

А.В. ЛЫСЕНКО,
А.К. ГРИШКО, И.Ю. НАУМОВА
**Разработка алгоритма
информационно-измерительной
системы управления активной
виброзащитой РЭУ**

УДК 534.121

ФГБОУ ВПО
«Пензенский
государственный
университет»
г. Пенза

Разработана структура алгоритма формирования сигналов обратной связи для информационно-измерительной системы (ИИС) управления активной виброзащитой РЭУ. Предложено осуществить реализацию алгоритма на базе микроконтроллера ATmega128, для чего проведен теоретический анализ его вычислительной мощности. Проведены экспериментальные исследования быстроедействия предложенного алгоритма в связке с микроконтроллером ATmega128, подтвердившие возможность их применения для защиты РЭУ от внешних вибрационных воздействия на частотах до 10 кГц.

Введение

Существующие активные амортизационные системы предназначены для снижения амплитуды вибраций на конструкции радиоэлектронных устройств (РЭУ) не только на резонансных частотах, но и на всём требуемом диапазоне частот. Принцип их работы основан на введении дополнительных компенсирующих сигналов внешнего вибрационного воздействия. Сигналы подаются в противофазе и равными по амплитуде, что и обеспечивает положительный эффект вибростабилизации РЭУ.

Такой подход влечет за собой усложнение конструкции активных амортизаторов за счет введения дополнительных средств измерения вибраций, а так же увеличение их стоимости, поэтому

применение таких средств защиты обосновано только в исключительных случаях ответственной РЭУ. К тому же во многих случаях вибрационная защита достаточна на резонансных частотах, т.к. остальной диапазон на РЭУ влияет не сильно [1,2].

Поэтому далее рассматривается новый вариант создания конструктивно простых средств активной виброзащиты РЭУ, реализующих высокоэффективный способ снижения вибрационных нагрузок на резонансных частотах [3].

Рассматриваемый способ состоит во внесении на резонансных частотах фазового рассогласования в точках крепления объекта виброзащиты вследствие чего амплитуда вынужденных колебаний РЭУ резко понижается, а затраты энергии существенно меньше чем в системах с полной компенсацией.

Структура алгоритма формирования сигналов обратной связи

Схема предложенного алгоритма формирования сигналов обратной связи для информационно-измерительной системы управления активной виброзащитой РЭУ представлен на рисунке 1.

Началом работы данного алгоритма служит включения питания ИИС управления активной виброзащитой РЭУ. Далее следует загрузка параметров объекта виброзащиты в память микроконтроллера, а именно: модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность, размеры поверхности крепления, расстояние между точками крепления. Далее в процессе реального времени происходит постоянная загрузка быстроменяющихся параметров внешнего воздействия – амплитуды и частоты. По имеющимся параметрам выделяется сигнал одного из канала.

$$A_0(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

При этом вычисляемая амплитуда рассчитывается значениями фазы, равной нулю. Именно такое значение фазы устанавливается для первого канала.

Далее следует рассогласование сигнала на 90° по формуле:

$$A_2(t) = A \cdot \left[\sin(\omega \cdot t + \varphi_0) - \sin\left(\omega \cdot t + \varphi_0 + \frac{\pi}{2}\right) \right].$$

