

Ю.И.Видманов, М.А.Петровичев

ОБ ИНВАРИАНТНОЙ СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВИБРОСТЕНДА ДЛЯ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Широкое распространение усталостных испытаний при инфранизких частотах требует создания простых и надежных систем регулирования вибростендов, обеспечивающих воспроизведение заданных колебаний с достаточно высокой точностью.

Трудности, связанные с созданием систем регулирования вибростендов, заключаются в том, что вибростенд предназначен для испытаний различных изделий и приборов, т.е. его нагрузка не может быть определена заранее.

Выбрать удовлетворительную систему регулирования трудно даже при известной нагрузке, поскольку она, как правило, обладает слабо демпфированным резонансом, нелинейностями типа люфт, гистерезис и т.д. Кроме того, в процессе испытания нагрузка изменяется в широких пределах.

На практике стремятся либо приспособить стенды под определенный вид испытаний [2][3], либо проектируют их под определенный вид нагрузки [1].

Одним из возможных путей создания универсального электродинамического вибростенда (ЭДВ) для инфранизких частот является применение инвариантной к нагрузке системы.

В предлагаемой статье рассматривается вопрос о возможности создания абсолютно инвариантной системы регулирования ЭДВ и пути улучшения ее характеристик.

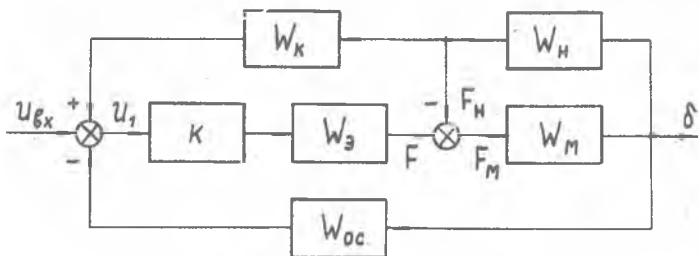


Рис. I.

На рис. I представлена блок-схема инвариантной к нагрузке системы, предназначенной для обеспечения желаемых уровней перемещения δ : ЭДВ преобразует мощность электрического тока, поступающую от усилителя с усилением K , в силу F (звено W_3). Механическая система W_M передает часть силы на нагрузку F_H , а часть $- F_M$ - расходует сама. Для обеспечения инвариантности системы к нагрузке использована положительная компенсирующая обратная связь W_K по силе F_H . Для улучшения характеристик системы введена корректирующая обратная связь W_{oc} .

Уравнения, описывающие систему (фиг. I)

$$U_1 = U_{вх} - W_{oc} \delta + W_K \cdot W_H \delta$$

$$F_M = K W_3 \cdot U_1 - W_H \delta$$

$$\delta = W_M \cdot F_M ,$$

(I)

дают передаточную функцию

$$\frac{\delta}{U_{вх}} = \frac{K W_3 \cdot W_M}{1 + K W_3 \cdot W_M \cdot W_{oc} + W_H \cdot W_M - K W_3 \cdot W_K \cdot W_H \cdot W_M}$$

Условие абсолютной инвариантности

(2)

$$K \cdot W_3 \cdot W_K = 1$$

(3)

может быть реализовано только в случае, если электрическая система ЭДВ безынерционна.

Динамические свойства электрической системы ЭДВ определяются типом усилителя.

Для усилителя напряжения W_3 - аperiodическое звено с большой постоянной времени [3]. Эта постоянная времени определяется, в основном, ЭДС самоиндукции при движении катушки и зависит как от конструктивных параметров ЭДВ, так и от нагрузки. Поэтому для реализации даже инвариантной до ε системы регулирования ЭДВ необходимо измерять в процессе испытания параметры нагрузки и осуществлять перестройку W_k .

В случае усилителя тока электрическая система ЭДВ безынерционна, и возможна физическая реализация абсолютно инвариантной системы

$$W_k = K_k = \frac{1}{K K_3} \quad (4)$$

При выполнении условия (4) передаточная функция системы

$$\frac{\delta}{U_{вх}} = \frac{K \cdot K_3 \cdot W_M}{1 + K \cdot K_3 \cdot W_M \cdot W_{ос}} \quad (5)$$

определяется динамикой ненагруженного вибростенда и корректирующей обратной связью. Корректирующая обратная связь для абсолютно инвариантной системы выбирается из условия, что амплитуда колебаний δ должна быть постоянна в рабочем диапазоне частот $0 \div \omega_p$.

Коэффициент усиления обратной связи по перемещению может быть получен из следующего выражения:

$$\left(\frac{\omega_p}{\omega_M}\right)^2 = 1 + K_0, \quad (6)$$

где K_0 - коэффициент усиления разомкнутой системы.

Необходимо заметить, что во время эксплуатации вибростенда возможны изменения K и K_3 , что приводит к нарушению условия инвариантности.

