$$

На частотах ниже 160 Гц ΔF определяется по:

$$\Delta F = \Delta F + (\beta F_H) / 160,$$

где F_H – нижняя фиксированная частота по ГОСТ 30630.1.1-99 диапазона частот, в котором находится текущая частота. Таким образом, чем ниже частота, тем меньше скорость изменения частоты. Проверка условия $F = F_k$ необходима для обеспечения выхода из цикла при завершении формирования ИС.

Приведем некоторые технические характеристики АПК в целом.

Потребляемая мощность – не более 27 Вт.

Масса – не более 45 кг.

Технические характеристики многоканальной вибрационной установки приведены в таблице 2.

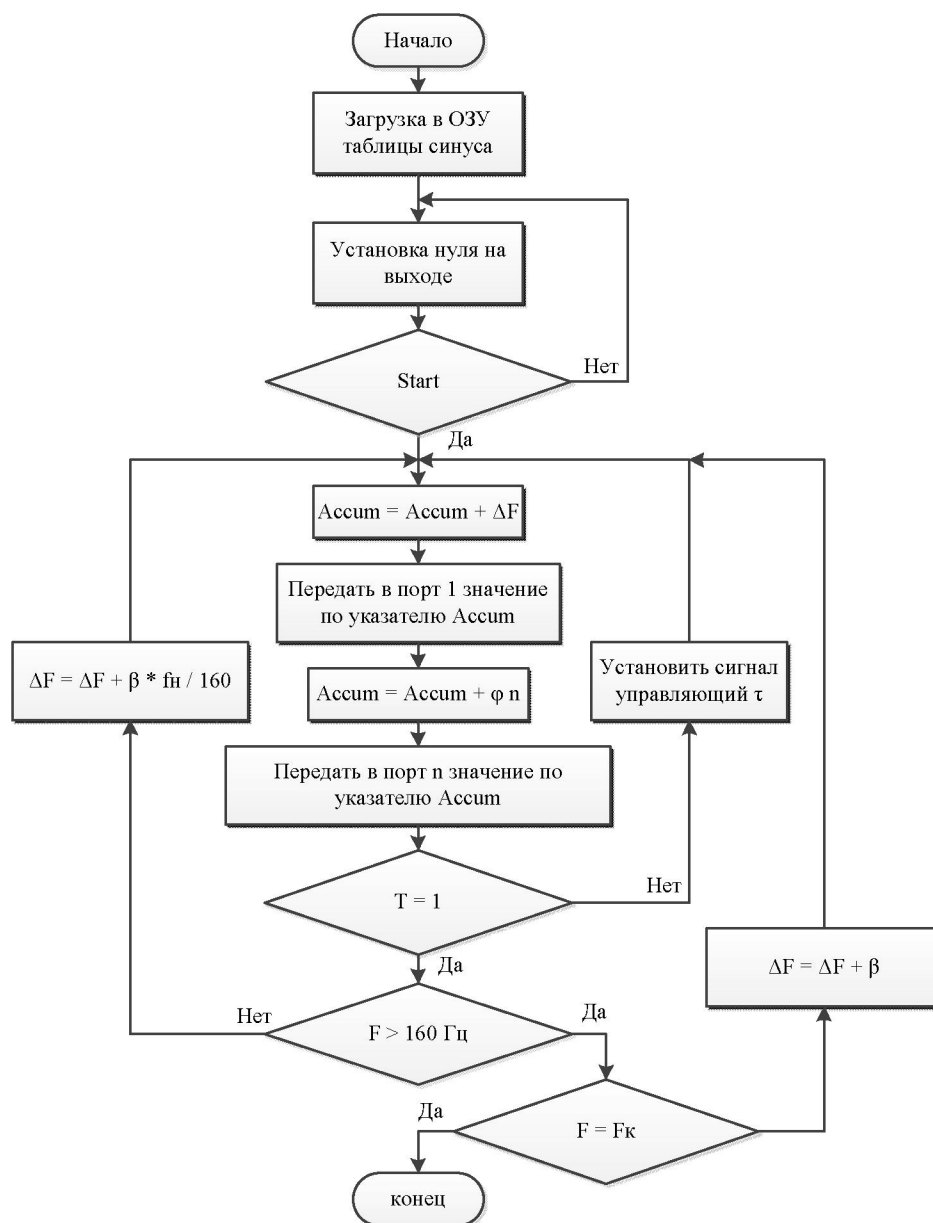


Рис. 5. Блок-схема алгоритма работы генератора

Таблица 2

Технические характеристики многоканальной вибрационной установки

Параметр	Значение
Количество вибровозбудителей	4
Мощность каждого вибровозбудителя	4 Вт
Сопротивление измерительной обмотки	8 Ом
Частотный диапазон	от 10 Гц до 5 кГц

Неравномерность АЧХ вибровозбудителей	2 дБ
Максимальная амплитуда ускорения	10 g
Максимальные размер ОИ	320*220*100 мм.
Размер стола	560*380 мм
Рабочий стол	Алюминиевая плита, Т-СЛЮТ
Материал станины	Алюминиевый профиль
Дискретность позиционирования	0,01 мм
Рабочая скорость	до 5000 мм / мин.
Вес установки	34 кг

Технические характеристики измерительного модуля приведены в таблице 3.