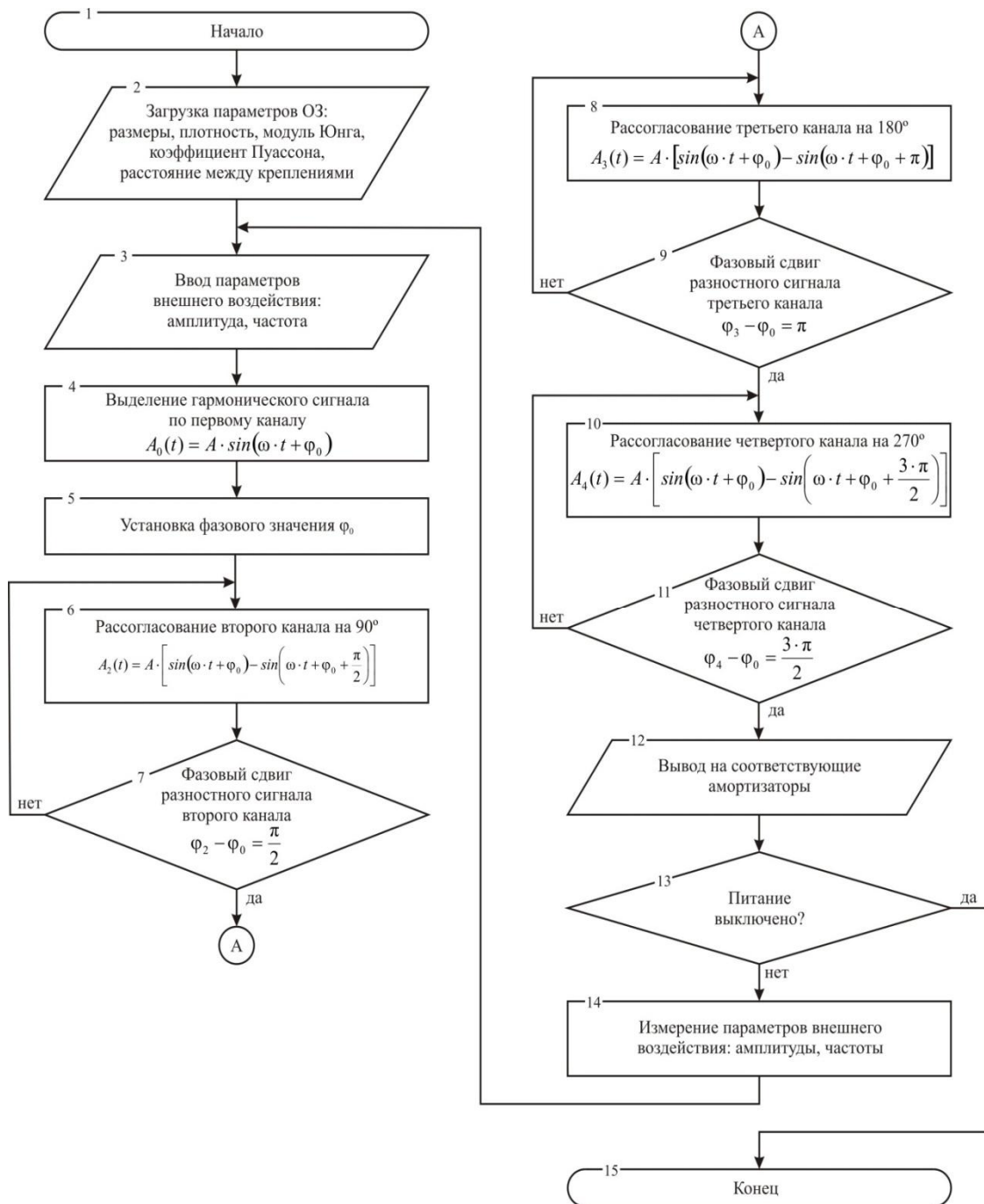


Рис. 1. Алгоритм формирования сигналов обратной связи для информационно-измерительной системы активной виброзащиты РЭУ

Решение поставленного условия позволяет обеспечить фазовый сдвиг одного из каналов на требуемый угол:

$$\varphi_2 - \varphi_0 = \frac{\pi}{2}.$$

При реализации условия переходим к выполнению следующего процесса. В случае его невыполнения, по обратной связи переходим к процессу рассогласования на 90° .

Следующим процессом является рассогласование на 180° осуществляемое по формуле:

$$A_3(t) = A \cdot [\sin(\omega \cdot t + \varphi_0) - \sin(\omega \cdot t + \varphi_0 + \pi)]$$

По аналогии с предыдущим процессом-условием формируется фазовый сдвиг третьего канала на угол:

$$\varphi_3 - \varphi_0 = \pi.$$

При реализации условия переходим к выполнению следующего процесса. В случае его невыполнения, по обратной связи переходим к процессу рассогласования на 180° .

