

Н.В.Герасимов, В.В.Ватилев

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СВЯЗЕЙ НА ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОСТЕЙШЕГО МЕХАНИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА

Современные требования к амортизационным устройствам (фильтрам) становятся все более жесткими. Широко исследованы виброзащитные системы ведутся в нашей стране и за рубежом. Улучшение виброизолирующих свойств амортизации достигается за счет введения в ее структуру дополнительных связей, реализуемых с помощью пассивных и активных элементов, систем управления, алгоритмов управления [1 + 4]. Однако равноценному влиянию качества виброизоляции, обусловленному введением таких связей, уделяется недостаточное внимание.

В настоящей работе проводится анализ влияния дополнительных связей (без учета их конструктивных особенностей) на характеристики простейшего механического фильтра (рис. 1), описываемого дифференциальным уравнением

$$m\ddot{x} + c\dot{x} = c\dot{q} \quad (1)$$

Здесь x - абсолютная координата изолируемого объекта, m - масса объекта, c - жесткость упругого элемента, q - кинематическое возмущение.

Структурная схема такого звена приведена на рис. 2 ($\frac{1}{p}$ - оператор интегрирования). Ей соответствует передаточная функция

$$W_{xq}(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 1} \quad (2)$$

где $T^2 = \frac{m}{c}$; \mathcal{L} - оператор Лапласа.

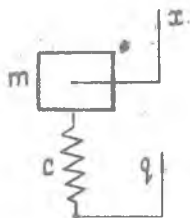


Рис. 1.

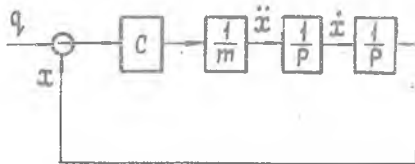


Рис. 2.

Такой фильтр хорошо изолирует от высокочастотных воздействий, но в резонансной области значительно усиливает колебания.

Рассмотрим фильтр с дополнительной связью по выходной координате x (рис. 3а). Его передаточная функция будет иметь вид

$$W_{xq}(z) = \frac{1 + \mu}{T^2 z^2 + 1} \quad (3)$$

Здесь $\mu = c_1/c$, $T_1^2 = \frac{T^2}{1 + \mu}$.

В отличие от жесткости c обратная связь по x влияет не только на собственную частоту системы $\Omega_1 = \frac{1}{T_1}$, но и на коэффициент передачи $K_0 = \frac{1}{1 + \mu}$ фильтра. Отрицательная обратная связь по x смещает собственную частоту в высокочастотную область и уменьшает K_0 . При положительной обратной связи K_0 увеличивается, а собственная частота смещается в область низких частот. Положительная обратная связь приводит к неустойчивости системы, если $c_1 > c$. Амплитудно-частотные характеристики по ускорению находятся из выражений

$$L_{\ddot{x}} = 20 \lg \tau^2 \frac{1}{|1 - \tau^2|} \quad (4)$$

и приведены на рис. 3б. Сплошными линиями обозначены характеристики, соответствующие отрицательной, штрих-пунктирными линиями - положительной обратной связи. Штриховой линией здесь и далее обозначена характеристика исходного фильтра (I).

Введем в исходный фильтр обратную связь по скорости объекта (рис. 4а). Передаточная функция такого фильтра запишется в

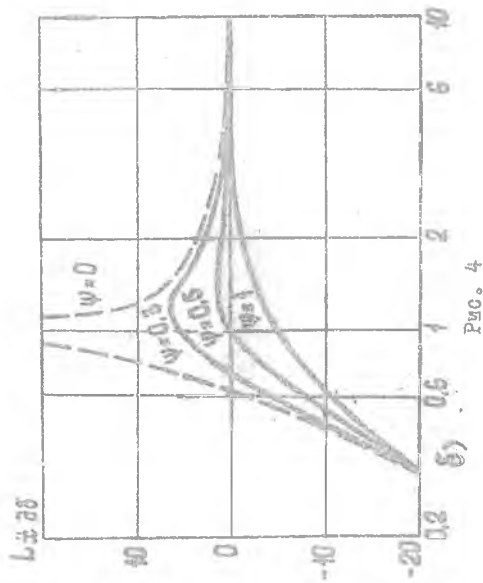
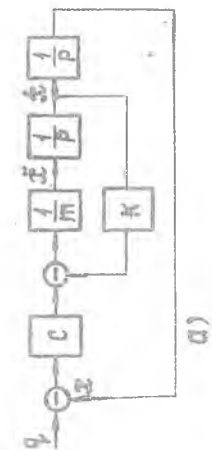


