

Н.В.Герасимов, Ю.В.Шатилов

## К СИНТЕЗУ ВИБРОЗАЩИТНЫХ СИСТЕМ

В последние годы в связи с увеличением быстроходности современных машин повысился уровень и расширился спектральный состав вибраций. В свою очередь это накладывает все более жесткие требования на системы виброизоляции.

Виброизоляционные системы подвижных объектов должны передавать (пропускать) низкочастотные и статические воздействия и эффективно гасить высокочастотные составляющие вибраций. Поэтому за критерий качества виброзащиты, к которому следует стремиться при синтезе виброзащитных систем, предлагается принять амплитудно-частотную характеристику идеального фильтра низких частот, изображенную штрихпунктирной линией на рис. 3.

Реализация характеристики идеального фильтра за частотой среза представляет сложную задачу. Чем лучше реализованная структура аппроксимирует идеальную характеристику за частотой среза  $\gamma > 1$  ( $\gamma = \omega_q / \omega_0$  - относительная частота возмущения,  $\omega_0$  - частота среза,  $\omega_q$  - частота гармонического возмущения), тем интенсивнее она гасит (изолирует) высокочастотные воздействия.

\* Рассмотрим модель простейшего механического фильтра (рис.1), где  $X$  - абсолютная координата изолируемого объекта,  $m$  - его масса,  $C$  - жесткость упругого элемента,  $q$  - кинематическое возмущение. Попытаемся улучшить характеристики этого фильтра, используя обратные связи, рассмотренные в работе [1]. Структурная схема скорректированного фильтра приведена на рис. 2.

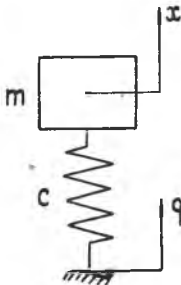


Рис. 1

Обратные связи по  $\ddot{x}$ ,  $\dot{x}$ ,  $x$  введены соответственно с коэффициентами усиления  $n$ ,  $m_1$  и  $\mu$ , а дополнительная обратная связь по  $x$  введена с помощью звена, имеющего передаточную функцию

$$W(s) = \frac{\delta}{T, s + 1} \quad (1)$$

Это вызвано необходимостью оставить коэффициент передачи фильтра на низких частотах  $\omega < 1$  равным единице.

С учетом всех связей передаточная функция по перемещению скорректированной системы записывается в виде

$$W_{qx}(s) = \frac{b_1 s + b_0}{a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (2)$$

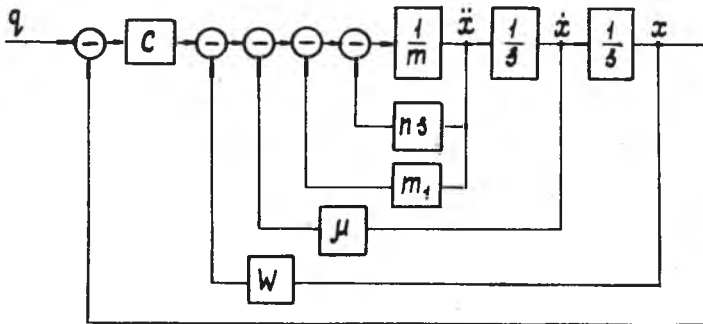


Рис. 2

где  $a_0 = b_0 = 1$ ,  $b_1 = \delta T$ ,  $T^2 = m/c$ ,  $\delta = T_1/T$ ,

$a_1 = (\delta + \delta n + g)T$ ,  $n = 1/cT_1$ ,  $g = \mu/cT$ ,  $a_2 = (e + g\delta + 1)T^2$ ,

$e = m_1/m$ ,  $a_3 = (\lambda + \delta + e\delta)T^3$ ,  $a_4 = \delta \lambda T^4$ ,  $\lambda = \frac{n}{mT}$ .

