

А. К. ГАРЯЕВ, В. И. ИВАНЧЕНКО, М. А. ПЕТРОВИЧЕВ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ
УСТАНОВКИ ДЛЯ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

За последние годы проблема надежности транспортных средств приобрела большое значение. Нагрузки, действующие на транспортные средства, являются низкочастотными ($0 \div 20$ гц) и носят случайный характер. При их воздействии возникают усталостные явления, которые могут послужить причиной нарушения нормальной эксплуатации. Разработка методов защиты от вибраций и ударов тесно связана с расширением и усовершенствованием экспериментальной базы. Поэтому рядом исследователей [1, 2, 3, 4] были сделаны попытки замены случайного процесса гармоническим или программным нагружением с постоянной или переменной частотой. Такие испытания очень удобно проводить на электродинамических вибраторах (ЭДВ). В связи с этим знание динамических свойств подобных установок представляет определенный интерес.

Рассмотрим характеристики электродинамического вибратора. В рабочем диапазоне частот передаточную функцию ЭДВ для перемещений W_u^s можно записать в следующем виде:

$$W_u^s = \frac{A}{c} \cdot \frac{1}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1},$$

где A — постоянная, зависящая от конструкции ЭДВ;
 c — жесткость подвижной системы;

$T = \sqrt{\frac{m}{c}}$ — механическая постоянная времени ЭДВ;

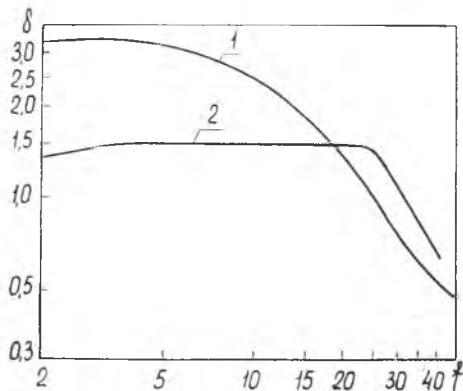
$\xi = \frac{D_m}{2 \sqrt{\frac{m}{c}}}$ — коэффициент демпфирования;

m — масса подвижной системы;

D_m — механическое демпфирование подвижной системы (коэффициент вязкого трения).

Жесткость подвижной системы включает в себя жесткость подвески стола ЭДВ и жесткость испытываемых образцов (последняя в течение эксперимента уменьшается до нуля при разрушении образцов).

На фиг. 1 даны частотные характеристики системы транзисторный усилитель мощности — электродинамический вибратор для граничных условий эксперимента (2—ЭДВ с нагрузкой и 1—без нагрузки). Так как частотная характеристика усилителя на частотах, больших 3 гц, линейна, то представленные характеристики можно рассматривать как частотные характеристики ЭДВ. Из этих характеристик видно, что разрушение образцов приводит к увеличению постоянной времени, коэффициента демпфирования и коэффициента усиления $\frac{A}{c}$ вибратора. Поэтому изменение амплитуды стола ЭДВ зависит от частоты и нагрузки. Встает вопрос о стабилизации параметров установки с помощью обратных связей.



Фиг. 1.

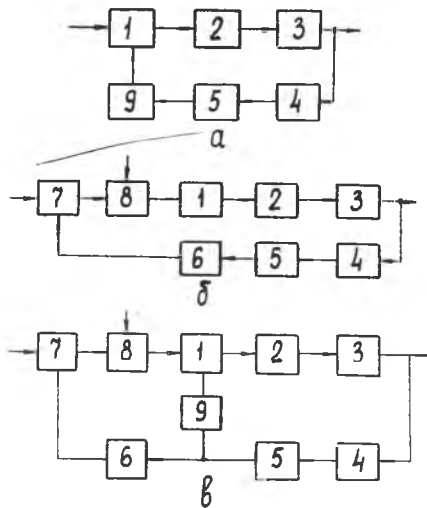
В работе исследовались три системы регулирования амплитуды стола ЭДВ (фиг. 2):

1. Система с жесткой обратной связью по перемещению стола (фиг. 2 а).

2. Система с жесткой обратной связью по абсолютному значению перемещения и астатизмом первого порядка (фиг. 2б).

3. Система (фиг. 2в) с двумя цепями обратной связи по перемещению и абсолютному значению перемещения.

Система с жесткой обратной связью включает в себя усилитель мощности 2, вибратор 3. Перемещение стола измеряется с помощью тензометров сопротивления и тензостанции 4. Сигнал тензостанции пропорциональный перемещению стола, поступает в усилитель 5, на выходе которого включен активный фильтр верхних частот. Регулировка обратной связи осуществляется усилителем 9 с переменным коэффициентом усиления. На входном усилителе 1 суммируются сигналы с низкочастот-



Фиг. 2.

