

Е.М.ИВАНОВ, канд.техн.наук, доцент, ХНАДУ «ХАДИ»

НОВЫЙ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИЙ И УДАРОВ

Розкрито ефект реструктуризації механічних систем, на які діють полігармонічні вібрації або удари, які при розкладі у ряд Фур'є є еквівалентами полігармонійних вібрацій.

The effect of restructuring of the mechanical systems, on which harmonic vibrations or shots which at a time-table in the row of Fur'є are equivalents which of harmonious vibrations operate on, is exposed.

На транспортных средствах, авиационных и космических объектах, судах, различного рода машинах, агрегатах и т.п. действие вибраций и ударов вызывает опасение усталостного разрушения входящих в эти объекты деталей, узлов, конструкций.

Исходя из этого, при проектировании механических и других систем, работающих в условиях действия вибраций и ударов, имеется стремление увеличить запас прочности на основе увеличения, например, площадей сечения деталей. Однако, данное мероприятие при проектировании отчасти может быть несколько излишним. Доказательством этому служит выявленный эффект реструктуризации механических систем, на которые действуют полигармонические вибрации или удары, также являющиеся при разложении в ряд Фурье, эквивалентами полигармонических вибраций. Поясним существо данного эффекта. Его выявление связано с эффектом реструктуризации электрических цепей с реактивными элементами при входных полигармонических сигналах [2]. Известно, что при исследовании механических колебательных систем можно пользоваться электродинамическими аналогами первого и второго родов [1,4]. В этом случае массы, коэффициенты демпфирования и жесткости могут заменяться такими величинами как емкости, индуктивности и резисторы, то есть в электродинамическом аналоге присутствуют реактивные элементы. И если колебательная механическая система работает под действием полигармонических внешних вибраций, то в схеме аналог на входе имеется полигармонический входной сигнал. А так как в электрической цепи с реактивными элементами, в частности в схеме аналога, при полигармоническом входном сигнале происходит реструктуризация, то, переходя к рассмотрению механической колебательной системы (МКС), выявляем также эффект автоматической реструктуризации. При этом заметим, что, вооружившись мыслью о наличии рассматриваемого эффекта, можно непосредственно его выявить при решении дифференциальных уравнений движения МКС.

Действительно возьмем линейную МКС с одной степенью свободы (рис.

1), в которой m , b , c , F , x – масса, коэффициенты демпфирования, жесткости, внешнее воздействие и перемещение соответственно.

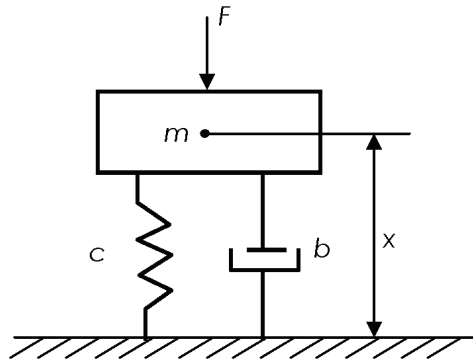


Рисунок 1

Пусть воздействующая сила F является полигармонической, то есть

$$F = \sum_{k=1}^n F_{ak} \sin(\omega_k t - \varphi_k), \quad (1)$$

где F_{ak} , ω_k , φ_k , $k = \overline{1, n}$ – амплитуда, круговая частота, фазовый угол k -й гармоники воздействия соответственно; t – время.

К данной МКС применим принцип суперпозиции.

Уравнений движения МКС в этом случае будет n и каждое k -е из этого числа имеет вид

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + cx = U_{ak} \sin(\omega_k t - \varphi_k). \quad (2)$$

Если обозначить $p = \frac{d}{dt}$ и $p_k = j\omega_k$, $j = \sqrt{-1}$, то для каждой k -й гармоники МКС $_k$ имеет следующую передаточную функцию

$$W_k(p_k) = \frac{1}{mp_k^2 + bp_k + c} = \frac{1}{-m\omega_k^2 + j\omega_k b + c}. \quad (3)$$

Структура всей МКС представляется в виде, изображенном на рис. 2, где $F = \sum_{k=1}^n F_k$; $F_k = F_{ak} \sin(\omega_k t - \varphi_k)$, $k = \overline{1, n}$; x_{ak} – амплитуда перемещения

МКС k -й гармоники; Ψ_k – угол сдвига между F_k и x_k ; Σ – сумматор.

