

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МГНОВЕННОГО ЦЕНТРА ВРАЩЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РОТОРНЫХ МАШИН

И. А. Осадчий, И. П. Кавриго

Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь», г. Минск

Сегодня активно проводятся исследования по развитию новых методов представления и анализа вибрационных сигналов электрических машин. Перспективными в этой области являются методы, основанные на анализе графических представлений вибрации: траектория орбиты вала, полный спектр вибраций, логарифмическая амплитудно-фазовая частотная характеристика (диаграмма Боде). Названные методики пред-

ставления вибрационных сигналов имеют свои достоинства и недостатки. Поскольку для диагностирования разных видов неисправностей электрических машин эффективными могут оказаться разные методы, то для успешного решения задач диагностики крайне важно иметь набор различных «инструментов» диагностирования [1].

Целью данного исследования является развитие простых и доступных технологий и методик вибрационного диагностирования роторных машин путем разработки относительно простой методики получения диагностических параметров объекта по динамике его мгновенного центра вращения (МЦВ).

Используя теорему Эйлера о конечном перемещении, произвольное движение ротора в каждый момент времени представляется как его вращение вокруг мгновенной оси, проходящей через мгновенный центр вращения. Это позволяет произвольное движение ротора в каждый момент времени описать через его угловые перемещения. Из курса теоретической механики известно, что важной характеристикой вращательного движения является его интенсивность. Мерой интенсивности является момент инерции, который характеризует распределение масс всех материальных точек системы. При сложном движении твердого тела его кинетическая энергия может быть представлена через энергию поступательного и вращательного движения [2]:

$$E_k = \frac{mv_c^2}{2} + \frac{J_c \omega^2}{2}, \quad (1)$$

где v_c – скорость поступательного движения тела (центра масс); J_c – момент инерции тела относительно мгновенной оси вращения, проходящей через центр масс; ω – угловая скорость вращения тела.

Учитывая, что в разработанной методике произвольное движение объекта рассматривается как ряд его угловых перемещений, то выражение (1) можно записать в виде

$$E_k = J_c \omega^2. \quad (2)$$

Из (2) видно, что при нулевой угловой скорости кинетическая энергия будет равна нулю, т. е. положение МЦВ является точкой с нулевой кинетической энергией, а также точкой локального мгновенного центра масс вращающегося объекта. Эти параметры имеют большое значение, как при анализе конструкций объекта, так и при его диагностике. Так, например, вращающийся механизм в виде вала в собственных опорах имеет три оси: геометрическую, кинетическую и ось вращения. В идеальном случае все они должны совпадать. В противном случае возникает вибрация, источником которой может быть как сам вал, так и связанные с ним элементы конструкции. При этом анализ спектров вибросигнала может вызывать трудности, связанные с тем, что неисправность вала может порождать гармоники, характеризующие неисправности других элементов конструкции, а также порождать появление гармоник на кратных частотах [3]. Методика на основе анализа орбит вала предполагает построение орбит по значениям вектора виброскорости, что достаточно хорошо характеризует движение вала. Одновременно с этим вектор виброскорости не в полной мере характеризует кинетическую энергию вращательного движения вала, что подтверждается выражением (1).

Предлагаемая методика получения диагностических параметров заключается в следующем:

1. Установка на исследуемом объекте двух вибродатчиков, имеющих две (три) чувствительные (главные) оси.

2. Предварительная обработка измеренных вибрационных сигналов $\Pi(t)$, $\text{III}(t)$: усиление, фильтрация, выделение информативных компонентов (виброперемещение, виброскорость, виброускорение и их фазовые составляющие, амплитуда вибрации на резонансной частоте объекта, среднеквадратическое значение виброскорости).

3. Анализ спектра вибросигналов и определение информативных частот f_1, f_2, \dots, f_n (частоты собственных резонансов конструкции, рабочие частоты деталей изделия, а также кратные им частоты).

4. Вычисление МЦВ объекта для гармонических составляющих вибросигнала на каждой из информативных частот относительно положения одного из датчиков:

$$\begin{cases} x_{Mf_n} = r_{f_n} \cdot \sin \alpha_{f_n}; \\ y_{Mf_n} = \frac{r_{f_n}^2 + l^2 - r_{\Pi f_n}^2}{2l}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\alpha_{f_n}, \beta_{f_n}$ – углы с вершинами в точках крепления датчиков; $r_{f_n}, r_{\Pi f_n}$ – расстояния от МЦВ до точек крепления датчиков; l – расстояние между датчиками.

5. Построение траекторий динамики координаты МЦВ для каждой информативной частоты объекта. Также строится обобщенная траектория динамики координаты МЦВ, которые рассчитываются как среднее арифметическое координат на информативных частотах f_n за число оборотов N ротора для каждого ее углового положения φ . В общем случае для исправной роторной машины траектория координаты МЦВ представляет эллипс.

6. Оценка технического состояния объекта по следующим параметрам: отношение между большой и малой главными осями эллипса, изменение угла наклона большой оси эллипса, форма эллипса, существенное изменение размеров главных осей эллипса в процессе эксплуатации, неравномерность угловой скорости перемещения МЦВ.

Таким образом, использование МЦВ для построения орбит вала отличается от использования вектора виброскорости учетом полной кинетической энергии, характеризующей вращение вала. Это позволяет повысить достоверность диагностирования роторных машин.

Литература

1. Кобяков, И. Б. Использование векторных виброакселерометров в энергетике / И. Б. Кобяков // Вест. науч.-техн. развития. – 2008. – № 3. – С. 15–20.
2. Балицкий, Ф. Я. Диагностическая информативность полных спектров и орбит при анализе сигналов относительных вибросмещений вала в опорах скольжения / Ф. Я. Балицкий, А. Г. Соколова // Вестн. науч.-техн. развития. – 2010. – № 2. – С. 30–39.
3. Никитин, Н. Н. Курс теоретической механики : учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов / Н. Н. Никитин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1990. – 607 с.
4. Русов, В. А. Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам / В. А. Русов. – Пермь : Вибро-центр, 2012. – 200 с.