Перемещение стола ЭДВ при вариации коэффициента K_3 /вариация коэффициента K ведет к такому же результату и поэтому не рассматривается/ можно приближенно записать [4]:

$$\delta = \frac{K K_3 W_M}{1 + K \cdot K_3 \cdot W_M \cdot W_{ос}} \left[1 + \frac{(1 + W_H \cdot W_M)}{1 + K K_3 W_M \cdot W_{ос}} \frac{\Delta K_3}{K_3} \right] U_{вх} \quad (7)$$

Дополнительное перемещение стола вибростенда будет зависеть от величины относительного изменения $\frac{\Delta K_3}{K_3}$, величины нагрузки и глубины обратной связи.

Таким образом, корректирующая обратная связь расширяет рабочий диапазон и одновременно уменьшает чувствительность системы к вариации параметров K и K_3 .

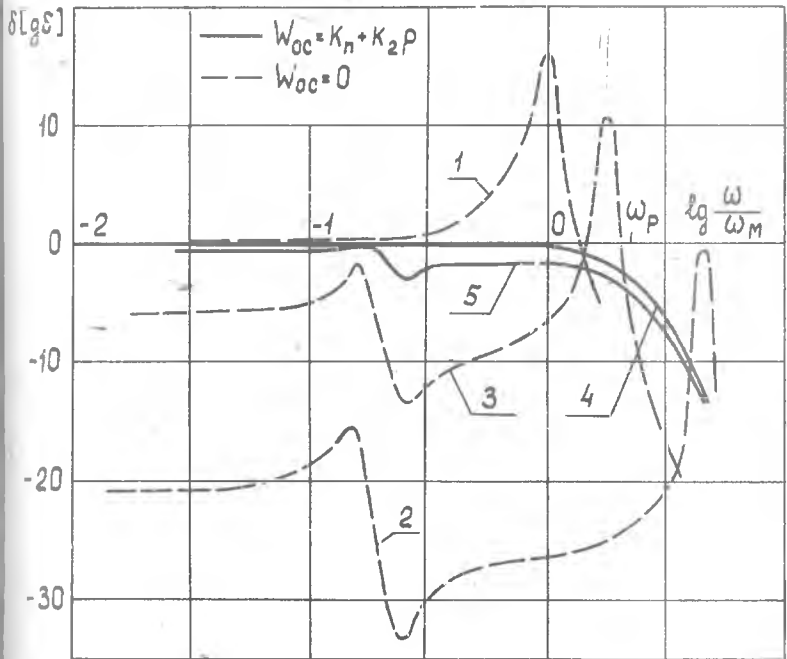


Рис. 2.

Для иллюстрации рассмотрим частотные характеристики вибростенда „Teltow” (ГДР) с резонансной частотой $\omega_m = 85$ и относительным коэффициентом демпфирования $\xi_m = 0,08$ (рис. 2 кривая 1). Нагрузка вибростенда — однорезонансный объект с собственной частотой $\omega_n = 18,9$ и $\xi_n = 0,1$. Коэффициент статического нагружения ЭДВ $y_0 = \frac{F_n(0)}{F_m(0)}$ выбран 10.

При нагружении ЭДВ без системы регулирования (кривая 2) амплитуда перемещения изменяется в широких пределах (отношение максимальной амплитуды ненагруженного ЭДВ к минимальной с нагрузкой около 300). Изменения амплитуды перемещения

стола значительно меньше при неполной компенсации нагрузки (кривая 3), но еще велики.

При перекомпенсации ($\frac{\Delta K_3}{K} > 0$) система может стать неустойчивой.

Частотная характеристика ненагруженного вибростенда с корректирующей обратной связью W_{oc} (кривая 4) в рабочем диапазоне $0 \div \omega_p$ ($f_p = 30 \text{ гц}$) практически не зависит от частоты. Характеристика нагруженного вибростенда при выполнении условия абсолютной инвариантности имеет такой же вид. Изменение коэффициента K_3 ($\frac{\Delta K_3}{K_3} = -0.1$) приводит к небольшой деформации частотной характеристики (кривая 5).

Сравнивая кривые 3 и 5, можно отметить, что введение корректирующей обратной связи демпфирует резонанс ЭДВ и уменьшает чувствительность системы и вариации K_3 примерно в 5 раз. Таким образом:

1. Применение усилителя тока для возбуждения ЭДВ позволяет осуществить инвариантную к нагрузке систему регулирования.

2. Для уменьшения влияния изменения K и K_3 и улучшения динамических свойств вибростенда необходимо использовать обратную связь по перемещению и скорости. Такая система удовлетворительно работает при небольших коэффициентах нагружения $\gamma < 5$ и при относительном коэффициенте демпфирования нагрузки $\xi_n > 0.1$.

3. При больших нагрузках ($\gamma > 5$) возможно либо увеличение глубины обратной связи, либо использование самонастройки для компенсации изменений K и K_3 .

Л и т е р а т у р а

1. Новое в конструкции электродинамических вибраторов. Экспресс-информация. "Испытательные приборы и стенды". № 4, 1973.
2. Серенсен С.В., Гарф М.Э., Кузьменко В.А. Динамика машин для испытаний на усталость. "Машиностроение", М., 1967.
3. Бут Г. Методы получения вибраций. Сб. "Случайные колебания" под ред. Кренделла. "Мир", 1967.
4. Техническая кибернетика, кн. 2, под ред. Солодовникова В.В. "Машиностроение", 1967.