

УДК 621.391

В. А. Вагарин, А. В. Скрипаль, Д. А. Усанов

(Саратов)

### ОБ ОГРАНИЧЕНИЯХ В ПРИМЕНЕНИИ СПЕКТРАЛЬНОГО ГОМОДИННОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ АМПЛИТУДЫ ВИБРАЦИЙ

Проведен анализ гомодинного метода определения амплитуды вибраций по известным амплитудам трех гармонических составляющих выходного сигнала детектора с использованием расчетных формул. Показаны ограничения применения данного метода и условия возникновения большой погрешности. Даны рекомендации по выбору набора гармоник, используемого в расчетах, необходимого для достижения заданной точности.

В [1, 2] описан метод измерения простых гармонических колебаний, позволяющий по известным амплитудам трех соседних гармонических составляющих выходного сигнала детектора определять амплитуду колебаний объекта. Так как авторы этих работ не дают специальных рекомендаций по выбору гармоник, то нами предпринята попытка исследовать возможности применения этого метода при изменении амплитуды вибраций в широком диапазоне значений.

Соотношение, связывающее амплитуду вибраций объекта  $z$  с амплитудами трех гармонических составляющих, имеет вид [1]:

$$z^2 = \frac{\lambda^2}{4\pi^2} \frac{n(n+1)(n+2)J_{n+1}(\sigma)}{(n+2)J_{n-1}(\sigma) + 2(n+1)J_{n+1}(\sigma) + nJ_{n+3}(\sigma)}, \quad (1)$$

где  $\sigma = 4\pi z/\lambda$ ,  $\lambda$  — длина волны света,  $n = 2, 3, \dots$ . Для гармонических колебаний объекта фильтрованные выходные сигналы на частотах  $(n-1)\omega_0$ ,  $(n+1)\omega_0$ ,  $(n+3)\omega_0$  прямо пропорциональны функциям Бесселя  $J_{n-1}(\sigma)$ ,  $J_{n+1}(\sigma)$ ,  $J_{n+3}(\sigma)$ , где  $\omega_0$  — круговая частота колебаний объекта. Поэтому соотношение (1) может быть записано в виде

$$z^2 = \frac{\lambda^2}{4\pi^2} \frac{n(n+1)(n+2)S_{n+1}}{(n+2)S_{n-1} + 2(n+1)S_{n+1} + nS_{n+3}},$$

где  $S_n$  представляет собой фильтрованный детектором выходной сигнал, пропорциональный  $J_n(\sigma)$  на частоте  $n\omega_0$ .

На рис. 1, а, б представлены результаты расчета зависимостей относительной погрешности  $\Delta$  от амплитуды колебаний объекта для  $n = 3$  (кривая 1) и  $n = 9$  (кривая 2) в предположении, что точность измерения выходного сигнала детектора составляет 5%. Здесь же приведены графики функций Бесселя  $J_{n+1}(\sigma)$  (кривая 3) для  $n = 3$  (см. рис. 1, а) и  $n = 9$  (см. рис. 1, б). Видно, что погрешность определения амплитуды колебаний резко возрастает в окрестности нулевых значений функции Бесселя  $J_{n+1}(\sigma)$ . Отсюда следует, что при проведении измерений необходимо избегать диапазона амплитуд, в пределах которого амплитуда  $(n+1)$ -й гармоники, используемой при расчетах, стремится к нулю.

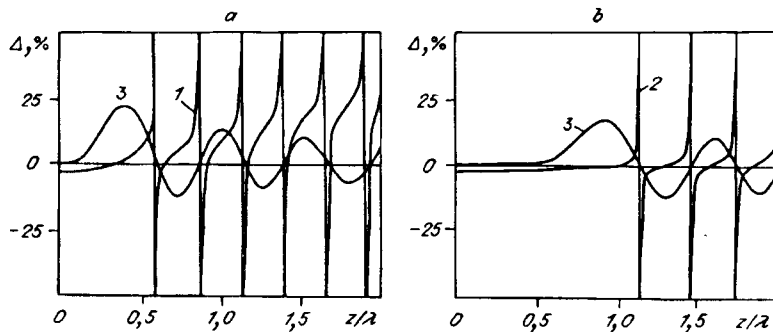


Рис. 1. Зависимости относительной погрешности (кривые 1, 2) и функций Бесселя (кривые 3) от амплитуды колебаний объекта для различных значений индекса:  
а —  $n = 3$ , б —  $n = 9$

Из сравнения кривых 1 и 2 видно также, что с ростом индекса гармоник  $n$  расширяется диапазон измерения амплитуд колебаний объекта (с малыми значениями погрешности). Однако при этом возникает задача измерения малых амплитуд гармоник с большими индексами на фоне высокого уровня сигналов других частот. С учетом вышеизложенного можно выделить диапазон амплитуд вибраций, в пределах которого возможно их высокоточное измерение годинным методом. При выборе  $n = 3$  он соответствует интервалу  $(0,2 \div 0,45)\lambda$ , а при  $n = 9$  —  $(0,65 \div 1,0)\lambda$ .

Необходимость выбора оптимального значения индекса  $n$  для проведения расчетов с заданной точностью связана с тем, что с увеличением амплитуды колебаний происходит последовательное обогащение спектра. И если при очень малых значениях амплитуд колебаний в спектре преобладает сигнал основной частоты, то при дальнейшем увеличении амплитуды вибраций объекта происходит последовательное резкое возрастание амплитуд высших гармоник. На рис. 2 приведены результаты расчета спектров выходного сигнала для амплитуд колебаний объекта  $z = 0,32\lambda$  (рис. 2, а) и  $0,87\lambda$  (рис. 2, б). Очевидно, что при измерении указанных амплитуд при расчетах целесообразно использовать амплитуды гармоник соответственно с  $n = 3$  и  $n = 9$ .

Таким образом, при использовании рассмотренной методики измерения следует учитывать, что для каждого конкретного диапазона амплитуд колебаний существуют свои номера гармоник, при которых возможно проведение измерений с заданной степенью точности. Установленные ограничения в использовании рассматриваемого метода позволяют также сделать заключение о затруднительности его использования в режиме автоматизированных измерений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pernik B. J. // Appl. Opt.—1973.—12, N 3.—P. 607.
2. Зак Е. А. // Зарубеж. радиоэлектрон.—1975.—№ 12.

Поступило в редакцию 16 марта 1993 г.

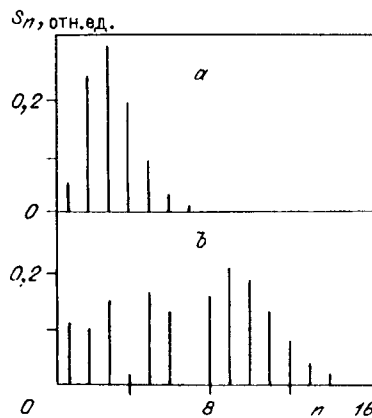


Рис. 2. Спектры выходного сигнала для амплитуд колебаний объекта:  
а —  $0,32\lambda$ , б —  $0,87\lambda$