

ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ

И.Д. Яковлева, К.В. Зброжек. Оцінка динамічних характеристик перестроюваного цифрового фільтра. Визначено коефіцієнти передавальної функції фільтрів першого...четвертого порядку при зміні періоду дискретизації. Розглянуто вплив періоду дискретизації на тривалість перехідних процесів в цих фільтрах. Наведено рекомендації щодо вибору періоду перестроювання.

И.Д. Яковлева, К.В. Зброжек. Оценка динамических характеристик перестраиваемого цифрового фильтра. Определены коэффициенты передаточной функции фильтров первого...четвертого порядка при изменении периода дискретизации. Рассмотрено влияние периода дискретизации на длительность переходных процессов в этих фильтрах. Приведены рекомендации относительно выбора периода перестройки.

I.D. Jakovleva, K.V. Zbrozhek. Evaluation of dynamic characteristics of the tunable digital filter. Coefficients of the transmission function are determined for the filters of the first...fourth orders, with the sampling period changing. The influence of the sampling period on the duration of transient processes in these filters is studied. Recommendations on the choice of the alteration period are given.

В процессе функционирования системы автоматического управления, содержащей цифровой фильтр, возникает задача оперативной подстройки его характеристик к изменениям входного сигнала, например, частоты среза (резонанса), полосы пропускания [1]. Гибкость, присущая перестраиваемым цифровым фильтрам (ЦФ), широко используется в различных системах. Например, настройка пьезоэлектронного устройства ввода графической информации, использующего частотную манипуляцию [2], производится на одной частоте f_0 , а измерение координат на другой частоте $f_0 - \Delta f$. Поэтому применение в таких устройствах перестраиваемого ЦФ позволит сократить вдвое аппаратные затраты и повысит надежность измерения координат.

Проведено исследование влияния значения периода дискретизации T_0 на выбор коэффициентов передаточной функции $H(z)$, и переходные процессы в ЦФ первого...четвертого порядков. Даны рекомендации по выбору периода перестройки $T_{\text{пер}}$ ЦФ.

В общем виде передаточная функция ЦФ с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) [1]:

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_n z^{-n}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_m z^{-m}},$$

где a_i, b_i — коэффициенты ЦФ;
 z — комплексная переменная Z -плоскости.

С помощью билинейного z -преобразования, при частоте среза по уровню 3 дБ $f_c = 100$ Гц, были получены коэффициенты ЦФ a_i, b_i , а также полюса p_i при различных значениях периода дискретизации T_0 . Представлены данные для БИХ фильтров нижних частот (ФНЧ) первого...четвертого порядков (см. таблицу).

С использованием коэффициентов цифровых ФНЧ 1..4 порядков построены графики переходных процессов при различных значениях периода дискретизации. В качестве примера приведены графики переходных процессов цифровых ФНЧ второго порядка (рис. 1).

Кoeffициенты и полюса цифрового ФНЧ первого...четвертого порядков при разных T_0

Порядок ФНЧ	Период дискретизации T_0 , мс			
	0,5	1	2	4
1	$b_0=b_1=0,1367$ $a_1=-0,7265$ $p_1=0,7265$	$b_0=b_1=0,2452$ $a_1=-0,5095$ $p_1=0,5095$	$b_0=b_1=0,4208$ $a_1=-0,1584$ $p_1=0,1584$	$b_0=b_1=0,7548$ $a_1=0,5095$ $p_1=-0,5095$