Таблица 3

Технические характеристики измерительного модуля АПК

Параметр	Значение
Количество каналов измерителя	5 (2 ФЧХ, 2 АЧХ, 1 ИЧХ)
Разрядность АЦП измерителя	10
Интерфейс управления	RS232
Диапазон регулирования постоянной времени ФНЧ –	от 6 мс до 1 с
Параметры усреднения АЦП	64 измеренных значения.

Технические характеристики модуля формирования ИС представлены в таблице 4.

Таблица 4

Технические характеристики модуля формирования испытательного сигнала

Параметр	Значение
Количество каналов генератора	4
Разрядность ЦАП генератора	8
Разрядность ЦАП канала регулятора постоянной времени	10
Разрядность регулятора чувствительности ДУ	4
Частотный диапазон	от 10 Гц до 5 кГц
Коэффициент нелинейных искажений	не более 0,1 %
Максимальная амплитуда выходного сигнала	2 В
Интерфейс управления	ISP
Тактовая частота	11 МГц
Шаг регулирования фазы –	1,4

Выводы. Таким образом, разработанный авторами АПК позволяет определять динамические характеристики, которые наиболее полно соответствуют свойствам объекта исследования (ОИ). Это является важным фактором при выборе методов, средств и режимов проведения испытаний ОИ на воздействие вибрации.

Использование независимого возбуждения точек крепления ОИ позволяет возбуждать резонансы на всех собственных частотах механических колебаний в исследуемом частотном диапазоне.

Доказано, что бесконтактная индикация резонансов по импеданс-частотной характеристике одного из вибраторов точна и показательна.

Искажения в низкой частотной области рабочего диапазона, вносимые пульсациями ФНЧ преобразователя в эффективное значение, снижены благодаря введению переменной скорости изменения частоты ИС и регулированию постоянной времени.

Индукционный ВИП прямого действия как нельзя лучше подходит для исследования частотных свойств малогабаритных ОИ, т.к. вносимая масса, жесткость и площадь контактного взаимодействия сведены к минимуму.

Отсутствие необходимости механического закрепления ОИ позволяет уменьшить затраты времени в процессе проведения экспериментов (испытаний) образцов электронной техники.

Список литературы

1. Брумштейн Ю. М. Анализ некоторых моделей группового управления рисками / Ю. М. Брумштейн, О. Н. Выборнова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 64–72.
2. Голушко Д. А. Исследование частотного спектра механических колебаний сложных технических систем эксплуатируемых подвижных объектов / Д. А. Голушко // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 4 (8). – С. 83–88.
3. Колганов А. А. Инженерная методика проектирования автомобильных радиоохранных систем / А. А. Колганов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3. – С. 186–202.
4. Лысенко А. В. Анализ особенностей применения современных активных систем виброзащиты для нестационарных РЭС / А. В. Лысенко, Г. В. Таньков, Д. А. Рындин // Надежность и качество : труды Международного симпозиума : в 2 т. / под ред. Н. К. Юркова. – 2013. – Т. 2. – С. 155–158.
5. Лысенко А. В. Особенности разработки типологии устройств амортизации радиоэлектронных средств на основе фасетной структуры / А. В. Лысенко // Надежность и качество : Труды Международного симпозиума. – 2013. – Т. 2. – С. 151–155.
6. Лысенко А. В. Способ снижения величины вибрационных нагрузок в несущих конструкциях ЭС и методика, его реализующая / А. В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 41–44.
7. Михеев М. Ю. Математические и информационно-структурные модели прогнозирования состояния технически сложных объектов / М. Ю. Михеев, О. В. Прокофьев, А. Е. Савочкин, М. А. Линкова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 4. – С. 232–249.
8. Ольхов Д. В. Влияние резонансных частот на устройства криптографической защиты информации / Д. В. Ольхов, А. В. Лысенко // Надежность и качество : труды Международного симпозиума. – 2015. – Т. 1. – С. 283–286.
9. Реута Н. С. Разновидности механических воздействий в радиоэлектронной аппаратуре / Н. С. Реута, Н. В. Горячев, В. А. Трусов // Молодой ученый. – 2014. – № 21. – С. 224–226.
10. Талицкий Е. Н. Защита электронных средств от механических воздействий. Теоретические основы : учебное пособие / Е. Н. Талицкий. – Владимир : Владимирский государственный университет, 2001. – 256 с.
11. Таньков Г. В. Механические и тепловые воздействия на РЭС / Г. В. Таньков, Н. В. Горячев, И. И. Кочегаров // Молодой ученый. – 2015. – № 1. – С. 112–113.
12. Юрков Н. К. Особенности конструирования бортовой космической аппаратуры : учебное пособие / Н. К. Юрков, В. В. Жаднов. – Пенза : Пензенский государственный университет, 2012. – 112 с.
13. Grigor'ev A. V. Way of measurement of parameters of vibrations of mirror antennas / A. V. Grigor'ev, N. V. Goryachev, N. K. Yurkov // Proceedings of the International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). – Omsk : Omsk State Technical University, May 21–23, 2015.
14. Grishko A. Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems / A. Grishko, N. Goryachev, N. Yurkov // International Journal of Applied Engineering Research. – Number 23, 2015. – Vol. 10. – P. 43842–43845.