Следующим процессом является рассогласование на 270° осуществляемое по формуле:

$$A_4(t) = A \cdot \left[\sin(\omega \cdot t + \varphi_0) - \sin\left(\omega \cdot t + \varphi_0 + \frac{3 \cdot \pi}{2}\right) \right]$$

По аналогии:

$$\varphi_4 - \varphi_0 = \frac{3 \cdot \pi}{2}.$$

При выполнении всех четырех условий все рассогласованные каналы выводятся на соответствующие амортизаторы.

Проверкой, и, в то же время выходом из алгоритма служит проверка на подключение питания. В случае если питание включено, сигнал по обратной связи переходит к выполнению условия ввода параметров внешнего воздействия. Если питание отключено, то работа системы приостанавливается.

В разработанной алгоритмической реализации следует выделить обратную связь, формируемую блоками вывода сигнала на амортизаторы, влияющего на параметры воздействия на РЭУ, которая позволяет формировать фазовый сдвиг, выделяемая по одному из каналов.

Анализ быстродействия микроконтроллера ATmega128

Рассчитаем частотные ограничения разработанного алгоритма, реализованного на микроконтроллере ATmega128. Для этого проведем теоретические расчеты и экспериментальные

исследования электронного блока ИИС управления активной виброзащитой РЭУ.

При максимальном быстродействии микроконтроллера на одно измерение необходимо времени:

$$t_{\max} = n \cdot t_{\text{раб. max}}, \quad (1)$$

где n – количество измерений на одном периоде вибраций, $t_{\text{раб. max}}$ – максимальное время быстродействия микроконтроллера, затрачиваемое на оцифровку и обработку информации.

Для исследования необходимо и достаточно провести 8 измерений на периоде (рис. 2). Зная диапазон значений рабочего времени быстродействия выбранного микроконтроллера (от 10 мкс до 260 мкс) [4], зададим $t_{\text{раб. max}} = 10$ мкс. Подставив значения n и $t_{\text{раб. max}}$ в формулу (1), получим:

$$t_{\max} = 8 \cdot 10 = 80.$$

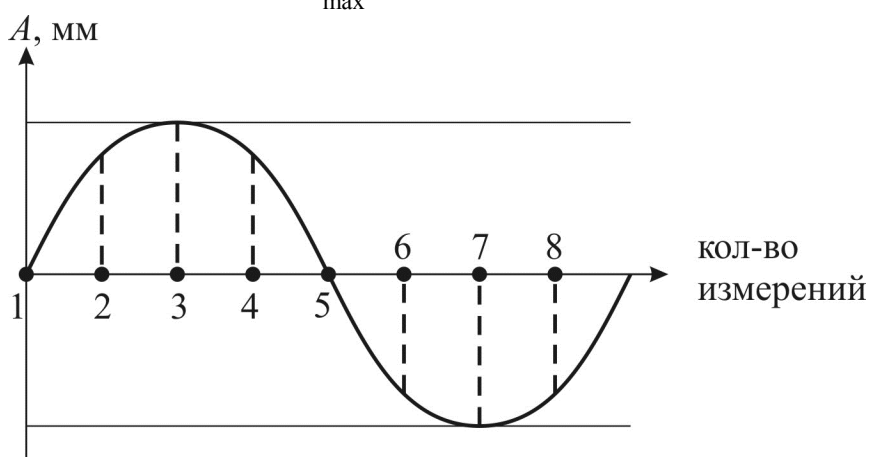


Рис. 2. Количество измерений на одном периоде вибрации

Таким образом, максимальное быстродействие микроконтроллера составляет 80 мкс.

При минимальном быстродействии микроконтроллера на одно измерение необходимо времени:

$$t_{\min} = n \cdot t_{\text{раб. min}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{раб. min}}$ – минимальное время быстродействия микроконтроллера, затрачиваемое на оцифровку и обработку информации.

