

УДК 543.271; 533.5.08

СИСТЕМА АКТИВНОЙ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ДЕМПФЕРОВ ДЛЯ НАНОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Александр Сергеевич Селиваненко

Студент 4 курса,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.П. Михайлов,
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в
машиностроении»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Производство микроэлектронной продукции связано с множеством проблем, одной из которых является воздействие вибраций на технологическое оборудование. При изготовлении микроэлектронных компонентов, размеры которых не превышают нескольких микрон, малейшие вибрации приводят к браку, поэтому необходима виброзащита платформ, на которых установлено оборудование [1, 2].

Колебания высокой частоты успешно изолируются при помощи систем пассивной виброзащиты. Гораздо более опасными являются колебания с низкими частотами, для устранения которых и используются системы активной виброизоляции.

На кафедре «Электронные технологии в машиностроении» была разработана конструкция экспериментального стенда (рис. 1) с целью проведения испытаний демпфера для активной виброзащиты.

Демпфер (рис. 1) содержит неподвижную опору 6, сердечник из магнитного материала 5, электромагнитную катушку 4, корпус 3, мембрану из магнитоэластического (МЭ) эластомера 2 с жестким центром 1, которая образует с сердечником 5 воздушный зазор.

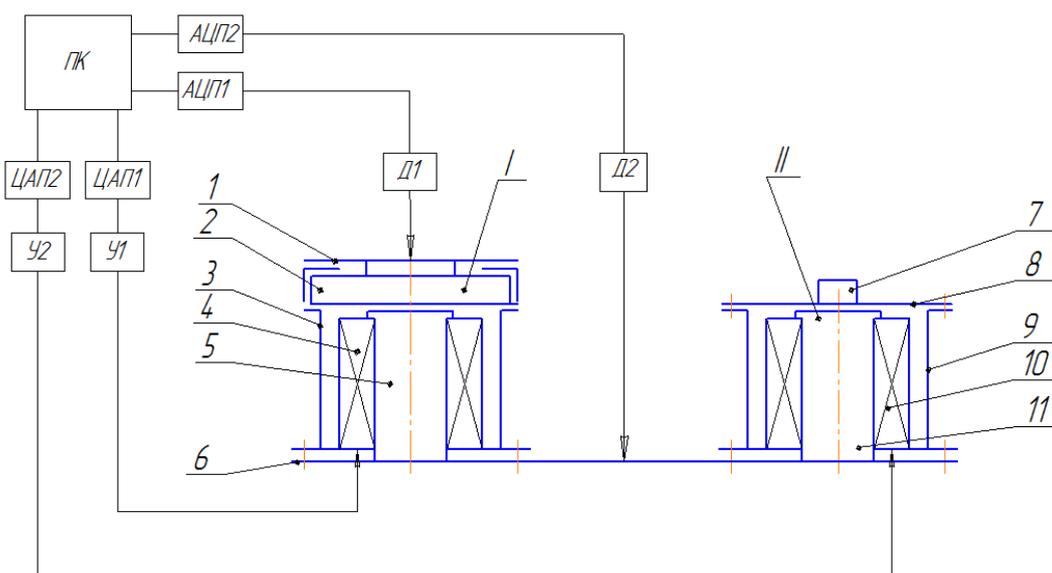


Рис. 1. Схема платформы для исследования активного МЭ-демпфера

Устройство работает следующим образом: при подаче управляющего тока в электромагнитную катушку 4 в магнитопроводе возникает замкнутое магнитное поле. В мембране 2 формируется радиальное магнитное поле с индукцией, величина которой имеет максимум вблизи сердечника 1. Под действием этой магнитной индукции мембрана с жестким центром перемещается в осевом направлении в пределах воздушного зазора.

Экспериментальная платформа (рис. 1) содержит демпфер I на основе МР – эластомера и датчик вибраций II. Датчик вибраций – специальное устройство, позволяющее задавать гармонические колебания платформы с заданной частотой и амплитудой.

Принцип работы датчика аналогичен работе демпфера: при подаче управляющего переменного тока в электромагнитную катушку 10 в магнитопроводе возникает замкнутое магнитное поле. В грузе 7 формируется радиальное магнитное поле с индукцией, величина которой имеет максимум вблизи сердечника 11. Под действием этой магнитной индукции груз перемещается в осевом направлении в пределах воздушного зазора.

