

МЕТОД РАЗДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ И ПОДШИПНИКОВЫХ ВИБРАЦИЙ В ДВУХПОЛЮСНОМ АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ

Б.И. Зубренков, Д.В. Смулов
(ФГУП «НПП ВНИИЭМ»)

Предложен метод разделения магнитных и механических вибраций, связанный с анализом огибающих модулей измеряемых сигналов. Выделение компоненты вибраций, определяемых механическим источником на двойной частоте питания, является динамическим признаком качества сборки двигателя.

Ключевые слова: вибрации, модуль, двойная частота сети.

Характерной особенностью двухполюсных асинхронных двигателей является повышенная вибрация на двойной частоте $2f_c$ питающей сети. Эта частота близка к двойной частоте вращения $2f_1$, и в режиме холостого хода разделить их спектральным методом достаточно сложно вследствие крайне малых значений скольжения.

Необходимость разделения этих составляющих с целью диагностики качества сборки является актуальной задачей, помимо получения информации о величинах скольжения.

Для решения поставленной задачи целесообразно применить метод, связанный с анализом временного изменения модуля сигнала в частотной полосе центральной частоты $2f_c$ и шириной полос, исключая другие значимые составляющие спектра. Ширина полосы может быть примерно $0,1f_c$.

Результирующая вибрация в пределах этой полосы

$$x(t) = x_m \cos(2\pi 2f_c t) + x_n \cos(2\pi 2f_1),$$

где x_m и x_n – магнитные и подшипниковые (механические) амплитудные значения вибраций соответственно; значения частот f_c и f_1 близки.

Простые преобразования приводят $x(t)$ к виду:

$$x(t) = r \sin(2\pi 2f_1 + \phi),$$

где $r = \sqrt{x_m^2 + x_n^2 + 2x_m x_n \cos[2\pi 2(f_c - f_1)]}$.

Таким образом, максимуму амплитуды r соответствуют $(x_m + x_n)$, а минимуму $(x_m - x_n)$. Частота биения $2(f_c - f_1)$ может быть найдена экспериментально путем анализа изменения модуля результирующего процесса $x(t)$.

Период биений

$$T = 1/2(f_c - f_1). \quad (1)$$

Очевидно, что временной интервал между минимальным и максимальным значениями модуля $x(t)$ равен полупериоду биений.

По соотношению (1) скольжение S можно представить в виде

$$S = 1/2Tf_c.$$

Уровни от электромагнитных и механических возбуждений можно найти из простых соотношений:

$$x_{\max} = x_m + x_n; \quad x_{\min} = x_m - x_n,$$

где x_{\max} и x_{\min} – максимальный и минимальный уровни модуля x .

Таким образом, разделение электромагнитных и механических компонент вибрационного сигнала в полосе, включающей $2f_1$ и $2f_c$, можно произвести, анализируя его временное развитие.

Непосредственный анализ осциллограмм представляет определенные технические трудности, поэтому предпочтителен анализ модулей (огибающих) временных процессов.

Процедура измерения модулей сигналов базируется на преобразование Гильберта [1], которое позволяет получить аналитическую функцию

$$Z(t) = y(t) + j \tilde{y}(t), \quad (2)$$

где $y(t)$ – функция, описывающая временной сигнал; j – мнимая единица; $\tilde{y}(t)$ – преобразование Гильберта анализируемого процесса $y(t)$, которое является его сверткой с функцией $1/\pi t$:

$$\tilde{y}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{y(\tau)}{t - \tau} d\tau.$$

