Пивоваров Ю.Н.

ИНТЕГРАЛЬНО-СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ИНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИЗНОСА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Рассмотрены вопросы определения параметров динамических характеристик электромеханических систем (ЭМС), таких как интегральные характеристики спектральной плотности мощности выходного сигнала системы при различных моделях ЭМС.

Анализ динамических и энергетических явлений в электромеханических системах (ЭМС) в эксплуатационных условиях, когда мощность помех выше, частотный состав и природа разнообразнее, широк диапазон режимов эксплуатации, вариации начальных показателей качества, предъявляет исключительно высокие требования к помехозащищенности измерений, предполагает способность работы на переходных, предварительных режимах, например для виброзащиты.

Здесь, с одной стороны, актуальны вопросы обеспечения простого аппаратурного измерения динамических характеристик (ДХ), по возможности, в режиме нормального функционирования, а с другой – оценки параметров эксплуатационного воздействия с тем, чтобы применить модели усталостных и иных повреждений, методы расчета долговечности, полученные в процессе ресурсных испытаний для других, эталонных воздействий, обычно гармонических.

Этими параметрами для x(t) являются следующие интегральные характеристики спектральной плотности мощности S(ω) /1, 4/:

$$\overline{\omega}_0 = \sqrt{-\frac{\alpha_2^\omega}{\alpha_0^\omega}} \qquad (1)$$

– средняя частота вибросигнала по нулям (средняя скорость изменения, среднее число пересечений нуля или математического ожидания) в единицу времени, где $\alpha_l^\omega = \int_0^\infty \omega^l S(\omega) d\omega$;

$$\overline{\omega}_Э = \sqrt{-\frac{\alpha_n^\omega}{\alpha_l^\omega}} \qquad (2)$$

– средняя частота вибросигнала по экстремумам;

$$\overline{\omega}_П = \sqrt{-\frac{\alpha_6^\omega}{\alpha_4^\omega}} \qquad (3)$$

– средняя частота вибросигнала по точкам перегиба;

$$\overline{\omega}_К = \frac{\overline{\omega}_Э}{\overline{\omega}_0} \qquad (4)$$

– мера колебательности анализируемого сигнала и др.

Отношение моментов спектральной плотности мощности $\alpha_{l,q}^\omega = \frac{\alpha_l^\omega}{\alpha_q^\omega}$ является структурным (относительным) признаком вибросигнала, называемым частотным дискриминантом /2, 3/.

Заметим, что $\alpha_{l,0}^\omega$ являются моментами нормированной спектральной плотности мощности, а для сигнала y(t) при входном воздействии вида белого шума, определяют функционалы, являющиеся нормированными моментами амплитудо – частотной характеристики (АЧХ) для линейной системы /4/.

Зачастую возможна лишь ретроспективная идентификация ненаблюдаемого x(t) по отклику y(t), что делает еще более сложной задачей измерение ДХ /2, 4/. Между тем крайне желательно отличать изменение значений ДХ системы, являющихся признаками состояния, от изменения ненаблюдаемого и неконтролируемого воздействия, дать интегральную оценку последнему.

В процессе функционирования или тестовых воздействий входной вектор $\vec{x}(t)$ преобразуется ЭМС в вектор $\vec{y}(t)$ при наличии вектора помех $\vec{\xi}(t)$ (см. рисунок 1).

Моделью нелинейной ЭМС с сосредоточенными параметрами может являться одномерная гистерезисная:

$$\ddot{y} + \omega_0^2 y \pm \frac{\varepsilon_r A^n}{\pi m}\sqrt{1-\frac{y^2}{A^2} = x}\ , \qquad (5)$$

где ω_0 – собственная частота ЭМС, $\varepsilon_r \in R$ – параметр петли гистерезиса, зависящий в основном от формы колебаний, A – амплитудное значение координаты y, n – здесь параметр петли гистерезиса, зависящий от материала, m – масса ЭМС, $x = \vec{x}(t)$ при S=1 (одномерная модель).

В качестве тестовых воздействий часто используют гармонические сигналы (для линейных сис-

