

УДК 531/534

Иванов Е.М.

ОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ В СИСТЕМАХ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ВИБРАЦИЙ

Вибрационные испытания машин и приборов позволяют на стадии проектирования определить качество изготовления испытуемых объектов, их надежность и виброустойчивость. В настоящее время существует несколько методов вибрационных испытаний объектов, которые, в свою очередь, зависят от методов и систем воспроизведения вибраций (СВВ) [2, 5]. В связи с этим актуальной проблемой в комплексе вибрационных испытаний машин и приборов является разработка и создание систем вибрационных испытаний, обеспечивающих необходимые параметры динамических нагрузок, действующих на испытуемые объекты. Точность воспроизведения параметров вибронагрузок обеспечивается более эффективно автоматическими виброиспытательными системами, построенными с использованием отрицательных обратных связей (ООС).

При виброиспытаниях изделий осуществляется воспроизведение следующих вибраций: моногармонических, полигармонических, стохастических однокоординатных, плоскостных и пространственных тоже моно (поли) гармонических, стохастических. В свою очередь, имеется метод «качающейся частоты» с разными амплитудами, метод стабилизации уровня вибраций и метод ускоренных виброиспытаний на резонансных частотах испытуемых изделий [7]. Остановимся более конкретно на формировании ООС в системах, реализующих указанные методы воспроизведения вибраций. Заметим, что исполнительным элементом СВВ является вибростенд (ВС), подвижная система которого представляет собой колебательное звено (КС). Известно [5], что выходной сигнал КС (в данном случае вибрация – перемещение x платформы ВС) отстает от управляющего воздействия U на угол

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{b\omega}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \quad (1)$$

зависящий от круговой частоты $\omega = 2\pi f$, где f – частота [Гц]; b – коэффициент диссипации; m – масса подвижной части; ω_0 – собственная частота КС, то есть, если $U = U_a \sin \omega t$, где U_a – амплитуда; t – время, то $x = x_a \sin(\omega t - \varphi)$, где x_a – амплитуда колебаний КС. Зависимость $\varphi(\omega)$ является фазо-частотной, а $x_a(\omega)$ – амплитудно-

частотной характеристиками $x_a = U_a / \left(m \sqrt{(\omega^2 - \omega_0^2)^2 + \left(\frac{b\omega}{2m} \right)^2} \right)$. Вид этих характеристик изображен на рис. 1.

Если воспользоваться теорией автоматического управления [9] и построить СВВ в замкнутом виде с жесткой ООС, то в устройстве сравнения (УС) такой системы выходной сигнал будет

$$\Delta U = U_a \sin \omega t - kx_a \sin(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

где k – масштабный и физически ориентированный коэффициент, причем φ изменяется

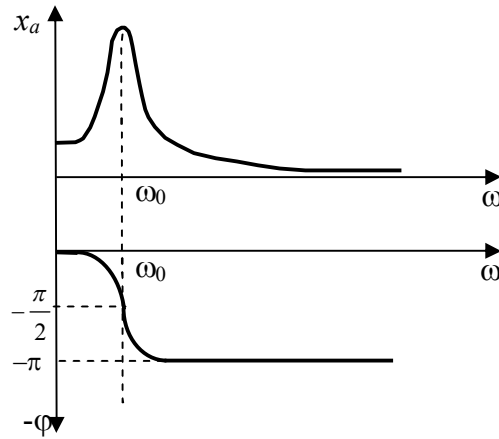


Рисунок 1 – График изменения φ

в соответствии с (1) и рис. 1. При $\omega > \omega_0$ $\varphi \rightarrow -\pi$, а это значит, что в диапазоне частот выше ω_0 ООС переходит в положительную обратную связь (ПОС), так как из (2) при $\varphi = \pi$ выражение $\Delta U = U_a \sin \omega t - kx_a (\sin \omega t \cos \pi - \sin \pi \cos \omega t) = U_a \sin \omega t + kx_a \sin \omega t$ отображает ПОС, обуславливающую неустойчивость функционирования СВВ. И в принципе $\Delta U = U_a \sin \omega t - kx_a \sin(\omega t - \varphi) = U_a \sin \omega t - kx_a (\sin \omega t \cos \varphi - \sin \varphi \cos \omega t)$ при изменении φ в соответствии с (1) в течение периода колебаний $T = 1/f$ обуславливает формирование в СВВ то ООС, то ПОС.

Такая работа автоматической СВВ недопустима, так как ПОС вызывает увеличение уровня колебаний платформы ВС и, в конечном итоге, разрушение составных частей ВС. Во избежание указанного явления предлагается ряд методов и соответствующих им систем формирования ООС в различных СВВ в зависимости от принципа воспроизведения различного вида вибраций.

Заметим, учитывая (1), видим, что если $b=0$, то $\varphi=0$ на всем частотном диапазоне. Этот факт можно использовать следующим образом. Пусть КС представляет собой систему с одной степенью свободы. Обычно в электродинамических и электромагнитных без реактивной массы вибровозбудителях КС именно такие системы. Уравнение КС с одной степенью свободы имеет вид

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + cx = U, \quad (3)$$

где m , b , c – величина массы, коэффициента диссипации (демпфирования) и жесткости (упругости) соответственно.

Если правую часть (3) выразить через $U + b_{эке} \frac{dx}{dt}$, то тогда (3) приобретает вид, соответствующий консервативной системе, у которой сила сопротивления $(b - b_{эке}) \frac{dx}{dt} = 0$ при $b = b_{эке}$. А это значит, что согласно (1) угол $\varphi=0$.