Из диапазона значений рабочего времени быстродействия выбранного микроконтроллера (от 10 мкс до 260 мкс) [5], зададим

$t_{\text{раб.мин}} = 260$ мкс. Подставив значения n и $t_{\text{раб.мин}}$ в формулу (2), получим:

$$t_{\text{мин}} = 8 \cdot 260 = 2008.$$

Таким образом, минимальное быстродействие микроконтроллера составляет 2,08 мс.

Диапазон измерений широк, поэтому актуальным является вопрос затрачиваемого времени на обработку информации по алгоритму, для чего необходимо провести исследования, входе которых выясним, сколько времени понадобится микроконтроллеру для обработки информации по алгоритму, представленному на рисунке 1.

Забегая вперед, можно сказать, что полученный алгоритм был доведен до программной реализации и после прошивки им реального микроконтроллера, а так же при установке микроконтроллера в опытный образец ИИС, были проведены экспериментальные исследования на нескольких частотах.

Схема проведения экспериментальных исследований разработанного алгоритма

В качестве значений, на которых проводились исследования, были выбраны следующие значения частот, выбранные из ГОСТ 17516.1-90 (Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам): 10 Гц, 100 Гц, 500 Гц, 1000 Гц. Схема исследования показана на следующем рисунке 3.

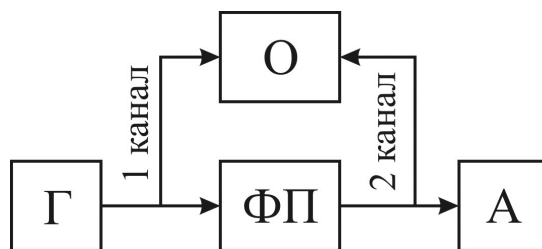


Рис.3. Схема исследования по нахождению частотных ограничений разработанного алгоритма

Генератор (Г) предназначен для генерации синусоидального сигнала с заданными параметрами, который поступит на функциональный преобразователь (ФП), в котором находится исследуемый микроконтроллер ATmega128, в качестве прошивки

использовано программное обеспечение, разработанное по предложенному алгоритму. Нагрузка – активные амортизаторы (А), показания снимались при помощи осциллографа (О).

Экспериментальные исследования быстродействия предложенного алгоритма в связке с микроконтроллером ATmega128

Рассчитаем теоретическое значение времени по формуле [6]:

$$T_f = \frac{1}{f} \varphi, \quad (3)$$

где f – частота внешнего вибровоздействия, φ – угол смещения фазы.

Первое испытание проходило на частоте 10 Гц, поэтому примем $f = 10$ Гц, т.к. смещение фазы должно быть равным 90° (т.е.

смещение фазы произойдет на $1/4$ периода), то $\varphi = \frac{1}{4}$ [7, 8].

Подставив значения f и φ в формулу (3), получим:

$$T_{10} = \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{4} = 0,025 \text{ с} = 25 \text{ мс}. \quad (4)$$

Но в ходе испытания на частоте 10 Гц было выявлено, что реальное время при смещении фазы на 90° составляет $T_{10Э} = 25,025$ мс (рис. 4).

Абсолютная погрешность рассчитывается по формуле:

$$\Delta T_f = T_{fЭ} - T_f. \quad (5)$$

Подставив получившиеся значения $T_{fЭ}$ и T_f на 10 Гц в формулу (5), получим:

$$\Delta T_{10} = 25,025 - 25 = 0,025. \quad (6)$$

Т.е. абсолютная погрешность на частоте 10 Гц составляет 25 мкс.

