

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Предложены подходы к повышению точности и быстродействия при автоматизации измерения динамических характеристик электромеханических систем. Для этой цели предложено использование параметрических методов, аппроксимативных и структурных методов, статистических способов оценки квантилей распределения.

Многочисленные примеры приложений для оценки состояния электромеханических систем (ЭМС) имеют такие динамические характеристики (ДХ), как общий уровень вибросигнала (или его дисперсия), значения отдельных компонент спектра /1, 2, 3/, для энергии сигнала $x(t)$ в отклике $y(t)$ обусловленная линейным преобразованием на определенной частоте ω (структурный признак) функция когерентности

$$\Gamma_{xy}^2(\omega) = \frac{|S_{xy}(\omega)|^2}{S_x(\omega)S_y(\omega)}, \quad (1)$$

где $S_x(\omega), S_y(\omega)$ – спектральные плотности мощности сигналов;
 $x(t), y(t), S_{xy}(\omega)$ – их взаимная спектральная плотность.

Функция $\Gamma_{xy}^2(\omega)$ используется как мера точности оценки передаточной функции ЭМС в диагностике, модальном анализе колебаний ЭМС, для локализации источников вибраций, при определении ω_0 по отклику в условиях неконтролируемого и, возможно, неравномерного по спектру воздействия и т. д. /3/.

Обратим внимание на то, что существенное изменение значений ряда абсолютных ДХ, например, общего уровня вибраций в два раза, еще не является достаточным для принятия решения о наличии дефекта, в то время как зарождающийся дефект имеет, как правило, малые энергетические проявления. В силу этого целесообразна ориентация в первую очередь на относительные энергетические характеристики, среди которых кроме $\Gamma_{xy}^2(\omega)$ по формуле (1) укажем долю энергии спектра в полосе частот от общей энергии вибросигнала и ее перераспределение в процессе деградиционных явлений, соотношение мощностей гармонической и широкополосной составляющих, определяемое для узкополосного сигнала эксцессом распределения E_y /6/ и др.

Кроме E_y применяют и другие амплитудные дискриминанты, представляющие собой отношения соответствующих моментов распределения мгновенных значений вибросигнала, такие как коэффициенты вариации, асимметрии /3/.

При гармоническом воздействии на нелинейную ЭМС информативными признаками являются ширина механического гистерезиса и сдвиг фазы между напряжением и деформацией.

Распределенные ЭМС исследуют зачастую по значениям параметров переходной функции с запаздываю-

щим аргументом τ_x путем измерения его и параметра затухания короткого ультразвукового импульса или импульса акустической эмиссии, прошедшего ЭМС, а также скорости распространения v и параметра затухания β гармонических волн модели

$$y(\tau, t) = \frac{Ae^{-\beta\tau}}{\tau^x} \sin v \left(t + \frac{\tau}{v} + \varphi_0 \right) = \frac{Ae^{-\beta\tau}}{\tau^x} \sin(vt + \psi_0(t)). \quad (2)$$

В качестве общей характеристики методов и средств измерения ДХ можно отметить следующее.

Они обычно узко специализированы по конкретной ДХ, физической природе и частотному диапазону вибросигнала, зачастую не автоматизированы, не отвечают требованиям мониторинга по точности и быстродействию, широко не используют богатого накопленного теоретического и экспериментального материала по параметрическим (в первую очередь линейным) моделям динамики ЭМС, воздействия на нее и отклика.

Все вышесказанное обуславливает поиск решения проблемы повышения точности и быстродействия и автоматизации измерения ДХ следующими путями.

Во-первых, целесообразно ориентироваться на параметрические методы измерений, т. к. известными методами декомпозиции задачу обычно удается свести к идентификации относительно простых /3/ моделей ЭМС и показанных в /6/ моделей ударных воздействий и откликов, по которым уже накоплен богатый экспериментальный материал, хорошо описывающий физику динамических, энергетических и деградиционных процессов в ЭМС.

