

В. И. КОСТИН, И. В. ЧЕЗГАНОВ
(Куйбышев)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ШИРОКОПОЛОСНЫХ БЫСТРОПЕРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

При проведении измерений вибрационных и пульсационных быстропеременных процессов с широким частотным спектром регистрируется весьма большой объем информации. Обработка полученной информации и ее анализ требуют существенных трудовых затрат, что приводит к длительному времени получения окончательных результатов. В связи с этим целесообразно согласование методики измерения и обработки результатов с конкретными целями эксперимента, что позволяет заменить подробную обработку получением некоторых обобщенных параметров процесса, отвечающих поставленным задачам.

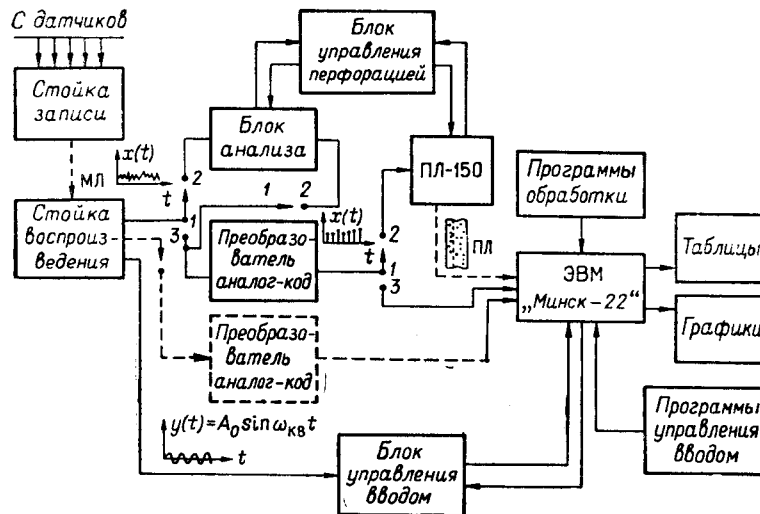
Детальное экспериментальное изучение вибрационных процессов требует получения характеристик, использующих полный объем информации. Вместе с тем способ измерения и регистрации и метод предварительной обработки в существенной мере определяют дальнейшие возможности анализа.

С усложнением и повышением стоимости исследуемых объектов количество специализированных экспериментов сокращается при общем росте многоцелевых экспериментов. В этих условиях наиболее эффективным способом регистрации является запись процессов на магнитную ленту.

Системы магнитной записи и анализа обеспечивают возможность многократного воспроизведения и анализа процессов в следующих режимах: циклический анализ (так называемый «мгновенный» спектр амплитуд по частотам), циклический наложенный анализ, статический анализ (огibaющая выпрямленных амплитуд узкополосного процесса).

Особенностью вибрационных и пульсационных процессов является одновременное присутствие гармонических и случайных составляющих. Основные теоретические положения, связанные с обработкой и анализом сложных широкополосных процессов, достаточно подробно рассмотрены в литературе [1—3].

Для обработки и анализа широкополосных амплитудно-переменных процессов разработана система с применением аналого-цифрового преобразователя и ЭВМ «Минск-22». Блок-схема системы приведена на рисунке. Технические характеристики системы: 1) частотный диапазон обрабатываемых процессов 50—5200 Гц; 2) количество одновременно обрабатываемых каналов 1 (2); 3) погрешность измерения единичной орди-



наты процесса $\pm 1\%$; 4) максимальная частота квантования по времени: а) при непосредственном вводе процесса в ЭВМ 30 кГц; б) при вводе с анализатора спектра 140 Гц; 5) максимальная емкость памяти системы 40 000 ординат; 6) результаты обработки выводятся в виде таблиц и графиков. Подробное описание системы приведено в [4].

При обработке результатов массовых измерений сигнал со стойки воспроизведения поступает в блок анализа, представляющий собой анализатор спектра гетеродинного типа. Выходной сигнал анализатора («мгновенный» амплитудный спектр исследуемого сигнала в заданном диапазоне частот) подается на преобразователь аналог — код. Таким образом, происходит сжатие анализируемого процесса с сохранением информации об его амплитудном и частотном составе. Преобразованный сигнал в коде Грей поступает на ленточный перфоратор ПЛ-150. Частота опроса по времени выбрана из условия максимального быстродействия перфоратора (150 ординат в секунду). Как будет показано ниже, выбранная частота опроса обеспечивает достаточную для практических целей точность регистрации. Полученная перфолента вводится в ЭВМ, где производится обработка по статистической методике.

На каждой частоте f_i по всему количеству зарегистрированных кадров N получаем интегральную функцию распределения

$$F(A_j) = P(A_i \leq A_j) = \frac{N_i}{N+1}, \quad (1)$$

где j — номер амплитуды A_j , полученный после ранжировки всех амплитуд на данной частоте в порядке возрастания.

Для удобства дальнейшего использования результатов производится пересчет значений $F(A_j)$ по децилям, начиная от $F(A_j) = 0,1$, путем линейной интерполяции:

$$A_m = A_j + \frac{A_{j+1} - A_j}{F(A_{j+1}) - F(A_j)} [F(A_m) - F(A_j)], \quad (2)$$

где $m = 1, 2, \dots, 9$ — порядковый номер дециля. Обеспечен вывод максимальной ординаты и значение соответствующей функции распределения $F(A_{\max})$. Кроме того, для каждой частоты f_i вычисляются следующие характеристики: среднее значение, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрия и эксцесс. Окончательные данные выводятся в виде графиков амплитуд равных значений функции распределения. На печать также выводится таблица величин статистических характеристик.