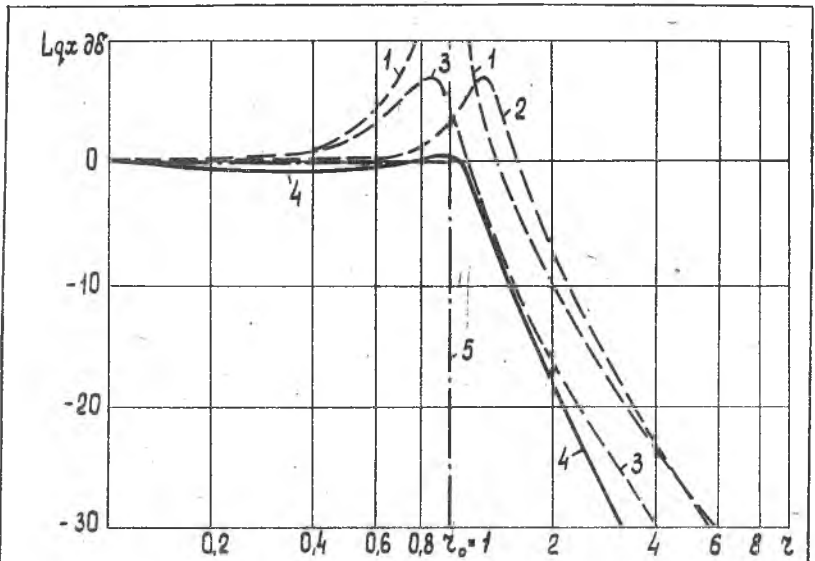


Рис. 3

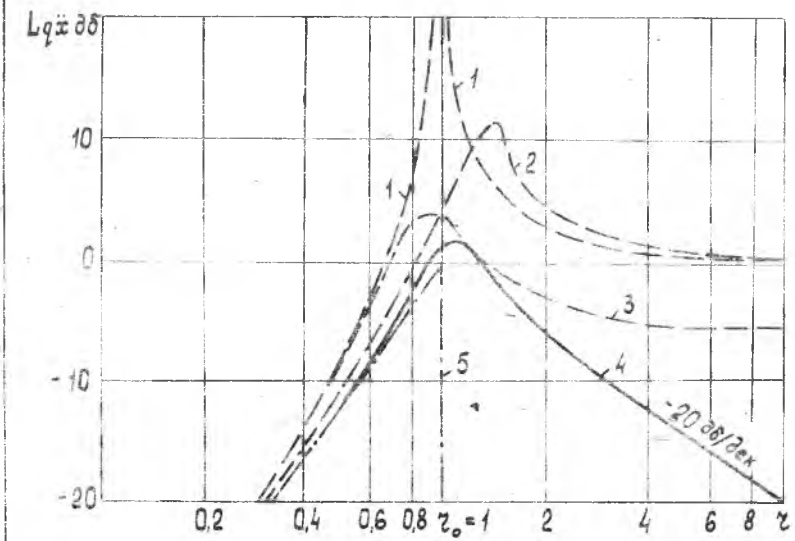


Рис. 4

На рис. 3 и 4 приведены в логарифмическом масштабе амплитудно-частотные характеристики синтезированного фильтра по перемещению  $L_{qx}$  и по ускорению  $L_{q\ddot{x}}$  соответственно. Индексом 1 обозначена характеристика исходного фильтра (рис. 1). Характеристики фильтра, скорректированного звеном (1) и обратной связью по  $\dot{x}$ , при  $\beta = 1$ ,  $H = 1$  помечены индексом 2. Кривая 3 соответствует введению дополнительной обратной связи по ускорению при  $m_1 = 1$ . Добавление обратной связи по  $\ddot{x}$  позволило вернуть собственную частоту фильтра до первоначальной и существенно снизить перегрузки в зарезонансной области.

Связь с третьей производной  $\ddot{\ddot{x}}$  обеспечила завал - 20 дБ/дек амплитудно-частотных характеристик  $L_{q\ddot{\ddot{x}}}$  на частотах  $\omega > 1$ . Введению этой связи соответствует кривая 4, полученная при  $\beta = 1$ ;  $H = 1$ ;  $q = 1,3$ ;  $M = 1$ ;  $e = 1$ . Она хорошо совпадает с характеристиками 5 идеального фильтра до частоты среза и приближается к ней на высоких частотах.

Синтезированная виброзащитная система устойчива (согласно критерию Гурвица), не усиливает колебаний в резонансной области, пропускает низкочастотные воздействия и хорошо изолирует от высокочастотных.

Использование обратных связей по производным более высокого порядка позволило бы увеличить степень гашения высокочастотных воздействий, однако их реализация является сложной технической задачей.

Поскольку виброзащитная система (2) линейна, то для нее справедливо соотношение [ 2 ]

$$\Phi_{\ddot{x}}(\omega) = |W_{q\ddot{x}}(\omega)|^2 \Phi_q(\omega), \quad (3)$$

где  $\Phi_q$  - спектральная плотность стационарного возмущения  $q(t)$ ,  $\Phi_{\ddot{x}}$  - спектральная плотность ускорения объекта  $\ddot{x}(t)$ ,  $W_{q\ddot{x}}(\omega)$  - частотная характеристика по ускорению объекта.

Таким образом, активная физически реализуемая виброзащитная система (2) позволяет эффективно защитить подвижные объекты от гармонических, полигармонических и случайных возмущений.

Л и т е р а т у р а

1. Герасимов Н.В., Шатилов Ю.В. Анализ влияния связей на вибро-  
изолирующие характеристики простейшего механического фильтра.  
"Вопросы прочности элементов авиационных конструкций". Меж-  
вузовский сборник, вып. I., КуАИ, 1974.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статической радиотехники.  
"Советское радио", 1969.