Рис. 4

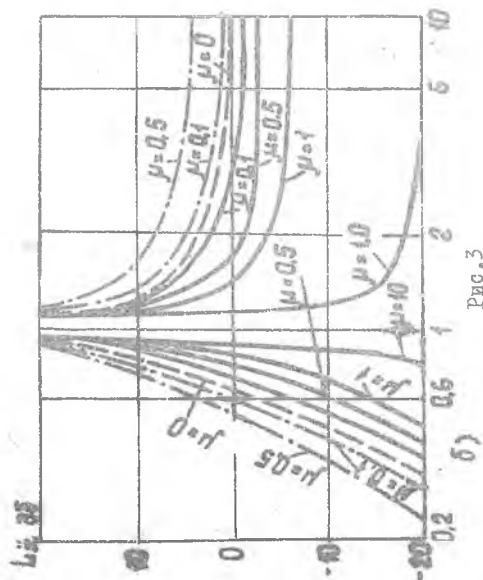
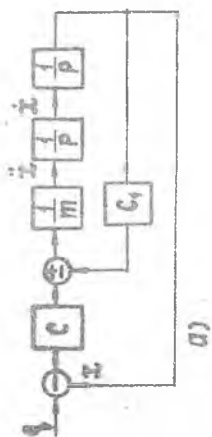


Рис. 3

виде

$$W_{xq}(s) = \frac{1}{T^2 s^2 + 2\psi T s + 1}, \quad \psi = \frac{K}{2\sqrt{mc}} \quad (5)$$

Его характеристики

$$L_{\ddot{x}} = 20 \lg \frac{\nu^2}{\sqrt{(1-\nu^2)^2 + 4\psi^2 \nu^2}}, \quad (6)$$

приведенные на рис. 4б, существенно отличаются от характеристик исходного фильтра только в резонансной области. С увеличением коэффициента обратной связи K относительная амплитуда колебаний уменьшается и при значительных K становится меньше единицы. Положительная обратная связь по скорости реализует передаточную функцию неустойчивого звена.

Структурная схема фильтра с обратной связью по ускорению (рис. 5) имеет передаточную функцию

$$W_{xq}(s) = \frac{1}{T_2^2 s^2 + 1}, \quad T_2^2 = T^2 \left(1 \mp \frac{m_1}{m}\right). \quad (7)$$

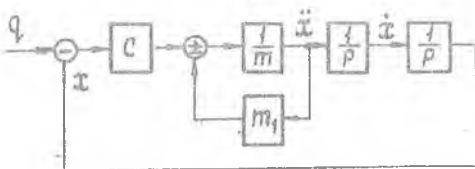


Рис. 5.

Сравнивая (7) и (2), видим, что собственная частота системы $\Omega_2 = \frac{1}{T\sqrt{1 \mp m_1/m}}$ при отрицательной обратной связи уменьшается и при положительной увеличивается относительно исходной системы. Так как коэффициент передачи остается без изменения ($K_0 = 1$), то вид амплитудно-частотной характеристики в относительных координатах не меняется. Положительная обратная связь приводит к неустойчивости системы, когда $m_1 > m$.

Если ввести отрицательную обратную связь по скорости изменения ускорения, т.е. по \ddot{x} , то получим передаточную функцию вида

$$W_{xq}(s) = \frac{1}{bT^3 s^3 + T^2 s^2 + 1}, \quad (8)$$

где $b = \frac{nc^2}{m^3}$, n - коэффициент передачи в цепи обратной связи.

Такая структура неустойчива. Однако комбинация отрицательных обратных связей по \ddot{x} и по \dot{x} (рис.6) позволяет при определенном их соотношении ($2\psi > b$) получить устойчивую структуру, описываемую передаточной функцией

$$W_{xq}(s) = \frac{1}{bT^3 s^3 + T^2 s^2 + 2\psi T s + 1}. \quad (9)$$

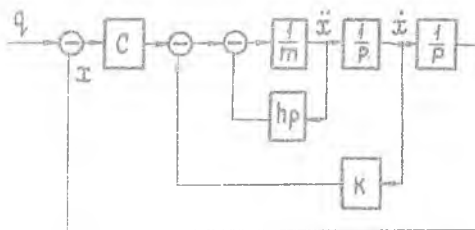


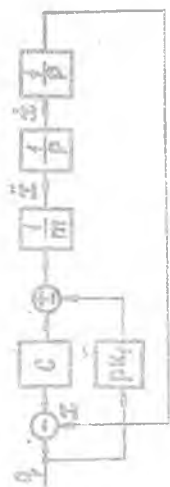
Рис. 6.

Обратная связь по \ddot{x} обеспечивает завал амплитудно-частотных характеристик на высоких частотах.