Преимущества разработанного алгоритма заключаются в следующем:

1) существенно сокращается время получения результатов по сравнению с ручной обработкой выходной информации известной аппаратуры;

2) появляется возможность получения (по сравнению с циклическим наложенным анализом) не только максимальных значений, но и вероятностей пребывания их ниже интересующего уровня;

3) возможна качественная оценка характера процесса по виду графика результатов;

4) простота исключения из обработки отдельных кадров с недостоверной работой датчиков или усилительной аппаратуры;

5) ЭВМ загружается только для непосредственной обработки результатов за счет применения перфоленты в качестве буферного запоминающего устройства.

Таким образом, обработка результатов массовых, так называемых «серийных», измерений на ЭВМ по изложенной программе обеспечивает не только автоматизацию, но и определенные качественные преимущества.

Использование предварительно сжатой информации, ограничение частоты квантования по времени и статистический характер процесса приводят к возникновению некоторых дополнительных погрешностей. Очевидно, что максимальная погрешность, обусловленная квантованием кадра циклического анализа по времени, появляется в случае, когда «пик» спектра на какой-либо частоте расположен симметрично относительно точек опроса.

Уравнение резонансной характеристики фильтра можно записать в следующем виде [1]:

$$y(f) \cong \frac{1}{2 \sqrt{\left(\frac{f-f_1}{f_1}\right)^2 + \frac{d^2}{4}}}, \quad (3)$$

где f_1 — резонансная частота фильтра; d — затухание фильтра. Введем обозначения: Δf — шаг квантования кадра анализатора по частоте; $f_{\text{кв}}$ — частота квантования кадра во времени; δ_{\max} — максимальная относительная погрешность ввода резонансного пика в ЭВМ; $f_{\text{н}}$, $f_{\text{в}}$ — граничные частоты анализируемого диапазона; ΔF — полоса про-

пускания фильтра на уровне 0,7. Тогда

$$\delta_{\max} \cong 1 - \frac{1}{2\sqrt{\left(\frac{\Delta f}{2f_1}\right)^2 + \frac{d^2}{4}}}. \quad (4)$$

Так как

$$d = \frac{\Delta F}{f_1}, \quad \Delta f = \frac{f_B - f_H}{\tau_{ц} f_{КВ}} = \frac{B}{\tau_{ц} f_{КВ}}, \quad (5)$$

где $\tau_{ц}$ — длительность рабочего цикла анализатора, то с учетом (4) и (5) получим

$$\delta_{\max} \cong 1 - \frac{1}{\sqrt{\frac{B^2}{\tau_{ц}^2 f_{КВ}^2 (\Delta F)^2} + 1}}. \quad (6)$$

Учитывая то, что положение пика и моментов опроса на частотной шкале цикла в общем случае подчиняется закону равной вероятности, в качестве вероятного значения погрешности можно принять $\delta_p = \delta_{\max}/2$. Для высших анализируемых частот вероятная погрешность не превышает 9%.

В связи со сложным характером изучаемых процессов существенным является вопрос о выборе времени анализа, обеспечивающего статистическую достоверность обработки.

Для случая идеального «прямоугольного» фильтра с полосой пропускания ΔF_1 , когда $\Delta F_1 \ll f_1$, относительная среднеквадратичная ошибка в вычислении спектра [1] составляет

$$\sigma = \frac{1}{\sqrt{\Delta F_1 T}}, \quad (7)$$

где T — время анализа. Формула (7) справедлива при $\Delta F_1 T > 10$. В нашем случае эти условия соблюдаются.

За один цикл анализатора сигнал на частоте f_i анализируется в течение времени

$$t_i = \frac{\Delta F_1}{B} \tau_{ц}. \quad (8)$$

Так как $T = t_i N$, то количество циклов анализа, необходимое для получения результатов с заданной достоверностью, будет равно

$$N = \frac{B}{(\Delta F_1)^2 \sigma^2 \tau_{ц}}. \quad (9)$$

Для обеспечения ошибки в вычислении спектра менее 20% количество циклов анализа должно быть $N \geq 30$.

Таким образом, предложенная методика обработки массовой вибрационной информации обеспечивает в сжатые сроки получение довольно подробной информации с использованием доступных средств и приемлемыми погрешностями.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Харкевич. Спектры и анализ. М., Физматгиз, 1962.
2. А. А. Свешников. Прикладные методы теории случайных функций. М., «Наука», 1968.
3. В. И. Тихонов. Статистическая радиотехника. М., «Советское радио», 1966.
4. В. И. Костин, И. В. Чезганов. Преобразовательно-вычислительный комплекс для обработки и анализа вибрационной информации. — Труды республиканской научной конференции «Автоматическое управление технологическими процессами в различных областях народного хозяйства». Куйбышев, 1971.

Поступило в редакцию
3 сентября 1971 г.,
окончательный вариант —
12 октября 1971 г.