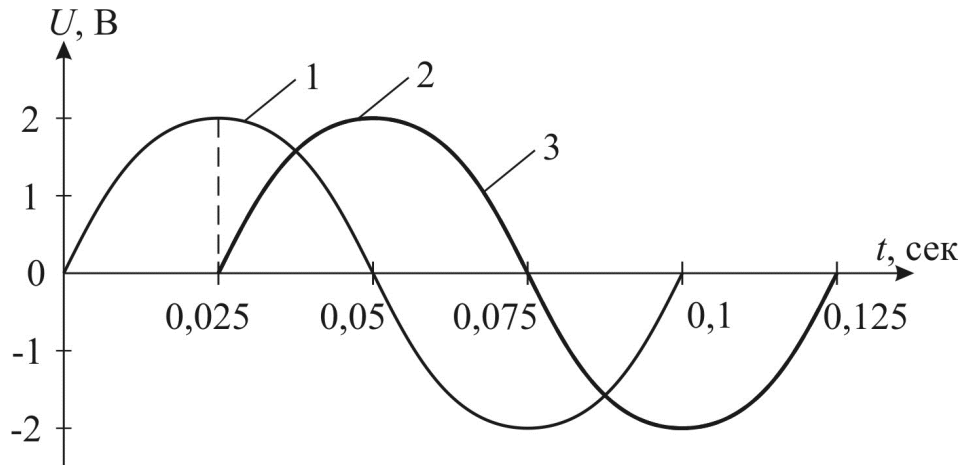


Рис.4. Амплитудно-временные характеристики вибрации при частоте 10 Гц: 1 – генерируемый сигнал; 2 – рассчитанный сигнал, смещенный на 90°; 3 – экспериментальный сигнал, смещенный на 90°

Найдём относительную погрешность по формуле:

$$\delta_f = \frac{\Delta T_f}{T_{f\text{Э}}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Подставив получившиеся значения ΔT_{10} из (2.8) и $T_{10\text{Э}}$ в формулу (7), получим:

$$\delta_{10} = \frac{0,025}{25,025} \cdot 100\% = 0,1\%. \quad (8)$$

Таким образом, относительная погрешность на частоте 10 Гц составила 0,1 %.

Второе испытание проходило на частоте 100 Гц, поэтому примем $f = 100$ Гц, при этом φ остаётся тем же.

Подставив значения f и φ в формулу (3), получим:

$$T_{100} = \frac{1}{100} \cdot \frac{1}{4} = 0,0025 \text{ с} = 2,5 \text{ мс}. \quad (9)$$

Но в ходе испытания при частоте 100 Гц было выявлено, что реальное время при смещении фазы на 90° составляет $T_{100\text{Э}} = 2,525$ мс (рис. 5).

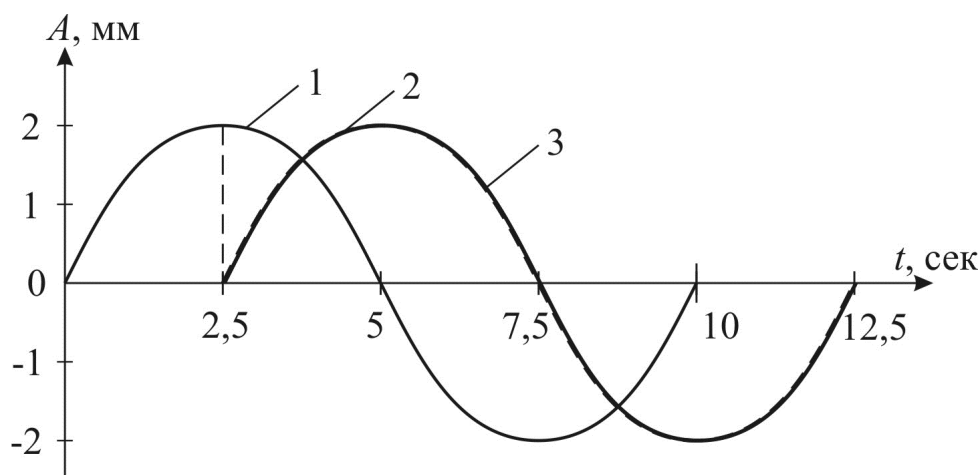


Рис.5. Амплитудно-временные характеристики вибрации при частоте 100 Гц: 1 – генерируемый сигнал; 2 – рассчитанный сигнал, смещенный на 90° ; 3 – экспериментальный сигнал, смещенный на 90°

Для получения абсолютной погрешности на частоте 100 Гц подставим получившиеся значения $T_{100Э}$ и T_{100} в формулу (3), получим:

$$\Delta T_{100} = 2,525 - 2,5 = 0,025. \quad (10)$$

Т.е. абсолютная погрешность на частоте 100 Гц составляет 25 мкс.

