

УДК 621.311.22:658.012.001.24

## ПЕРЕСТРАИВАЕМАЯ КОМПОНЕНТА ПЕРВОГО ПОРЯДКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОЙ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

И. С. Петров, А. В. Ухина, к. ф.-м. н. Т. П. Яценко, д. т. н. В. С. Ситников

Одесский национальный политехнический университет  
Украина, г. Одесса  
petrov.igor.od@gmail.com, anyuta.uhina@inbox.ru, sitnvs@mail.ru

*Приведен анализ влияния коэффициентов цифровой передаточной функции первого порядка на АЧХ-компоненты при их изменениях. Показана особенность влияния для компонент разного типа, а также указана возможность раздельного и комплексного управления как нормированными, так и ненормированными компонентами.*

*Ключевые слова: цифровая компонента первого порядка, специализированная компьютерная система, ФНЧ, ФВЧ, передаточная функция, АЧХ.*

Наша повседневная жизнь постепенно наполняется всевозможными автономными малогабаритными аппаратами, предназначенными, например, для взятия проб воздуха и проведения анализа окружающей среды в регионах, недоступных для человека. К таким автономным мобильным платформам (АМП) можно отнести различные варианты беспилотных летательных аппаратов, наземных платформ, а также надводных и подводных аппаратов. Современные АМП – это сложные специализированные компьютерные системы (СКС), которые должны функционировать в сложных и неоднородных условиях. Для этого в АМП вводят модули искусственного интеллекта для оперативного управления. Это приводит к необходимости перестройки компонентов системы для обеспечения ее нормальной работы. Например, в квадрокоптерах имеются системы определения безопасной высоты, а у наземных платформ – устройства определения расстояния до препятствия.

Разработка таких компонент для СКС требует решения задачи анализа влияния коэффициентов передаточной функции компоненты на свойства амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), что и является целью данной работы.

В качестве компонент тракта предварительной обработки СКС рассмотрим широко используемые типовые цифровые фильтры. Известно, что компоненты высокого порядка для простоты настройки и управления строят на основе компонент первого и второго порядка. Поэтому анализ влияния коэффициентов передаточной функции цифрового фильтра на свойства его характеристик проведен на передаточной функции первого порядка вида

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1}}{1 + b z^{-1}}, \quad (1)$$

где  $a_0, a_1, b$  — действительные коэффициенты числителя и знаменателя.

При этом фильтру нижних частот (ФНЧ) соответствует передаточная функция (1) при коэффициенте числителя  $a_1 > 0$ , а фильтру верхних частот (ФВЧ) —  $a_1 < 0$ . Следует отметить, что коэффициенты числителя нормированных цифровых фильтров первого порядка равны, т. е.  $a_0 = |a_1|$ ,  $a_0 > 0$ .

Тогда передаточную функцию (1) можно записать в виде  $H(z) = a_0 \frac{1 \pm z^{-1}}{1 + b z^{-1}}$ , где «+» в числителе определяет ФНЧ, а «-» — ФВЧ.

При подстановке  $z^{-1} = e^{-j\bar{\omega}}$  или, по формуле Эйлера,  $z^{-1} = \cos \bar{\omega} - j \sin \bar{\omega}$ , где  $\bar{\omega}$  — нормиро-

ванная угловая частота,  $\bar{\omega} = 2\pi \frac{f}{f_d}$ ,  $\bar{\omega} \in [0, \pi]$ ,  $f, f_d$  — соответственно линейная частота и частота дискретизации, получим комплексный коэффициент передачи, а на его основе — АЧХ фильтров нижних и верхних частот.

Анализ АЧХ рассмотренных цифровых фильтров показал, что при разработке перестраиваемых частотно-зависимых компонент в зависимости от заданной частоты среза  $\bar{\omega}_c$  на уровне  $c$  можно однозначно найти значения коэффициентов числителя  $a_0$  и знаменателя  $b$ , а для нормированных фильтров найти необходимый коэффициент знаменателя  $b$ .

Для изменения коэффициента усиления компоненты достаточно изменить коэффициент числителя  $a_0$ , не изменяя коэффициент знаменателя  $b$ . При этом возможно линейное управление коэффициентом усиления за счет изменения коэффициента числителя  $a_0$ , что характерно для адаптивных фильтров.

При изменении коэффициента знаменателя  $b$  для ненормированных фильтров осуществляется перестройка как коэффициента усиления, так и частоты среза. Однако для изменения частоты среза при неизменной амплитуде необходима коррекция значения коэффициента усиления коэффициентом передаточной функции числителя  $a_0$  при новом значении коэффициента знаменателя  $b$  в соответствии с формулами  $a_0 = \frac{1+b}{2}$  (для ФНЧ) или  $a_0 = \frac{1-b}{2}$ ,  $|b| < 1$  (для ФВЧ).

Кроме того, можно отметить следующее: коэффициент числителя  $a_0$  на форму АЧХ не влияет, а только определяет уровень усиления АЧХ; коэффициенты знаменателя  $b$  для разных типов фильтров разные, кроме неполиномиальных фильтров; для одного и того же типа фильтра коэффициенты знаменателя  $b$  для ФНЧ и ФВЧ разные; неполиномиальные фильтры имеют одинаковый набор коэффициентов знаменателя  $b$ , а следовательно, и одинаковые АЧХ и ФЧХ. Характеристики фильтров первого порядка от показателя пульсаций в полосе задержания не зависят. Поэтому характеристики фильтра Чебышева и эллиптического фильтра при одинаковых значениях показателя пульсаций в полосе пропускания и частоте среза совпадают. Кроме того, при таком же значении показателя пульсаций в полосе задержания и той же частоте среза совпадают и характеристики инверсного фильтра Чебышева с характеристиками неполиномиальных фильтров; при коэффициенте знаменателя  $b=0$  ФНЧ становится усреднителем в соответствии с алгоритмом скользящего среднего по двум точкам  $H(z) = 0,5(1+z^{-1})$ , а ФВЧ — дифференциатором с точностью до коэффициента усиления в соответствии с алгоритмом разности по двум точкам  $H(z) = 0,5(1-z^{-1})$ .

Проведенный анализ позволяет значительно облегчить решение поставленной задачи проектирования частотно-зависимых компонент СКС с возможностью коррекции и перестройки характеристик компоненты и системы в целом.

I. S. Petrov, H. V. Ukhina, T. P. Yatsenko, V. S. Sytnikov

#### **Tunable first order component of specialized computer systems of autonomous mobile platforms.**

The authors analyze of the influence of coefficients of the first order digital transfer function on the amplitude-frequency characteristic. The influence features for the components of different types are shown, and the possibility of separate and complex control of both normalized and non-normalized component is indicated.

Keywords: *digital first order component, specialized computer systems, LPF, HPF, transfer function, frequency response.*