Модель поведения МР–эластомера при сдвиговой деформации представлена на рис.2. На эластомер действует внешнее магнитное поле с индукцией B (рис. 2). Мембрана активного демпфера изготовлена из МР – эластомера. Под действием внешней силы F нижняя стенка зазора смещается относительно верхней на величину X , при этом сдвиг равен $\gamma = \frac{X}{h}$

Сила магнитного сцепления F_N между соседними слоями частиц дисперсной фазы определяется по формуле Максвелла как $F_N = 9.81 \cdot 10^{12} \cdot \left(\frac{B}{5000}\right)^2 \cdot S_{cl} \cdot \varphi_v$, или как $F_N = K \cdot B^2 \cdot S_{cl} \cdot \varphi_v$, где φ_v – коэффициент объемной концентрации частиц; S_{cl} - площадь сечения рабочего зазора, перпендикулярная магнитному потоку.

При сдвиге слоев МР–эластомера возникает касательная сила сопротивления $F_{\tau 1}$, обусловленная магнитным сцеплением между соседними слоями и равная $F_{\tau 1} = F_N \cdot \tan \alpha = K \cdot B^2 \cdot S_{cl} \cdot \varphi_v \cdot \frac{X}{h}$. Кроме того, возникает упругая касательная сила $F_{\tau 2} = GS_{cl} \frac{X}{h}$, где G – модуль сдвига эластомера.

Коэффициент жесткости упругой мембраны МРЭ равен:

$$k = \frac{S_{cl}}{h} \cdot (K \cdot B^2 \cdot \varphi_v + G) = \frac{S_{cl}}{h} \cdot (9,81 \cdot 10^{12} \cdot \left(\frac{B}{5000}\right)^2 \cdot \varphi_v + G).$$

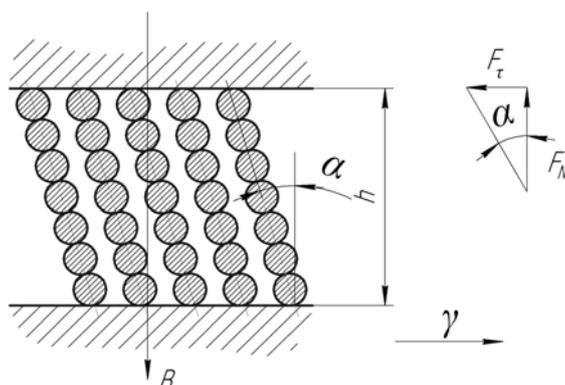


Рис. 2. Схема сдвиговой деформации мембраны из МРЭ

Использование МР-эффекта позволяет регулировать коэффициент жесткости k упругой мембраны за счет изменения величины магнитной индукции B , и, соответственно, частотные и точностные характеристики устройств активного демпфирования и микропозиционирования.

На экспериментальной платформе были проведены исследования зависимости коэффициента передачи амплитуды колебаний от силы тока для фиксированной частоты задатчика вибраций 100 Гц (рис. 3).



Рис. 3. График зависимости коэффициента передачи амплитуды колебаний демпфера на основе МР – эластомера

Методика проведения эксперимента

Собранная экспериментальная платформа (рис. 1) оснащена двумя датчиками перемещений, сигналы с которых по мере проведения эксперимента преобразуются с помощью АЦП и записываются в отдельный файл на ПК. Кроме того, с помощью программы LabView возможно управление задатчиком вибраций и МР-демпфером.

Проведение эксперимента:

- установить датчики перемещений согласно схеме на рис. 1;
- включить задатчик колебаний;
- с помощью ПО зафиксировать показания датчиков Д1 и Д2.

Данные, полученные при проведении эксперимента, показаны на рис. 4.

Экспериментальные данные (рис. 4) были получены в пассивном режиме работы МР-демпфера при нулевом управляющем токе на электромагнитной катушке демпфера.

Таким образом, исходя из полученных результатов, можно судить об изменении коэффициента передачи амплитуды вибраций, который при нулевом управляющем токе равен 0,88, т.е. наблюдается незначительное гашение колебаний.

При токе $I = 1$ А (рис. 3) наблюдался минимум коэффициента передачи амплитуды колебаний, который составлял 0,25.