Для получения относительной погрешности на частоте 100 Гц подставим получившиеся значения ΔT_{100} из (2.12) и $T_{100Э}$ в формулу (7), получим:

$$\delta_{100} = \frac{0,025}{2,525} \cdot 100\% = 1\%. \quad (11)$$

Таким образом, относительная погрешность на частоте 100 Гц составила 1 %.

Третье испытание проходило на частоте 500 Гц, поэтому примем $f = 500$ Гц.

Подставив значения f и Φ в формулу (3), получим:

$$T_{500} = \frac{1}{500} \cdot \frac{1}{4} = 0,005 \text{ с} = 5 \text{ мс}. \quad (12)$$

Но в ходе испытания на частоте 500 Гц было выявлено, что реальное время при смещении фазы на 90° составляет $T_{500Э} = 5,025$ мс (рис. 6).

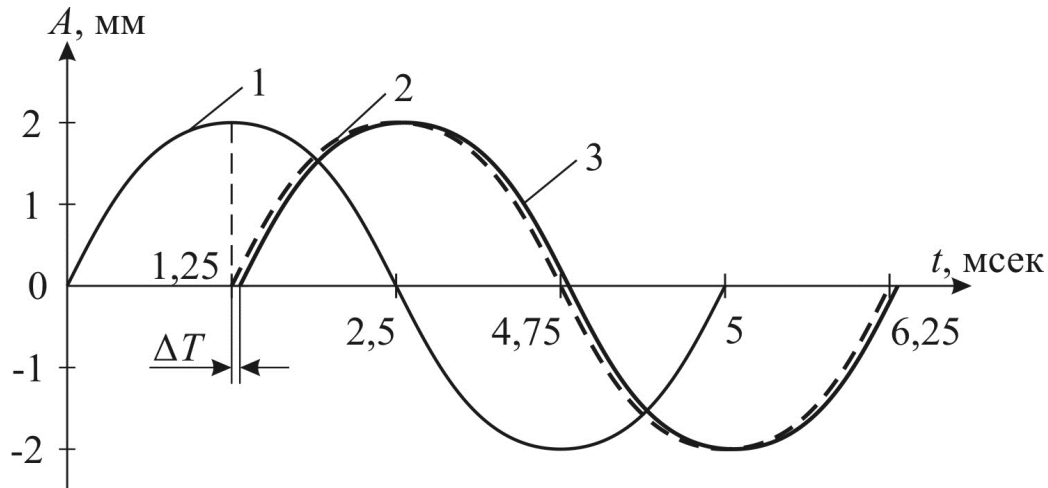


Рис.6. Амплитудно-временные характеристики вибрации при частоте 100 Гц: 1 – генерируемый сигнал; 2 – рассчитанный сигнал, смещенный на 90° ; 3 – экспериментальный сигнал, смещенный на 90°

Для получения абсолютной погрешности на частоте 500 Гц подставим получившиеся значения $T_{500Э}$ и T_{500} в формулу (3), получим:

$$\Delta T_{500} = 5,025 - 5 = 0,025. \quad (13)$$

Т.е. абсолютная погрешность на частоте 500 Гц составляет 25 мкс.

Для получения относительной погрешности на частоте 500 Гц подставим получившиеся значения ΔT_{500} из (13) и $T_{500Э}$ в формулу (7), получим:

$$\delta_{500} = \frac{0,025}{5,025} \cdot 100\% = 4,98\%. \quad (14)$$

Таким образом, относительная погрешность на частоте 500 Гц составила 4,98 %.

