

ЭЛЕКТРОНИКА РАДИОТЕХНИКА СРЕДСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

УДК 621.372.54.001.5

А.Ф. Верлань, д-р техн. наук, проф., Ин-т. проблем моделир. в энергетике НАН Украины
им. Г.Е. Пухова,
В.П. Малахов, д-р техн. наук, проф.,
В.С. Ситников, д-р техн. наук, проф.,
Одес. нац. политехн. ун-т

РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ СИГНАЛА ДИНАМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

А.Ф. Верлань, В.П. Малахов, В.С. Ситников. **Реалізація цифрових фільтрів при відновленні сигналу динамічних вимірів.** Розглянуто реалізацію цифрових фільтрів при відновленні сигналу динамічних вимірів за допомогою схеми мінімальної розмірності з розподіленими параметрами, що дозволяє зменшити власний шум цифрового фільтра і підвищити точність відновлення сигналу.

А.Ф. Верлань, В.П. Малахов, В.С. Ситников. **Реализация цифровых фильтров при восстановлении сигнала динамических измерений.** Рассмотрена реализация цифровых фильтров при восстановлении сигнала динамических измерений с помощью схемы минимальной размерности с рассредоточенными параметрами, что позволяет уменьшить собственный шум цифрового фильтра и повысить точность восстановления сигнала.

A.F. Verlan, V.P. Malakhov, V.S. Sitnikov. **Realization of digital filters at renewal of signal of the dynamic measurings.** Realization of digital filters is considered in restoring the of signal of the dynamic measurings by the chart of minimum dimension with the dispersed parameters, that allows to decrease own noise of digital filter and promote exactness of signal restoration.

При проведении технических измерений возникает задача интерпретации выходного сигнала измерительного преобразователя, в котором содержится истинная и ложная информация об исследуемом процессе. Если имеется априорная информация об исследуемом процессе или измерительном преобразователе, то соотношение между истинной и ложной информацией можно улучшить посредством вычислительной обработки зарегистрированного сигнала. В этом случае возможно восстановить с весьма высокой точностью входной сигнал измерительного преобразователя, который недоступен для непосредственного измерения, посредством вычислительного корректирующего устройства [1...6]. Обычно, при решении данной задачи основное внимание уделяется разработке методов и алгоритмов ее решения при тех или иных условиях и ограничениях.

В общем постановка задачи сводится к следующему. По некоторому измеренному с погрешностями сигналу y и по аппаратной функции W необходимо определить исходный (входной) сигнал x путем решения уравнения

$$Wx = y \quad (1)$$

относительно x [3].

Решение этого уравнения позволяет выполнить редукцию (приведение) результатов измерений к идеальному измерительному устройству, причем выполнить это математически, что позволит использовать даже несовершенное, недорогое измерительное устройство. Сопряжение измерительного устройства с вычислительным, обеспечивающим решение задачи редукции, равнозначно созданию нового измерительного устройства с более высокой разрешающей способностью [5].

Вследствие того, что измерительное устройство описывается операторными уравнениями I рода, симметричными относительно ядра, т.е. $Wx = Xw = y$, то решение приведенной обратной задачи представляет интерес как с точки зрения восстановления входного сигнала, так и с точки зрения идентификации импульсной характеристики измерительного устройства. При решении первой задачи в уравнении свертки (1) ядром будет импульсная характеристика измерительной системы, а при решении второй — испытательный сигнал.

Задача нахождения решения уравнения (1) является классически некорректной [7]. Однако, в большинстве случаев восстановленный сигнал можно рассматривать как результат прохождения выходного сигнала измерительного преобразователя через некоторый инверсный фильтр [8]. Тогда алгоритм восстановления можно представить, по существу, как свертку выходного сигнала с оператором восстановления, параметры которого, например, параметр регуляризации и стабилизирующий функционал, выбираются путем дополнительных исследований динамических свойств решаемой задачи.

