

УДК 621.372.54.001.5

В. С. Ситников, д. т. н., проф.;

Н. М. Литовченко

УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ ЦИФРОВЫХ ЧАСТОТНО-ЗАВИСИМЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩЕГО ТИПА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Проведен анализ достижимой точности воспроизведения частотных характеристик дифференцирующих фильтров. Определена граница точности воспроизведения АЧХ. Показана возможность управления свойствами дифференцирующих фильтров предложенных для работы в системах реального времени.

Качество работы системы управления в немалой степени зависит от точности работы вторичных преобразователей. Высокие требования к быстродействию и точности вторичных преобразователей информации, а также сложности используемых алгоритмов предъявляют системы управления, работающие в реальном времени. Для удовлетворения этих требований в основном применяют микропроцессорные устройства с фиксированной точкой и ограниченной разрядной сеткой. В этом случае применение сложных алгоритмов для получения заданной точности преобразования не целесообразно [1].

Предварительная обработка сигналов датчиков в системе управления включает фильтрацию, функциональные преобразования, нахождение интегральной оценки контролируемых параметров сигнала или их скорости изменения. Подобные задачи решаются, например, в системах управления робототехническими устройствами, в системах управления мобильными объектами, в системах управления автоматизированным электроприводом, в системах контроля качества электроэнергии [2].

К числу вторичных преобразователей со специфическими характеристиками следует отнести дифференцирующие фильтры. Известно, что задача дифференцирования является неустойчивой при наличии помех во входных данных.

При разработке таких устройств возникает проблема выбора коэффициентов, которые позволили бы изменять свойства вторичных преобразователей, а также регулировать их точность не в ущерб их устойчивости и динамическим свойствам.

Анализ применения известных интерполяционных полиномов Лагранжа, Ньютона и Стирлинга показал их не высокую точность воспроизведения заданной частотной характеристики [3]. Традиционно повышение точности преобразователя осуществляется за счет усложнения преобразования. В этом направлении известны работы Поляка М. Н., Ланнэ А. А., Колосова О. С.

Однако на практике известные методы приводят к усложнению и возрастанию времени преобразования, объема вычислений и накопления вычислительных ошибок.

Таким образом, целью данной работы является построение цифровых дифференцирующих фильтров с регулируемой точностью воспроизведения заданной частотной характеристики.

Для построения цифровых дифференцирующих фильтров был разработан гарантирующий подход, позволяющий регулировать точность обработки. В основе этого подхода был положен гарантирующий критерий оценки воспроизведения заданных характеристик цифровых фильтров. Применяя гарантирующий критерий к цифровым дифференцирующим фильтрам, получены соотношения для действительной и мнимой составляющих их комплексного коэффициента передачи [4].

$$0 \leq \frac{\operatorname{Re}[H_D(j\omega)]}{H_{идд}(\omega)} \leq (1 - \delta) \operatorname{tg}(\theta); \quad (1 - \delta) \leq \frac{\operatorname{Im}[H_D(j\omega)]}{H_{идд}(\omega)} \leq (1 - \delta) \sqrt{\left(\frac{1 + \delta}{1 - \delta}\right)^2 - \operatorname{tg}^2(\theta)}, \quad (1)$$

где δ — относительная погрешность воспроизведения идеальной АЧХ; θ — абсолютная погрешность воспроизведения заданной ФЧХ; $H_{идд}(\omega)$ — идеальная АЧХ дифференцирующего фильтра; $H_D(j\omega)$ — комплексный коэффициент передачи проектируемого дифференцирующего фильтра; $\omega = \omega T$ — относительная частота, $\omega \in [0, \pi]$; T — период дискретизации.

Анализ точности воспроизведения заданных частотных характеристик дифференцирующих фильтров в аналоговой и цифровой схемотехнике при решении различных технических задач по-

казал, что относительная погрешность воспроизведения АЧХ δ должна быть в пределах 3...10 %, а погрешность воспроизведения ФЧХ θ — в пределах 10...15° [5].