ного генератора и сигнал обратной связи с усилителя 9.

Система с жесткой обратной связью по перемещению (фиг. 2 а) позволяет улучшить частотную характеристику и стабилизирует коэффициент усиления ЭДВ:

$$W_{зс} = \frac{W_{пр}}{1 + K_{ос} W_{пр}},$$

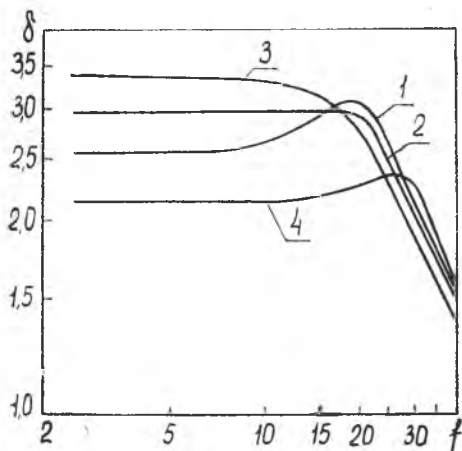
где $W_{зс}$ — передаточная функция замкнутой системы,
 $K_{ос}$ — коэффициент усиления цепи обратной связи,
 $W_{пр}$ — передаточная функция прямой цепи.

Если коэффициент усиления разомкнутой системы $K = K_{ос} \cdot K_{пр} \gg 1$, где $K_{пр}$ — коэффициент усиления прямой цепи, то параметры системы не будут зависеть от свойств вибратора:

$$W_{зс} = \frac{1}{K_{ос}}.$$

Однако жесткая обратная связь приводит к уменьшению демпфирования и устойчивости системы.

На фиг. 3 даны амплитудно-частотные характеристики установки при различных коэффициентах обратной связи без образцов (1 — $K_9 = 0,25$; 2 — $K_9 = 0,2$; 3 — $K_9 = 0,15$) и с четырьмя образцами (4 — $K_9 = 0,15$).



Фиг. 3.

При коэффициенте усиления $K_9 = 0,25$ (кривая 1) система имеет значительный резонансный подъем на верхних частотах, что приводит к увеличению времени переходного процесса. При $K_9 = 0,2$ характеристика прямолинейна до 20 гц, но будет иметь большой резонансный подъем при нагруженном вибраторе. Наиболее линейна характеристика при $K_9 = 0,15$ (кривые 3 и 4), что позволяет легко проводить испытания при программном изменении частоты. Уменьшение коэффициента усиления сужает

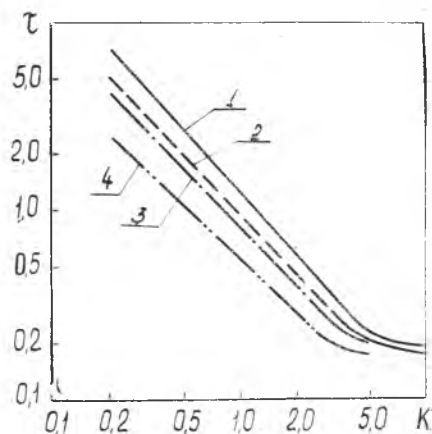
линейную область, а увеличение приводит к колебательности системы.

По условиям эксперимента возникновение собственных колебаний недопустимо, поэтому для системы с обратной связью по перемещению не удастся получить большое усиление разомкну-

той цепи, что приводит к большим статическим ошибкам во время эксперимента. При изменении нагрузки от полной до нуля перемещения стола изменяются в полтора раза, а при постоянной нагрузке их стабильность зависит от стабильности амплитуды генератора, так как система статична по управляющему сигналу.

Система с жесткой обратной связью по абсолютному значению перемещения и астатизмом первого порядка, кроме уже названных входного усилителя 1, усилителя мощности 2, вибратора 3, измерителя перемещений 4 и активного фильтра верхних частот 5, содержит также модулятор 8, на один вход которого подается сигнал с генератора низкочастотных колебаний, а на второй — интеграл ошибки с интегратора 7. На входе интегратора суммируются сигнал с демодулятора 6 и входной сигнал, задающий перемещения стола вибратора. На входе модулятора 8 сигнал будет изменяться до тех пор, пока сигнал ошибки на входе интегратора 7 не будет равен нулю. Следовательно система будет астатична к изменению усиления блоков 8, 1, 2, 3, и при стабильности блоков 4, 5, 6 перемещения стола не будут зависеть от нагрузки.