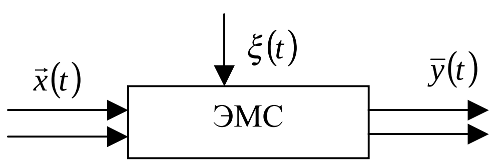

Рисунок 1. Представление электромеханической системы как объекта идентификации

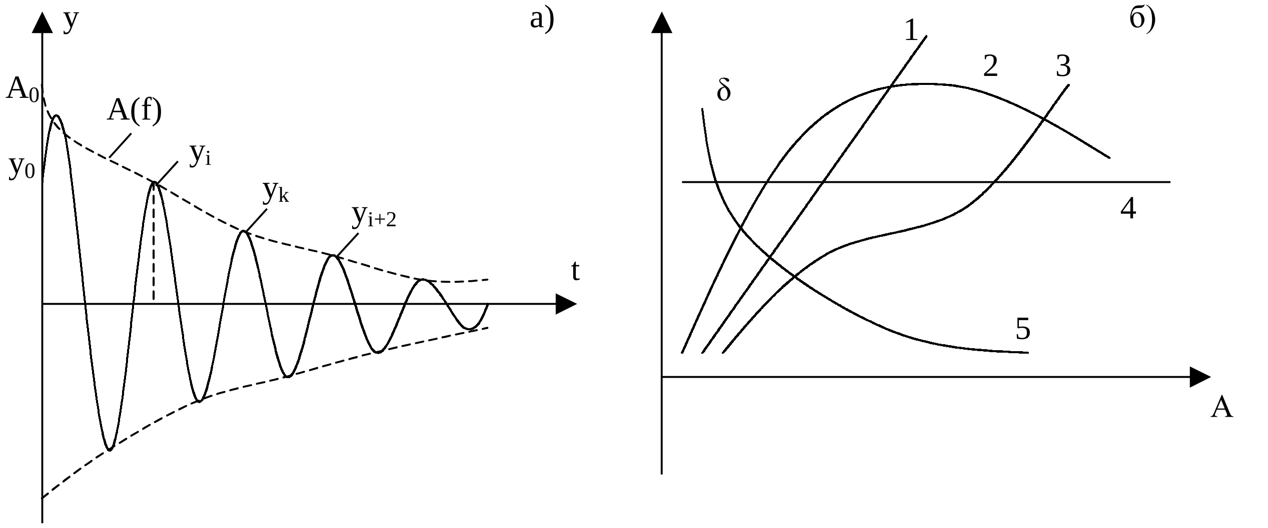

Рисунок 2. Свободные затухающие колебания механической системы: а) типичные зависимости декремента колебаний от значения амплитуды огибающей колебаний – б) 1 – при турбулентном трении, 2 и 3 – типичные зависимости для конструкционных сталей, 4 – в линейной механической системе, 5 – при кулоновом трении.

тем и модели (5) они дают также гармонический отклик), ступенчатые и ударные импульсы.

Измерения при этом целесообразно не связывать с условиями отличия вибросигнала от нуля на фоне помех, достижения максимального или асимптотически установившегося значения, т. е. проводить их в условиях ограничения на требуемую длительность реализации, на достаточно произвольных по положению на оси времени отрезках воздействия, не дожидаясь физического окончания переходных процессов.

При исследовании ЭМС путем смены частот гармонического воздействия переходный процесс отклика в 6-10 периодов колебаний принимается нерабочим /2/, поэтому здесь оправдана разработка более оперативных методов измерения амплитуды и фазы: на доле периода колебаний, в течение переходного процесса.

Одним из наиболее тонких, богатых по функциональным возможностям и в то же время простым является режим свободных колебаний (см. рисунок 2), который организуется коротким δ-воздействием на ЭМС, заданием в ней начальных условий (например, изгиба), срывом установившихся гармонических колебаний. Для ЭМС, моделируемых уравнениями (5) и (6)

$$M_{S\times S}\ddot{\vec{y}} + B_{S\times S}\dot{\vec{y}}\left|\dot{\vec{y}}\right|^{n-1} + C_{S\times S}\vec{y} = \vec{x}\,, \qquad (6)$$

где $\vec{y} = \vec{y}(t)$, $\vec{x} = \vec{x}(t)$ – векторы размерности S обобщенных координат колебаний отклика и воздействия, соответственно: $M_{S\times S}, B_{S\times S}, C_{S\times S}$ – $S\times S$ матрицы параметров инерции, диссилации и жесткости, $n \in R$ – множество вещественных чисел (при n=1 имеем случай линейной модели),

для огибающей A(t) колебаний справедливо выражение:

$$A(t) = \frac{A_0}{\left(1 + (n-1)\alpha t A_0^{n-1}\right)^{\frac{1}{n-1}}}, \qquad (7)$$

где A_0 – начальное (при t=0) значение огибающей, α – показатель затухания колебаний во времени, определяемый параметрами ЭМС /5/.

Резонансная частота колебаний ЭМС с собственной частотой ω_0 равна

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = \frac{2\pi}{T}, \qquad (8)$$

где T – период колебаний.

Таким образом, приведены основные показатели (интегрально-спектральные и иные) износы при вибродиагностике ЭМС в эксплуатационном режиме.

Список использованной литературы:
1. Тимашев С.А. Надежность больших механических систем. -М.: Наука, 1982.- 184 с.
2. Максимов В.П.. Егоров И.В., Карасев В.А. Измерение, обработка и анализ быстропротекающих процессов в машинах. –М.: Машиностроение, 1987.- 208 с.
3. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. –288 с.
4. Добрынин С.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Методы автоматизированного исследования вибраций машин: Справочник. –М.: Машиностроение, 1987. –224 с.
5. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и ударов. –Л.: Машиностроение, 1976. –320 с.