Четвертое испытание проходило на частоте 1000 Гц, поэтому примем $f = 1000$ Гц.

Подставив значения f и Φ в формулу (3), получим:

$$T_{1000} = \frac{1}{1000} \cdot \frac{1}{4} = 0,00025 \text{ с} = 0,25 \text{ мс}. \quad (15)$$

Но в ходе испытания на частоте 1000 Гц было выявлено, что реальное время при смещении фазы на 90° составляет $T_{1000Э} = 0,275$ мс (рис. 7).

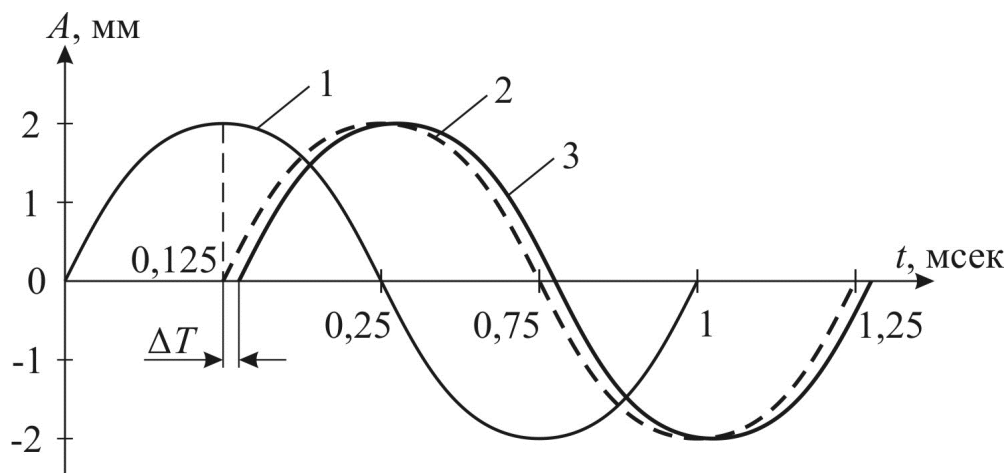


Рис. 7. Амплитудно-временные характеристики вибрации при частоте 100 Гц: 1 – генерируемый сигнал; 2 – рассчитанный сигнал, смещенный на 90° ; 3 – экспериментальный сигнал, смещенный на 90°

Для получения абсолютной погрешности на частоте 500 Гц подставим получившиеся значения $T_{1000Э}$ и T_{1000} в формулу (3), получим:

$$\Delta T_{1000} = 0,275 - 0,25 = 0,025. \quad (16)$$

Т.е. абсолютная погрешность на частоте 1000 Гц составляет 25 мкс.

Для получения относительной погрешности на частоте 1000 Гц подставим получившиеся значения ΔT_{1000} из (16) и $T_{500Э}$ в формулу (7), получим:

$$\delta_{1000} = \frac{0,025}{0,275} \cdot 100\% = 9,09\%. \quad (17)$$

Таким образом, относительная погрешность на частоте 1000 Гц составила 9,09%.

Из результатов формул (16), (13), (10) и (6) видно, что при любых частотах абсолютная погрешность остается неизменной, это говорит о том, что она является аддитивной, т.е. погрешность, при которой ее значение не зависит от величин измеряемых сигналов ($\Delta T_f = const$). Т.к. абсолютная погрешность остается неизменной, относительная погрешность изменяется закономерно, то можно сказать, что обе погрешности – систематические [9 – 14].

Вывод

Таким образом, разработан алгоритм формирования сигналов обратной связи для ИИС управления активной виброзащитой РЭУ, отличающийся преобразованием измерительной информации за счет применения модели фазового рассогласования величины внешнего воздействия РЭУ и позволяющий сформировать сигналы обратной связи для каждого из каналов и реализовать принцип фазового перераспределения.

Критерием ограничения применения данного алгоритма является значение относительной погрешности. Реализация алгоритма на микроконтроллере ATmega128 позволяет использовать его в ИИС управления активной виброзащитой на частотах внешнего воздействия до 1 кГц.