В качестве такого оператора предлагается использовать восстанавливающий цифровой фильтр (ВЦФ) [2, 9, 10]. Например, стабилизаторы А.Н. Тихонова представляют в виде низкочастотных фильтров с гладкой и монотонно затухающей амплитудно-частотной характеристикой [2].

В зависимости от типа математической модели измерительного преобразователя можно выбрать и вид ВЦФ. При описании измерительного преобразователя линейным динамическим оператором ВЦФ строят в виде рекурсивного цифрового фильтра с постоянными коэффициентами [9]. Другой подход к построению ВЦФ на основе заданных частотных характеристик основан на использовании нерекурсивных цифровых фильтров [10].

Однако при любом подходе необходима такая реализация ВЦФ, при которой ее собственные шумы будут минимальными и не внесут дополнительную погрешность в решаемую задачу.

На основе проведенного общего анализа составляющих погрешности ВЦФ их можно классифицировать по таким категориям:

- методическая — погрешность на шаге;
- трансформированная — погрешность квантования входного сигнала;
- инструментальная — погрешность квантования коэффициентов функции преобразования; погрешность квантования результатов арифметических операций.

Известно, что увеличение разрядности ВЦФ уменьшает методическую погрешность уменьшением погрешности на шаге и погрешности аппроксимации характеристик преобразователя; трансформированную — уменьшением погрешности квантования входного сигнала; инструментальную — повышением точности вычислений.

При реализации ВЦФ на микропроцессорной технике увеличение разрядности приводит к усложнению и задержке процесса вычислений, повышению финансовых затрат на быстродействующие аппаратные средства микропроцессорной техники с расширенной арифметикой и разрядной сеткой, повышению энергозатрат на вычисления [11].

Анализ влияния уровня шума квантования ВЦФ на повышение точности показал, что дисперсия шума квантования арифметических операций состоит из двух множителей:

- первый зависит от количества разрядов мантииссы разрядной сетки ВЦФ $\Delta^2/12$, где $\Delta = 2^{-2}$ — величина шага квантования при количестве двоичных разрядов b мантииссы разрядной сетки ВЦФ;

— второй — от структурной организации процедуры преобразования последовательностей (сигналов) в ВЦФ

$$k \sum_{i=1}^L q_i |H_i(e^{j\omega})|^2,$$

где k — коэффициент усиления;

q_i — количество источников шума в i -м узле структурной организации,

$|H_i(e^{j\omega})|$ — модуль передаточной функции от i -го узла структурной организации до выхо-

да схемы.

Тогда часть погрешности квантования арифметических операций можно регулировать не только изменениями разрядности, но и поиском новой структурной организации процедуры преобразования, чтобы

$$k \sum_{i=1}^L q_i |H_i(e^{j\omega})|^2 \rightarrow \min.$$

Исследования и анализ шумовой составляющей структурной схемы вычислительной процедуры и методов ее определения показывает, что использование методов улучшения характеристик структурной схемы в пространстве состояний сводит все структурные схемы к одной единственной. Улучшение характеристик уже существующей структурной схемы с использованием этих методов приводит к тому, что при переходе от схемы в пространстве состояний к начальной схеме все преимущества наилучшей структурной схемы в большинстве случаев теряются.

При создании ВЦФ с повышенной точностью для заданной трансформированной составляющей погрешности необходимо выбрать разрядность, структурную организацию процедуры преобразования, а также метод описания преобразований. Это означает, что при проектировании ВЦФ есть возможность влиять на методическую и инструментальную составляющие общей погрешности при имеющейся трансформированной погрешности.

Из анализа структурных схем реализации ВЦФ первого и второго порядков можно выделить две разновидности структурной организации процедуры преобразования:

- с сосредоточенными источниками шума, сконцентрированными в одном узле схемы;
- с распределенными источниками шума по всей схеме.