References

1. Brumshteyn Yu. M., Vybornova O. N. Analiz nekotorykh modeley gruppovogo upravleniya riskami [Analysis of some models of group risk management]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 64–72.
2. Golushko D. A. Issledovanie chastotnogo spektra mekhanicheskikh kolebaniy slozhnykh tekhnicheskikh sistem ekspluatiruemykh podvizhnykh obektov [Research of a frequency range of mechanical oscillations of difficult technical systems of the operated mobile objects]. *Nadezhnost i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and Quality of Difficult Systems], 2014, no. 3, pp. 83–88.
3. Kolganov A. A. Inzhenernaya metodika proektirovaniya avtomobilnykh radiookhrannykh sistem [Research of a frequency range of mechanical oscillations of difficult technical systems of the operated mobile objects]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 3, pp. 186–202.
4. Lysenko A. V. Analiz osobennostey primeneniya sovremennykh aktivnykh sistem vibrozashchity dlya nestatsionarnykh RES [The analysis of features of use of modern active systems of vibroprotection for non-stationary regional electric networks]. *Nadezhnost i kachestvo : trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Reliability and Quality. Proceedings of the International Symposium], 2013, no. 2, pp. 155–158.
5. Lysenko A. V. Osobennosti razrabotki tipologii ustroystv amortizatsii radioelektronnykh sredstv na osnove fasetnoy struktury [Features of development of typology of devices of depreciation of radio-electronic means on the basis of facet structure]. *Nadezhnost i kachestvo : trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Reliability and Quality. Proceedings of the International Symposium], 2013, no. 2, pp. 151–155.
6. Lysenko A. V. Sposob snizheniya velichiny vibratsionnykh nagruzok v nesushchikh konstruktsiyakh ES i metodika, ego realizuyushchaya [A way of decrease in size of vibration loadings in the bearing designs power station and a technique, realizing him]. *Nadezhnost i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and Quality of Difficult Systems], 2013, no. 4, pp. 41–44.

7. Miheev M. Ju., Prokofev O. V., Savochkin A. E., Linkova M. A. Matematicheskie i informatsionno-struktumnye modeli prognozirovaniya sostoyaniya tekhnicheskikh slozhnykh obektov [Mathematical and information and structural models of forecasting of a condition of technically difficult objects]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2015, no. 4, pp. 232–249.

8. Ol'hov D. V., Lysenko A. V. Vliyaniye rezonansnykh chastot na ustroystva kriptograficheskoy zashchity informatsii [Influence of resonant frequencies on devices of cryptographic information security]. *Nadezhnost i kachestvo : trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Reliability and Quality. Proceedings of the International Symposium], 2015, vol. 1, pp. 283–286.

9. Reuta N. S., Gorjachev N. V., Trusov V. A. Raznovidnosti mekhanicheskikh vozdeystviy v radioelektronnoy apparature [Kinds of mechanical influences in the radio-electronic equipment]. *Molodoy uchenyy* [The Young Scientist], 2014, no. 21, pp. 224–226.

10. Talickij E. N. *Zashchita elektronnykh sredstv ot mekhanicheskikh vozdeystviy. Teoreticheskie osnovy* [Protection of electronic means from mechanical influences. Theoretical bases: Manual], Vladimir, Vladimir State University Publ. House, 2001. 256 p.

11. Tan'kov G. V., Gorjachev N. V., Kochegarov I. I. Mekhanicheskie i teplovye vozdeystviya na RES / G. V. Tan'kov [Mechanical and thermal impacts on regional electric networks]. *Molodoy uchenyy* [The Young Scientist], 2015, no. 1, pp. 112–113.

12. Jurkov N. K., Zhadnov V. V. *Osobennosti konstruirovaniya bortovoy kosmicheskoy apparatury* [Features of designing of the onboard space equipment], Penza, Penza State University Publ. House, 2012. 112 p.

13. Grigor'ev A. V., Goryachev N. V., Yurkov N. K. Way of measurement of parameters of vibrations of mirror antennas. *Proceedings of the International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*, Omsk, Omsk State Technical University Publ. House, May 21–23, 2015.

14. Grishko A., Goryachev N., Yurkov N. Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems. *International Journal of Applied Engineering Research*, Number 23, 2015, vol. 10, pp. 43842–43845.