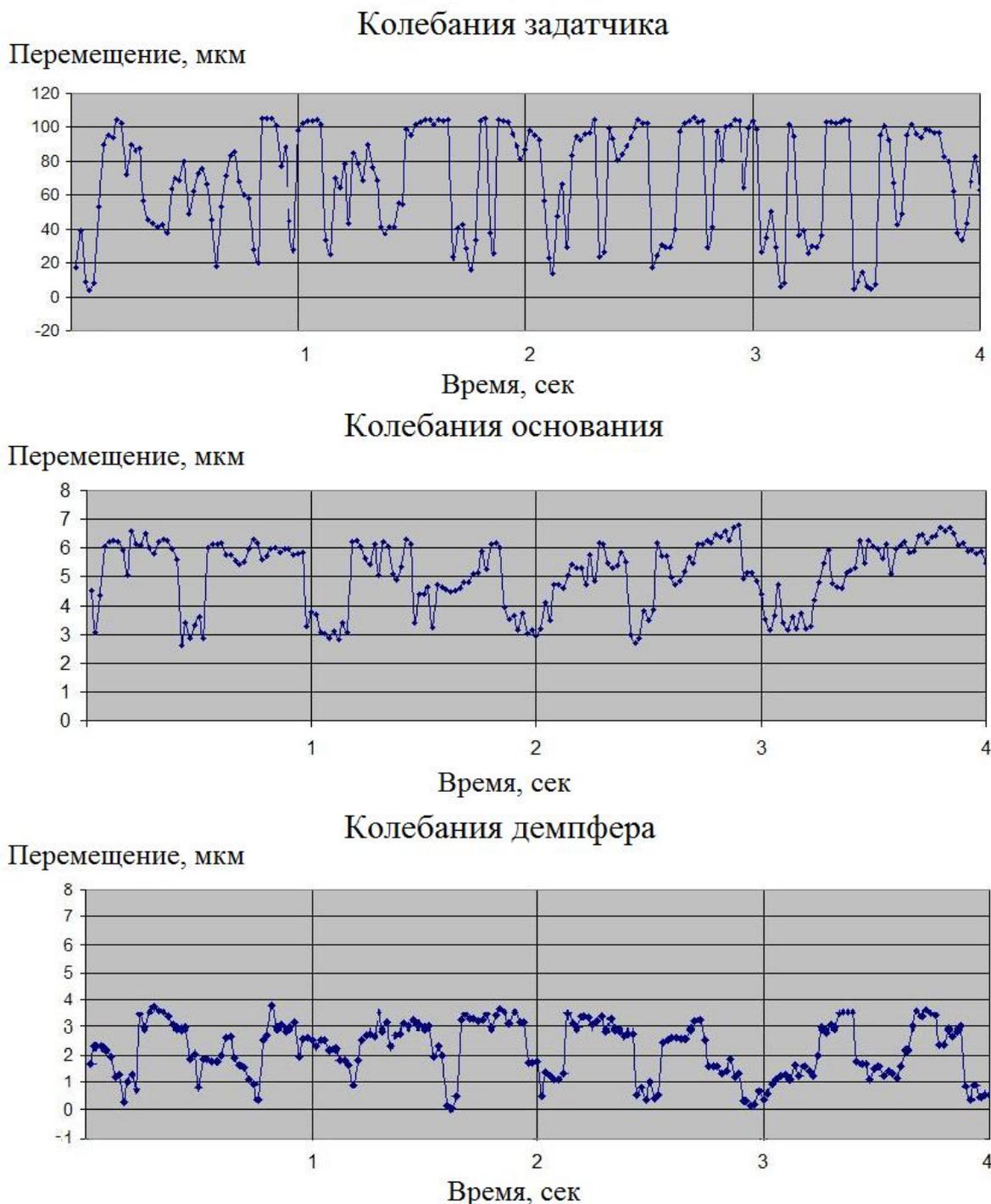


Рис. 4. Экспериментальные данные, полученные при пассивном режиме работы МР-эластомера

Кроме того, было проведено исследование зависимости перемещений мембраны демпфера под воздействием магнитного поля от силы тока, подаваемого на электромагнитную катушку (рис. 5).

В ходе эксперимента были исследована зона нечувствительности и остаточная деформация МР-демпфера. Эксперимент проводился при токах $I = 0..2$ А.