Кроме обратных связей в механический фильтр могут быть введены дополнительные связи по входному воздействию (возмущению) и по его производным. Пусть в исходную систему введена дополнительная связь по q , как показано на рис. 7а. В этом случае передаточная функция имеет вид

$$W_{xq}(s) = \frac{1 \pm \eta}{T^2 s^2 + 1}, \quad \eta = \frac{c_2}{c}. \quad (10)$$

Из (10) видно, что связь по возмущению не влияет на собственную частоту системы. Амплитудно-частотная характеристика



а)

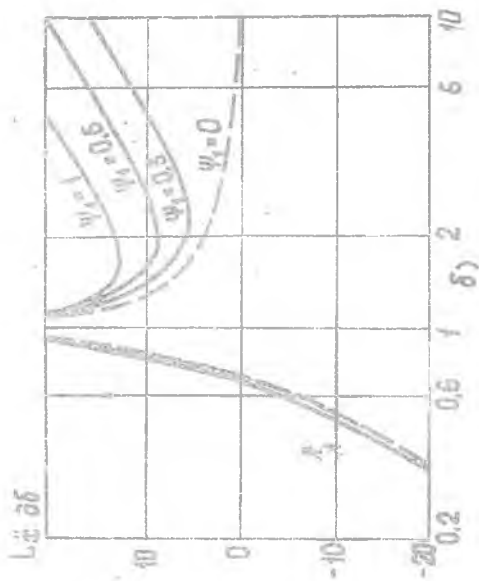
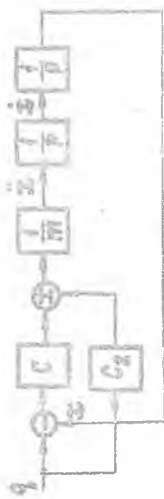


Рис. 8.



а)

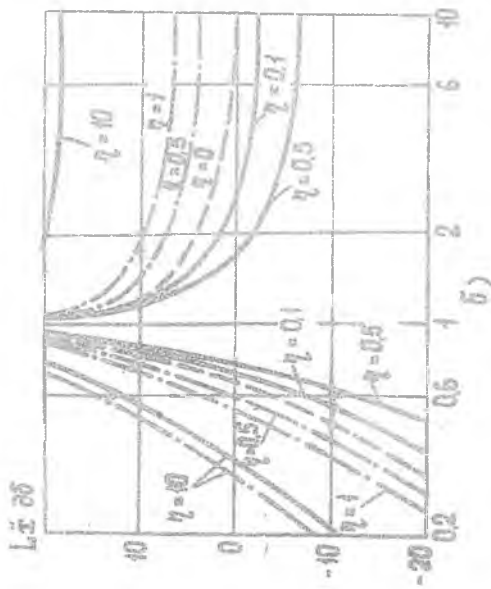


Рис. 7.

$$L_{\ddot{x}} = 20 \lg \gamma^2 \frac{1+\gamma}{|1-\gamma^2|} \quad (11)$$

Приведена на рис. 7б. Штрих-пунктирными линиями обозначены характеристики, соответствующие положительной, сплошными - отрицательной обратной связи. Коэффициент передачи $K_0 = 1 + \frac{C_2}{C}$ при положительной связи возрастает, а при отрицательной связи уменьшается для $C_2 < C$ и увеличивается для $C_2 > C$. При $C_2 = C$ происходит полная компенсация возмущения. Отметим, что система во всех случаях остается устойчивой.

Фурьеобраз с дополнительной связью по скорости возмущения (рис. 8а) описывается передаточной функцией,

$$W_{xq}(s) = \frac{1 \pm 2\psi_1 T s}{T^2 s^2 + 1}, \quad \psi_1 = \frac{K_1}{2\sqrt{cm}} \quad (12)$$

Независимо от знака связи амплитудно-частотная характеристика находится из выражения

$$L_{\ddot{x}} = 20 \lg \gamma^2 \frac{\sqrt{1 + 4\psi_1^2 \gamma^2}}{|1 - \gamma^2|} \quad (13)$$

и приведена на рис. 8б.

Подобная связь не меняет собственной частоты системы, зато и величина ее не влияют на устойчивость. На высоких частотах она приводит к усилению колебаний. Особенно это сказывается на амплитуде усилений в резонансной области.

Дополнительные связи по более высоким производным от возмущения приводят к еще большему ухудшению виброизолирующих характеристик фильтра, поэтому их следует избегать.

Приведенный анализ позволяет не только сравнивать виброизолирующие свойства фильтров с дополнительными связями и выявить лучшие связи, но и описать более сложные механические фильтры с их передаточными характеристиками.

Л и т е р а т у р а

1. Гельман М.Д., Еловов В.Г., Ибловский В.В. В сб. "Акустическая динамика машин и конструкций", "Наука", 1973.
2. Корсаков С.С. Прикладная механика, № 3, и № 4, 1968.
3. Мерсолов Б.И., Рейхман Р.И. В сб. "Вибрационная техника". Московский дом Научно-технической пропаганды, 1967.

4. Елисеев С.В. В сб. " Электроизоляционная и кабельная техника. Надежность систем автоматического управления". Иркутский политехнический институт, 1972.