Время переходного процесса определяется усилением разомкнутой цепи и поэтому зависит от частоты и нагрузки, так как от этих параметров зависит усиление вибратора.



Фиг. 4.

На фиг. 4 даны зависимости времени переходного процесса при ступенчатом воздействии на входе системы от коэффициента усиления интегратора:

- а) кривая 1 для частоты 10 гц с нагрузкой;
- б) кривая 2 » 10 гц без нагрузки;
- в) кривая 3 » 4 гц с нагрузкой;
- г) кривая 4 » 4 гц без нагрузки;

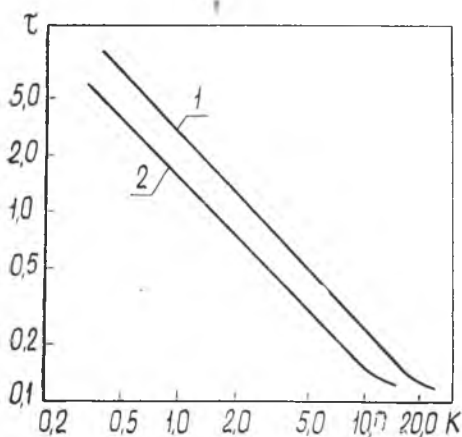
Анализ этих характеристик показывает, что система критична к усилению разомкнутой цепи. При изменении нагрузки на ЭДВ от нуля до максимальной время переходного процесса изменяется в полтора — два раза, причем, в большей степени на низких частотах, так как на них больше изменение усиления вибратора. Однако, абсолютное время переходного процесса настолько мало, что его изменение практически не сказывается на

точности испытаний при программном изменении амплитуды на фиксированной частоте.

Зависимость усиления вибратора от частоты приводит к тому, что одно и то же время переходного процесса достигается при различных коэффициентах усиления K интегратора, и для проведения испытаний с программным изменением частоты такая система не пригодна.

К достоинствам рассматриваемой системы относится астатичность выходного сигнала к изменению амплитуды переменного напряжения, подаваемого на вход модулятора.

На фиг. 2 в дана система с двумя обратными связями: по перемещению и абсолютному значению перемещения. Данную систему можно рассматривать как систему с обратной связью по абсолютному значению перемещения (главная обратная связь)



Фиг. 5.

с измененными параметрами ЭДВ и усилителя мощности. Ввиду того, что система ЭДВ — усилитель мощности с жесткой обратной связью имеет линейную частотную характеристику в области рабочих частот, следует ожидать, что время переходного процесса для САР с двумя обратными связями не будет зависеть от частоты, а только от коэффициента усиления разомкнутой цепи. Перемещения ЭДВ не зависят от изменения коэффициентов усиления блоков 8, 1, 2 и 3.

На фиг. 5 представлены зависимости времени переходного процесса от коэффициента усиления интегратора 7 (фиг. 2); так как эти кривые совпадают для различных частот, то они соответствуют всем частотам рабочего диапазона. Минимальное время переходного процесса составляет около 0,1 сек. Однако при времени переходного процесса 0,4 сек и длительности действия данного значения амплитуды стола ЭДВ 2 сек ошибка среднеквадратичного значения амплитуды не превышает 3%. При программных испытаниях время действия одной амплитуды составляет от 5 до 20 сек, поэтому ошибка не превышает 1%.

Таким образом, данная система пригодна не только для гармонических испытаний, а также и для испытаний при программных изменениях амплитуды и частоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Исаев. Экспериментальное исследование усталости при случайном нагружении, Труды МАТИ, № 61, 1964.
 2. Д. Ж. Ковалевский. О соотношении между усталостной долговечностью при повторных нагрузках со случайным чередованием амплитуд и при соответствующих программных нагрузках, Сб. «Усталостная прочность и долговечность самолетных конструкций», под ред. И. И. Эскина, Москва, 1965.
 3. М. З. Коловский. О замене случайного вибрационного воздействия полигармоническим процессом, Изд. АН СССР, ОТН, Механика и машиностроение, № 2, 1963.
 4. Х. С. Хазанов, Б. А. Лавров, В. И. Иванченко, М. А. Петровичев. Исследование влияния формы спектральной плотности стационарной случайной нагрузки на усталостную прочность образцов из сплава Д16АТ и 30ХГСА. Труды КуАИ, в. 29, 1967.
-