Перемещение, мкм

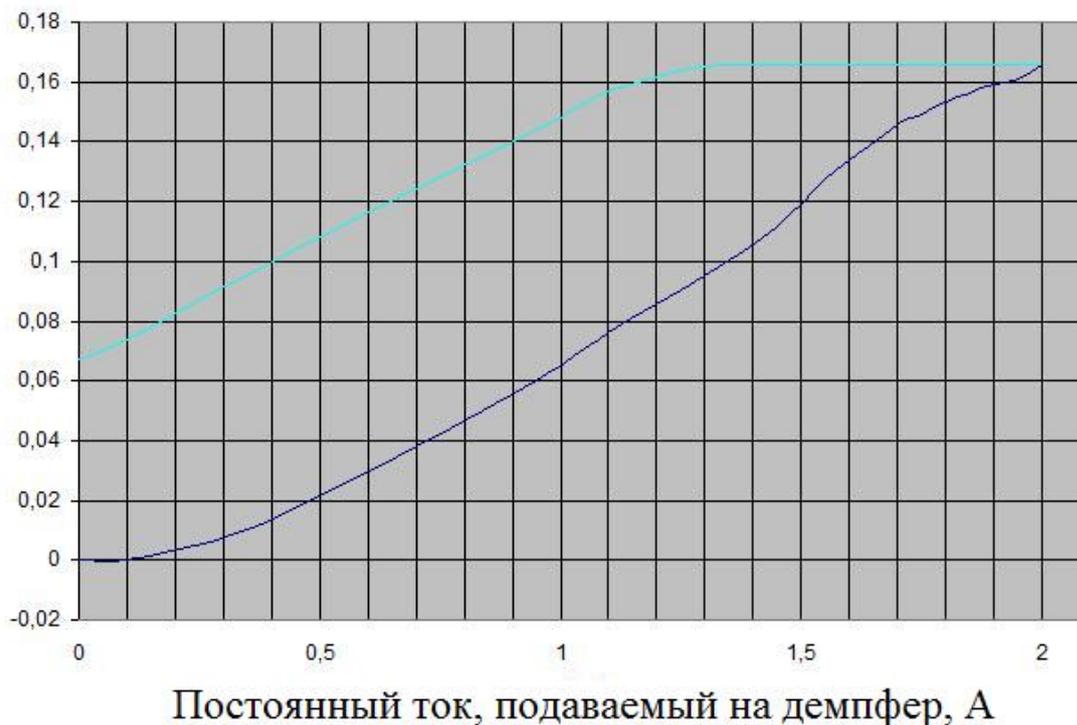


Рис. 5. Гистерезис МР-демпфера

Методика проведения эксперимента

В эксперименте использовался демпфер (рис. 1, I), блок питания, датчик перемещений.

Проведение эксперимента:

- установить датчик перемещений;
- подключить демпфер к блоку питания, предварительно выставив значения силы тока и напряжения равными нулю;
- фиксируя показания датчиков, повышать значение силы тока от 0 до 2 А с шагом в 0,05 А;
- при достижении 2 А уменьшать силу тока с шагом в 0,05 А до нуля.

Таким образом, эксперимент выявил наличие двух зон нечувствительности:

- при повышении силы тока от 0 до 0,1 А не наблюдается изменений в поведении эластомера;
- при достижении силы тока в 2 А и последующем его уменьшении до значения 1,3 А также не наблюдается деформации эластомера.

Полученные данные можно объяснить следующим образом.

В первом случае, силы тока величиной до 0,1 А недостаточно для преодоления сил статического трения между магнитомягкими частицами, распределенными в МР-эластомере, из которого сделана мембрана.

Во втором случае – при уменьшении силы тока от 2 до 1,3 А эластомер практически не изменяет своего положения также вследствие наличия статического трения между магнитомягкими частицами. Кроме того, оказывает некоторое влияние остаточная намагниченность магнитопровода и магнитных частиц МР-эластомера.

При уменьшении силы тока до нулевого значения в мембране наблюдается остаточная деформация около 70 мкм. Эта деформация объясняется, в основном,

наличием в МР-эластомере вязкого трения, которое появляется при смещении макромолекул эластомера относительно друг друга.

Эти два параметра – зона нечувствительности и остаточная деформация – оказывают существенное влияние на точностные и динамические характеристики демпфера, а также на эффективность поглощения энергии колебаний МР-эластомером.

Выводы

1. В полуактивном режиме работы демпфера на основе МР-эластомера при подаче тока 0,3 А наблюдается резонанс системы. При этом коэффициент передачи вибраций имеет максимальное значение около 1,5, т.е. амплитуда колебаний возрастает.

2. При токе 1 А коэффициент передачи вибраций минимален (около 0,25), т.е. наблюдается эффективное гашение колебаний.

3. При дальнейшем возрастании тока (более 1 А) происходит увеличение коэффициента передачи вибраций вследствие повышения жесткости мембраны.

4. При токах от 0 до 0,1 А и от 2 до 1,3 А наблюдается зона нечувствительности, обусловленная наличием статического трения между магнитомягкими частицами, распределенными в МР-эластомере, из которого сделана мембрана. Кроме того, оказывает влияние остаточная намагниченность магнитопровода и магнитных частиц МР-эластомера.

5. МР-демпфер имеет остаточную деформацию около 70 мкм, которая объясняется, в основном, наличием в МР-эластомере вязкого трения, которое появляется при смещении макромолекул эластомера относительно друг друга.

Литература

1. Управление активной виброизоляцией и позиционированием магнитореологических устройств / В.П. Михайлов, Г.В. Степанов, А.М. Базиненков, И.К. Зобов, К.Г. Шаков. Нано- и микросистемная техника. - 2011, №7, - С. 5 – 9.

2. Mechanics and Physics of Precise Vacuum Mechanisms: FMIA Volume 91/ E.A. Deulin, V.P. Mikhailov, Y.V. Panfilov, R.A. Nevshupa / Series Editor R. Moreau, Springer, 2010. – 234 p.