Аналитическая функция позволяет определить модуль сигнала $x(t)$

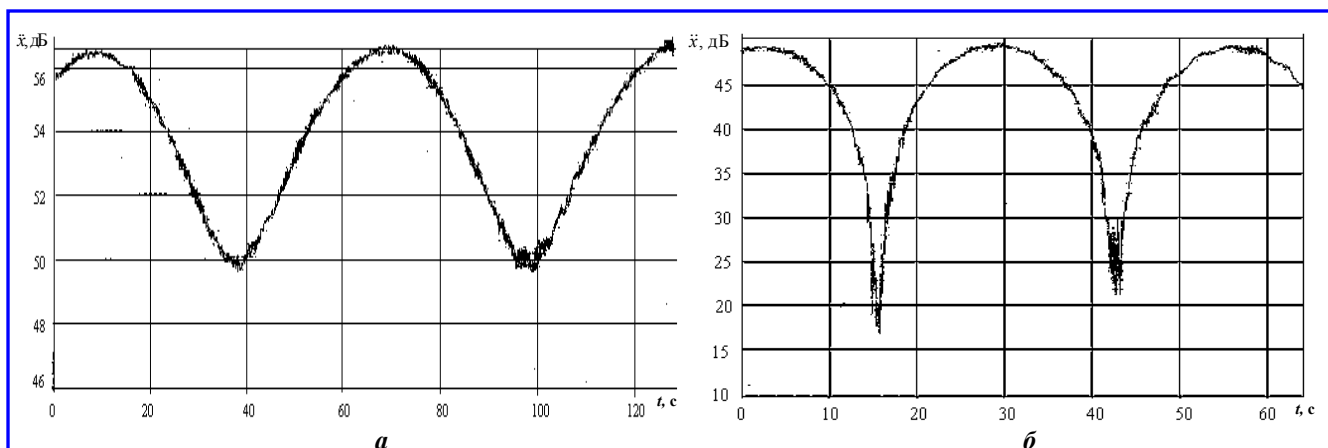
$$\text{Mod}x(t) = [x^2(t) + \tilde{x}^2(t)]^{1/2}.$$

Современные средства измерения, предназначенные для анализа вибрационных сигналов, широко используют алгоритм преобразования Гильберта, поэтому получение огибающих этих или иных процессов не представляет никаких аппаратных трудностей.

На рисунке в качестве примера приведены характерные для двухполюсного двигателя изменения модуля вибрационного сигнала вблизи $2f_1 \div 2f_c$ со средней частотой 100 Гц при напряжениях 380 и 220 В.

Очевидно, что минимумы и максимумы модулей будут соответствовать соотношению (2).

Результаты расчета x_m , x_n и S приведены в таблице.



Изменение модулей составляющей на частоте 100 Гц при напряжении: а – 380 В; б – 220 В

Характеристика	Напряжение питания	
	380 В	220 В
x_{\max} , дБ	56	50
x_{\max} , мм/с ²	189	95
x_{\min} , дБ	50	25
x_{\min} , мм/с ²	95	5,3
x_m , дБ	53,5	44,5
x_m , мм/с ²	142	50,2
$x_{\text{п}}$, дБ	44	43,5
$x_{\text{п}}$, мм/с ²	47	44,9
T , с	61	27
S , %	0,0164	0,037

Можно видеть, что рассчитанные значения $x_{\text{п}}$ для обоих напряжений практически не отличаются, в то время как перепад уровней x_m составляет 9 дБ, что близко к расчетной величине 9,6 дБ, что соответствует изменению электромагнитных сил пропорционально квадрату отношения напряжений [2].

Следует отметить, что не всегда $x_{\text{п}}$ при номинальном и повышенном напряжениях близки во всех точках измерения. Это связано с тем, что помимо основной магнитной составляющей силы могут быть и другие силы, связанные с магнитным тяжением ротора. В этом случае разброс уровней по различным точкам измерений может быть значительным и составлять порядка 50%.

Величина скольжения является необходимым параметром при анализе зубцовых гармоник вибраций асинхронных двигателей [2].

При сопоставлении вибрационных спектров на номинальном и пониженном напряжениях, учет скольжения является обязательным для идентификации магнитных составляющих этого рода.

Выделение компоненты вибраций, определяемых механическим источником на двойной частоте питания, является динамическим признаком качества сборки двигателя.

Литература

- Бендат Д., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных / Д. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989. – 540 с.: ил.
- Вопросы электромеханики. Методы проектирования малошумных электрических машин. Труды НПП ВНИИЭМ. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2006. – Т. 103. – 178 с.

Поступила в редакцию 16.11.2010

Борис Иванович Зубренков, канд. техн. наук, зам. главного метролога, т. 366-21-01.
Дмитрий Валентинович Смулов, инженер, т. 366-21-01.
 E-mail: vniiem@vniiem.ru.