Во-вторых, в качестве инструментария оправдано привлечение аппроксимативных и структурных методов, применение, в первую очередь, дискретно-совпадающих моделей динамических сигналов, называемых моделями авторегрессии – скользящего среднего (АРСС), разностными схемами (РС) или системами, определяемыми наблюдаемыми данными /6/.

Данные модели ориентированы на возможности цифровой измерительной и вычислительной техники, имеют преимущества перед спектральными при ограничениях на используемую длительность реализации, что актуально в задачах мониторинга.

При этом предстоит от простейших АР-моделей для линейной колебательной системы в режиме возбуждения белым шумом перейти к анализу нелинейных, распределенных ЭМС, импульсов с учетом решения задач классификации, учета разных фазовых переменных и окраски спектра шума. Для этого необходимо сформулировать подход их получения для квазидетерминированных (с учетом шума) моделей вибросигнала, в то время как традиционно АРСС-модели строятся для корреляционных функций и спектральных плотностей сигнала /6/.

В-третьих, современная статистика указывает на возможность обеспечения свойства устойчивости измерений путем использования при обработке рангов отсчетов и квантилей распределения. Рангом называют место отсчета в упорядоченном ряду наблюдений, а квантиль y_p случайной величины Y_p для вероятности p определяется уравнением

$$F(y_p) = P(Y < y_p) = \int_{-\infty}^{y_p} f(y) dy = p, \quad (3)$$

где $F()$ – функция распределения;

$f()$ – плотность вероятности.

Например, медиана $med V = y_{0,5}$ является простой и устойчивой оценкой параметра сдвига, в которой потеря эффективности на 36% для случая нормального распределения компенсируется низкой чувствительностью к выбросам или другим отклонениям от предполагаемого распределения, выдерживает от 20 до 30% аномальных значений.

Через квантили вибросигнала могут быть выражены его ДХ. Далее используются следующие соотноше-

ния для среднеквадратического отклонения σ , коэффициента K_A и эксцесса E_Y сигнала $y(t)$ с унимодальным распределением

$$\sigma = 0.625 y_{0,95}, \quad (4)$$

$$K_A = \frac{y_{0,75} - 2y_{0,5} + y_{0,25}}{y_{0,75} - y_{0,25}}, \quad (5)$$

$$E_Y = \frac{y_{0,75} - y_{0,25}}{2(y_{0,9} - y_{0,1})}. \quad (6)$$

Целесообразно, однако, шире использовать возможности порядковых статистик, применяя их на стадии предварительной обработки массива, в процессе расчета ДХ, получить новые простые решения по самому определению y_p .

В-четвертых, представляется целесообразной не простая автоматизация сложившихся методов прочностных испытаний, приспособление к ним возможностей измерительной и вычислительной техники, но и комплексное развитие самих методов оценки параметров кривой усталости, остаточного ресурса с учетом и развитием этих возможностей.

При движении в указанных направлениях необходимы тщательный метрологический анализ достигаемой точности, с выделением методических, за счет моделирования и возникающих в процессе обработки погрешностей, имеющих в рассматриваемых задачах наибольший удельный вес, обеспечение комплексности решения по различным режимам колебаний, фазовым переменным, рассмотрение возможностей других приложений получаемых результатов и т. д.

Список использованной литературы:

- 1 Явленский К.Н., Явленский А.К. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем. – Л.: Машиностроение, 1983. – 239 с.
- 2 Махутов Н.А., Каплунов С.М., Прусс Л.В. Вибрация и долговечность судового энергетического оборудования. – Л.: Судостроение, 1985. – 300 с.
- 3 Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
- 4 Максимов В.П., Егоров И.В., Карасев В.А. Измерение, обработка и анализ быстропротекающих процессов в машинах. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.
- 5 Тимашев С.А. Надежность механических систем, снабженных мониторингом // Расчет и управление надежностью больших систем. – Свердловск: УНЦ СССР, 1986. – с. 51-54.
- 6 Добрынин С.А., Фельдман М.С., Фирсов Г.И. Методы автоматизированного исследования вибраций машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.