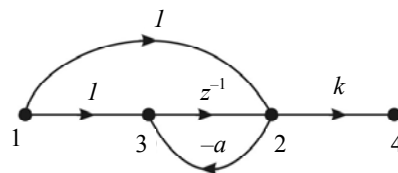
Если разрядная сетка ВЦФ выбрана правильно и переполнения при выполнении операции суммирования не возникает, то источником такого шума по модели Джексона будут множители [12]. Поэтому для повышения точности ВЦФ необходимо выбирать такую организацию устройства, при которой уровень выходного шума округления арифметических операций в рассматриваемом частотном диапазоне был бы минимальным.

Проведенные, с целью уменьшения уровня выходного шума округления арифметических операций, исследования структурной организации процедуры преобразования ВЦФ показали, что лучшими являются схемы минимальной размерности с рассредоточенными параметрами (см. рисунок, где z^{-1} — элемент задержки на один такт; a — коэффициент обратной связи ВЦФ первого порядка; 1...4 — нумерация узлов схемы ВЦФ).

Таким образом, для реализации ВЦФ при восстановлении сигнала динамических измерений необходимо использовать схемы минимальной размерности с рассредоточенными параметрами, что позволяет уменьшить собственный шум ВЦФ и повысить точность восстановления сигнала.

Литература

1. Грановский, В.А. Динамические измерения: основы метрологического обеспечения / В.А. Грановский. — Л.: Энергоатомиздат, 1984. — 224 с.
2. Курбангалеев, З.Г. Вопросы алгоритмического обеспечения динамических измерений / З.Г. Курбангалеев, М.М. Симонов // Мат. методы в приклад. метрологии / НПО "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева". — Л., 1986. — С. 4 — 13.



Граф схемы ВЦФ первого порядка с распределенными источниками шума

3. Пытьев, Ю.П. Методы анализа и интерпретации эксперимента. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 288 с.
4. Методы и устройства интерпретации экспериментальных зависимостей при исследовании и контроле энергетических процессов / А.Ф. Верлань, Б.Б. Абдусатаров, А.А. Игнатченко, Н.А. Максимович. — К.: Наук. думка, 1993. — 208 с.
5. Сизиков, В.С. Математические методы обработки результатов измерений / В.С. Сизиков. — СПб: Политехника, 2001. — 240 с.
6. Анализ способов математического моделирования измерительных преобразователей для построения вычислительных корректирующих устройств в системах наблюдения и управления / А.Ф. Верлань, Н.А. Максимович, Ш.М. Гулямов, М.В. Сагатов // Пром. АСУ и контроллеры. — 2003. — № 8. — С. 30 — 31.
7. Тихонов, А.Н. Методы решения некорректных задач / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. — М.: Наука, 1986. — 288 с.
8. Симонов, М.М. Цифровой алгоритм восстановления входного сигнала / М.М. Симонов, Е.А. Васильев // Измер. техника. — 1979. — № 5 — С. 61 — 69.
9. Построение цифрового фильтра для коррекции динамической погрешности инерционных датчиков / А.Ф. Верлань, Н.А. Максимович, Ш.М. Гулямов, М.В. Сагатов // Сенсоры и системы. — 2003. — № 3 — С. 36 — 38.
10. Танасейчук, И.Б. Сравнительный анализ алгоритмов восстановления входных сигналов на базе фильтров с конечными импульсными характеристиками / И.Б. Танасейчук // Мат. методы в приклад. метрологии / НПО „ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”. — Л., 1986. — С. 14 — 24.
11. Малахов, В.П. Пути повышения точности цифровых частотнозависимых вторичных преобразователей информации с заданными ограничениями / В.П. Малахов, В.С. Ситников // Электроника и связь. — 2004. — № 24. — С. 97 — 99.
12. Выбор структуры цифрового фильтра по уровню выходного шума округления / В.П. Малахов, В.С. Ситников, П.В. Ступень, С.В. Уляшин // Технология и конструирование в электрон. аппаратуре. — 2001. — № 2. — С. 17 — 22.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Положаенко С.А.

Поступила в редакцию 15 июня 2010 г.