При таком исполнении КС в СВВ возможно формирование ООС $kx_a \sin \omega t$ и получения $\Delta U = (U_a - kx_a) \sin \omega t$. Но в этом случае электродинамический и электромагнитный вибровозбудители должны подключаться к источнику тока, что создает

в звеннях обратных связей такой, как на рис. 3. На входе СВВ имеется несколько генераторов моногармонических сигналов $U_s = U_{as} \sin \omega_s t, s = \overline{1, n}$. Эти моногармонические сигналы подаются на элементы точно такие, какие изображены на рис. 3. Сигналы $U_s = U_{as} \sin \omega_s t$ и $\Delta U_s \sin \omega_s t = (U_{as} - kx_{as}) \sin \omega_s t$ суммируются в СМ и затем проходят через УС на ВВ.

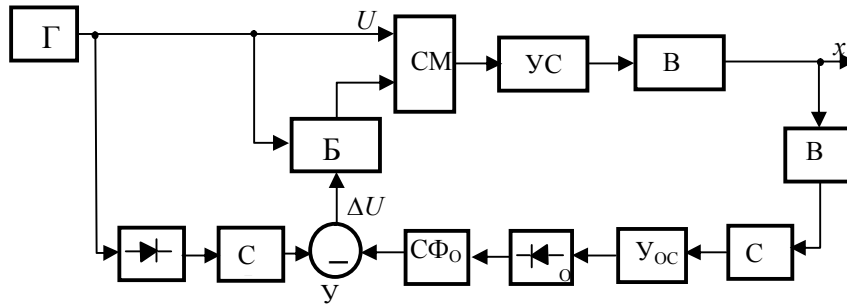


Рисунок 3- Моногармонические сигналы, подаваемые на элементы

Далее рассмотрим системы воспроизведения стохастических вибраций. Известны три метода воспроизведения стохастических вибраций: по спектральной плотности $G(\omega)$ [3, 8] путем замены стохастического сигнала полигармоническим [4, 6], непосредственное воспроизведение кривых вибраций [1, 8].

Метод воспроизведения стохастических вибраций по спектральной плотности требует применения нескольких узкополосных фильтров, каждый из которых настроен на определенную величину $G_U(\omega_s, s = \overline{1, n})$. Если в цепи обратной связи в каждом s -м канале также поставить после фазовращателей настроенные фильтры на $G_x(\omega_s, s = \overline{1, n})$ и затем выходные сигналы каждого фильтра в прямой и обратных цепях выпрямлять, сглаживать, вычитать (сравнивать), умножать на $U_{as} \sin(\omega_s t + \Psi_s)$, где Ψ_s – фаза в U_s , а затем складывать в СМ, подобно тому, как изображено на рис. 3, то получим ООС по $G(\omega)$. Система воспроизведения стохастических вибраций путем замены эквивалентным полигармоническим процессом $\sum_{s=1}^n U_{as} \sin(\omega_s t + \Psi_s)$ подобна

системе воспроизведения полигармонических вибраций. Здесь амплитуда U_{as} и частоты ω_s выбираются на основании метода эквивалентирования [4, 6]. Непосредственное воспроизведение кривых записи стохастических вибраций, которые как записи имеют детерминированную информацию, может осуществляться также по схеме, изображенной на рис. 3. Как мы видим, схема, изображенная на рис. 3, является, по существу, универсальной, позволяющей более точно формировать ООС в СВВ.

Таким образом, в результате проведенного исследования на основании приведенных результатов наглядно показано получение преимущества в формировании ООС за счет создания цепи сравнения на постоянном токе с последующим умножением результата сравнения на входной задающий сигнал и суммированием задающего сигнала с выходным сигналом блока умножения. Выход сумматора подается через систему усилителей на вибровозбудитель и таким образом получают на выходе СВВ необходимые колебания подвижной системы. Применение рассмотренных систем для вибрационных испытательных стендов позволило воспроизводить вибронагрузки, стабили-

зикованні по рівню в різних методах вібраційних випробувань деталей і вузлів машин і приборів.

Література: 1. Божко А.Е. Воспроизведение вибраций. Киев: Наук. думка, 1975. – 191 с. 2. Божко А.Е. Воспроизведение случайных вибраций. Киев: Наук. думка, 1984. – 216 с. 3. Божко А.Е., Урецкий Л.С. Системы формирования спектра случайных вибраций. Киев: Наук. думка, 1979. – 176 с. 4. Божко А.Е., Штейнвольф А.Л. Воспроизведение полигармонических вибраций при стендовых испытаниях. Киев: Наук. думка, 1984. – 168 с. 5. Вибрации в технике. В 6-ти т. / Под ред. д.т.н., проф. М.Д. Генкина // М.: Машиностроение, 1981. – Т. 5.– 466 с. 6. Козловский М.З. О замене случайного вибрационного воздействия полигармоническим процессом. Изв. АН СССР. 7. Резонансные виброиспытательные системы / Под ред. д.т.н. А.Е. Божко. – Киев: Наук. думка, 1992. – 247 с. 8. Случайные колебания: Пер. с англ. / Под ред. С. Кренделла // М.: Мир, 1967. – 356 с. 9. Теория автоматического управления / Под ред. д.т.н., проф. А.В. Нетушила // М.: Высш. шк., 1976. – 400 с.

Іванов Є.М.

ВІД'ЄМНІ ОБЕРНЕНІ ЗВ'ЯЗКІ
У СИСТЕМАХ ВІДТВОРЕННЯ ВІБРАЦІЙ

В роботі наведено переваги в формуванні від'ємних обернених зв'язків у системах відтворення вібрацій за рахунок створення ланки порівняння входу з виходом.

Ivanov E.M.

NEGATIVE FEED-BACKS IN
SYSTEMS OF REPRODUCING OF VIBRATIONS

In work advantages are resulted in forming of negative feed-backs in the systems of recreation of vibrations due to creation chain of comparison of entrance with an output.