Из рис. 2 видно автоматическое расслоение МКС на индивидуальные МКС $_k$, $k = \overline{1, n}$.

Величины x_{ak} и Ψ_k выражаются формулами [3]

$$\left. \begin{aligned} x_{ak} &= \frac{F_{ak}}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega_k^2)^2 + 4h^2\omega_k^2}}; \\ \Psi_k &= \arctg \frac{2h\omega_k}{\omega_0^2 - \omega_k^2}; \\ k &= \overline{1, n}; \quad h = \frac{b}{2m}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

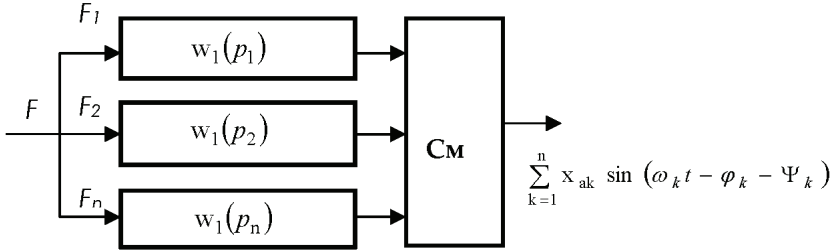


Рисунок 2

Из выражений (4) следуют выводы:

1. амплитуды гармоник x_{ak} уменьшаются с увеличением частоты;
2. фазовые углы Ψ_k изменяются в сторону 180° , то есть перемещения x_k отстают от действующей k -й силы на угол Ψ_k , все более приближаясь к 180° .

Эти факты известны, но при полигармоническом или ударном воздействии данный эффект проявляется одновременно и в МКС каждая сила F_k встречает индивидуальные k -е силы сопротивления, что влечет появление индивидуальных величин $x_k = x_{ak} \sin(\omega_k t - \varphi_k - \Psi_k)$.

Причем, как видно из (4), силы сопротивления увеличиваются с повышением $\omega_k, k = \overline{1, n}$, что, в свою очередь, напрашивается вывод о том, что с увеличением частоты ω_k , даже при одинаковых амплитудах F_{ak} , МКС будет работать в более облегченном режиме, чем при низких частотах.

Если рассматривать внешнее воздействие на МКС в виде удара, то в этом случае выявлен следующий факт. Ударное воздействие F , как известно можно разложить в ряд Фурье, то есть представить в виде

$$F = F_0 + \sum_{k=1}^n F_{ak} \sin(\omega_k t - \varphi_k), \quad (5)$$

где F_0 – постоянная составляющая; $F_{ak}, \omega_k, \varphi_k$ – те же величины, что в схеме, изображенной на рис. 2.

Как было отмечено, от каждого МКС возникают перемещения $x_k = x_{ak} \sin(\omega_k t - \varphi_k - \Psi_k)$, имеющие углы сдвига $\Psi_k, k = \overline{1, n}$. Так как все

гармоники удара действуют на МКС одновременно, то сразу же образуются и x_k и φ_k разные по величине. Запомнив этот факт, делаем заключение, что из-за разных углов Ψ_k невозможно воспроизвести с помощью вибростендов или других механических систем форму удара, непосредственно подавая задающее воздействие на возбудитель удара. На наш взгляд, в этом случае необходимо включать в систему управления ряд устройств – экстраполяторов, упреждающих и компенсирующих углы Ψ_k . Такое включение неординарное, требующее досконального знания составляющих гармоник, их количества и параметров испытательных виброударовозбудителей.

Список литературы: 1. Божко А.Е. Воспроизведение вибраций. – Киев: Наукова думка, 1975. – 191 с. 2. Божко А.Е. Об автоматической реструктуризации электрических цепей с реактивными элементами при полигармонических входных сигналах // Доповіді НАНУ, 2002. – № 11. – С. 101-103. 3. Божко А.Е., Голуб Н.М. Динамико-энергетические связи колебательных систем. – Киев: Наукова думка, 1980. – 188 с. 4. Случайные колебания: пер. с англ. / Под ред. С. Кренделла. – М.: Мир, 1967. – 356 с.

Поступила в редколлегию 25.10.2009