Литература

1. Кособоков, А.С. Лабораторный стенд для проведения испытаний электронных средств и их компонентов на устойчивость к тепловым воздействиям / Кособоков А.С., Затылкин А.В., Юрков Н.К. // В сборнике: Университетское образование XVIII Международная научно-методическая конференция, посвященная 200-летию со дня рождения М. Ю. Лермонтова. под ред. А. Д. Гулякова, Р. М. Печерской. Пенза, 2014. С. 137-139.
2. Юрков, Н. К. Особенности управления сложными системами на основе концептуальных моделей / Н.К. Юрков. // Измерительная техника. 2004, № 4.– С. 14-16.
3. Юрков, Н. К. Технология радиоэлектронных средств: учебник/Н. К. Юрков. -Пенза: Изд-во ПензГУ, 2012. – 640 с.
4. Лысенко, А.В. Особенности разработки типологии устройств амортизации радиоэлектронных средств на основе фасетной структуры / А.В. Лысенко // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 2. С. 151-155.
5. Затылкин, А.В. Прикладная реализация ИКОС с набором подключаемых модулей / Затылкин А.В. // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 35-36.
6. Алгоритм выявления латентных технологических дефектов печатных плат методом оптического контроля / И.И. Кочегаров, И.В. Ханин, А.В. Лысенко, Н.К. Юрков, В.Б. Алмаметов / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2013. № 3 (27). С. 105-114.
7. Затылкин, А.В. Исследование влияния деформационной составляющей внешнего вибрационного воздействия на надёжность радиоэлектронных средств / Затылкин А.В., Голушко Д.А., Рындин Д.А. // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 2. С. 42-43.
8. Информационная технология многофакторного обеспечения надежности сложных электронных систем / Н.К. Юрков, А.В. Затылкин, С.Н. Полесский,

И.А. Иванов, А.В. Лысенко // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 4. С. 75-79.

9. Программа инженерного расчёта температуры перегрева кристалла электрорадиокомпонента и его теплоотвода / Н.В. Горячев, А.В. Лысенко, И.Д. Граб, Н.К. Юрков // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2012. Т. 1. С. 340.

10. Структурное обнаружение и различение вырывов проводящего рисунка печатных плат / Григорьев А.В., Юрков Н.К., Затылкин А.В., Данилова Е.А., Држевецкий А.Л. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2013. № 4 (28). С. 97-108.

11. Кособоков, А.С. Автоматизированная система управления микроклиматом в аквариуме / Кособоков А.С., Затылкин А.В., Юрков Н.К. // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2014. № 17. С. 480-484.

12. Таньков, Г.В. Моделирование тепловых процессов в стержневых конструкциях РЭС / Таньков Г.В., Затылкин А.В. // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2007. Т. 1. С. 257-258.

13. Таньков, Г.В. Волновой метод исследования динамических характеристик упругих конструкций радиоэлектронных средств при нестационарном нагружении / Таньков Г.В., Затылкин А.В., Рындин Д.А. // Вестник Пензенского государственного университета. 2013. № 2. С. 101-107.

14. Садыков, С.С. Идентификация реальных плоских объектов на основе их сигнатуры. / Садыков С.С., Савичева С.В. // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. №1. С. 17-20.

15. Затылкин, А.В. Исследование влияния деформационной составляющей внешнего вибрационного воздействия на надёжность радиоэлектронных средств / Затылкин А.В., Голушко Д.А., Рындин Д.А. // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2013. Т. 2. С. 42-43.

ЛЫСЕНКО АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ,

ТЕЛ. 8-927-374-40-41,

E-MAIL: LYSENKO7891@RAMBLER.RU;

ГРИШКО АЛЕКСЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ,

ТЕЛ. (8-8412) 368-212;

E-MAIL: KIPRA@PNZGU.RU;

НАУМОВА ИРИНА ЮРЬЕВНА,

ТЕЛ. (8-8412) 368-212;

E-MAIL: KIPRA@PNZGU.RU.