Из формул (1) следует, что существует соотношение, связывающее погрешности δ и θ

$$\sqrt{\left(\frac{1+\delta}{1-\delta}\right)^2 - \text{tg}^2(\theta)} \geq 1.$$

После преобразования получена взаимосвязь $\delta = f(\theta)$.

$$\delta \geq \frac{\sqrt{1 + \text{tg}^2(\theta)} - 1}{\sqrt{1 + \text{tg}^2(\theta)} + 1}. \quad (2)$$

Из полученного соотношения следует, что при заданной погрешности ФЧХ θ погрешность воспроизведения АЧХ δ не может быть лучше значения, определяемого кривой графика $\delta = f(\theta)$. Например, при заданном $\theta = \pi/18 = 0,1745 \text{ rad}$ погрешность воспроизведения АЧХ δ должна быть не меньше $\delta \geq 0,0077$ или 0,77 %.

Из множества разработанных на основе гарантирующего подхода цифровых дифференцирующих фильтров для систем реального времени предпочтение следует отдать дифференцирующим фильтрам нерекурсивного вида первого и второго порядков.

Дифференцирующие фильтры первого и второго порядков рассчитанные для погрешностей $\delta = 0,1$ и $\theta = \pi/18$ имеют передаточные функции вида $H_1 = 0,9185(1 - z^{-1})$; $H_2 = 0,45(3 - 4z^{-1} + z^{-2})$. Заданная точность дифференцирующим фильтром первого порядка гарантируется в диапазоне частот от 0 до $\omega_\delta = 0,3491 \text{ rad}$. Рабочая полоса фильтра второго порядка более чем в 2,5 раза шире и находится в диапазоне до $\omega_\delta = 0,9328 \text{ rad}$.

Управление точностью воспроизведения частотных характеристик и точностью обработки для фильтра первого порядка $H_1 = k_1(1 - z^{-1})$ определяется простым аналитическим выражением для

определения коэффициента k и граничной частоты рабочего диапазона ω_δ [6], $k_1 = \frac{1 - \delta}{\text{sinc}(2\theta)}$,

$\omega_\delta = 2\theta$. Более сложные графо-аналитические зависимости получены для расчета дифференцирующего фильтра второго порядка. Следует отметить, что в зависимости от заданных значений погрешностей воспроизведения частотных характеристик обеспечивается максимально возможная рабочая полоса частот.

Выводы

Проведенный анализ достижимой точности воспроизведения частотных характеристик дифференцирующих фильтров, полученных на основе использования гарантирующего подхода, показал, что граница точности воспроизведения АЧХ определяется соотношением (2). Для систем реального времени рекомендованы простые передаточные функции рассматриваемых фильтров, которые при работе не теряют устойчивости и позволяют регулировать их точность, обеспечивая заданные динамические свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ситников В. С., Кисель А. Г. Аппаратное и программное обеспечение натурального эксперимента при проведении гидрофизических исследований // Акустика и ультразвуковая техника: Сб. научн.-тр. — К.: Техніка, 1992. — Вип. 27. — С. 46—50.
2. Петросян Р. В. Вимірювач частоти електричної мережі на базі цифрових фільтрів // Вісник ЖІТІ. — 2002. — № 3(22). — С. 78—80.
3. Ситников В. С., Полякова Д. А. Особенности применения интерполяционных полиномов для синтеза цифрового дифференцирующего фильтра // Збірник наукових праць НУК. — Миколаїв: НУК, 2005. — № 4(403). — С. 113—119.
4. Ситников В. С. Анализ критериев оценки частотных характеристик цифровых дифференцирующих фильтров для контура управления // Холодильна техніка і технологія. — 2003. — № 1(81). — С. 87—89.
5. Коломбет Е. А. Микроэлектронные средства обработки аналоговых сигналов. — М.: Радио и связь, 1991. — 376 с.
6. Ситников В. С., Брус А. А. Анализ устойчивости квазиидеального цифрового нерекурсивного дифференцирующего фильтра первого порядка. // Труды Одесск. политехн. ун-та. — Одесса: ОПУ, 2004. — Вып. 2(22). — С. 177—181.

Ситников Валерий Степанович — профессор кафедры компьютерных систем, **Литовченко Наталья Михайловна** — ассистент кафедры физики.

Одесский национальный политехнический университет