2	$b_0=b_2=0,0201$ $b_1=0,0402$ $a_1=-1,5610$ $a_2=0,6414$ $p_{1,2}=0,7805\pm 0,1793i$	$b_0=b_2=0,0675$ $b_1=0,1349$ $a_1=-1,1430$ $a_2=0,4128$ $p_{1,2}=0,5715\pm 0,2936i$	$b_0=b_2=0,2066$ $b_1=0,4131$ $a_1=-0,3695$ $a_2=0,1958$ $p_{1,2}=0,1848\pm 0,4021i$	$b_0=b_2=0,6389$ $b_1=1,2779$ $a_1=1,1430$ $a_2=0,4128$ $p_{1,2}=-0,5715\pm 0,2936i$
3	$b_0=b_3=0,0029$ $b_1=b_2=0,0087$ $a_1=-2,3741$ $a_2=1,9294$ $a_3=-0,5321$ $p_{1,2}=0,8238\pm 0,2318i$ $p_3=0,7265$	$b_0=b_3=0,0181$ $b_1=b_2=0,0543$ $a_1=-1,7600$ $a_2=1,1829$ $a_3=-0,2781$ $p_{1,2}=0,6253\pm 0,3934i$ $p_3=0,5095$	$b_0=b_3=0,0985$ $b_1=b_2=0,2956$ $a_1=-0,5772$ $a_2=0,4218$ $a_3=-0,0563$ $p_{1,2}=0,2094\pm 0,5582i$ $p_3=0,1584$	$b_0=b_3=0,5276$ $b_1=b_2=1,5829$ $a_1=1,7600$ $a_2=1,1829$ $a_3=0,2781$ $p_{1,2}=-0,6253\pm 0,3934i$ $p_3=-0,5095$
4	$b_0=b_4=0,0004$ $b_1=b_3=0,0017$ $b_2=0,0025$ $a_1=-3,1806$ $a_2=3,8612$ $a_3=-2,1122$ $a_4=0,4383$ $p_{1,2}=0,7398\pm 0,0920i$ $p_{3,4}=0,8505\pm 0,2553i$	$b_0=b_4=0,0048$ $b_1=b_3=0,0193$ $b_2=0,0289$ $a_1=-2,3695$ $a_2=2,3140$ $a_3=-1,0547$ $a_4=0,1874$ $p_{1,2}=0,5243\pm 0,1458i$ $p_{3,4}=0,6605\pm 0,4433i$	$b_0=b_4=0,0466$ $b_1=b_3=0,1863$ $b_2=0,2795$ $a_1=-0,7821$ $a_2=0,6800$ $a_3=-0,1827$ $a_4=0,0301$ $p_{1,2}=0,5243\pm 0,1458i$ $p_{3,4}=0,6605\pm 0,4433i$	$b_0=b_4=0,4328$ $b_1=b_3=1,7314$ $b_2=2,5971$ $a_1=2,3695$ $a_2=2,3140$ $a_3=1,0547$ $a_4=0,1874$ $p_{1,2}=-0,5243\pm 0,1458i$ $p_{3,4}=-0,6605\pm 0,4433i$

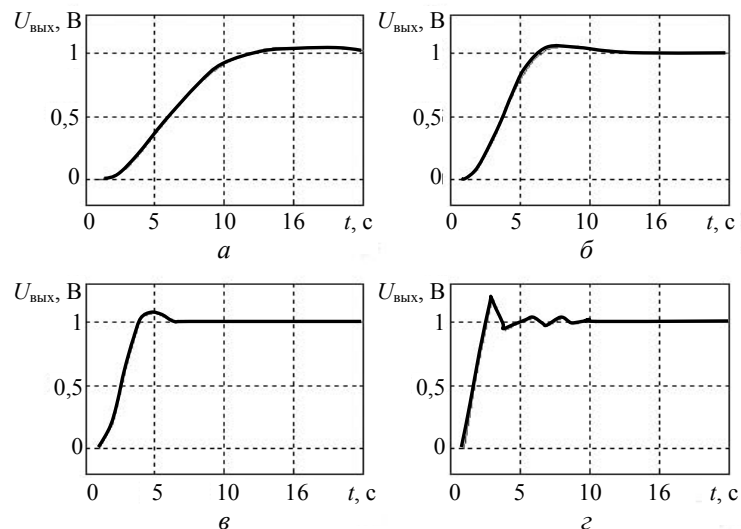


Рис. 1. Переходный процесс цифрового ФНЧ второго порядка
 $T_0 = 0,5(a)$; $1,0(б)$; $2,0(в)$; $4,0(г)$ мс

С изменением значений периода дискретизации T_0 изменяется время переходного процесса t_{95} , т.е. время, за которое величина выходного сигнала $U_{\text{ВЫХ}}$ достигнет 95 % установившегося значения, определенного ранее. Наименьшее время переходного процесса наблюдается для $T_0=2$ мс, при этом отношение частоты дискретизации $f_0=1/T_0$ к частоте среза f_c равно 5. Это справедливо и для фильтров 1 и 3 порядков.

Зависимость времени переходного процесса t_{95} от T_c/T_0 , где $T_c=1/f_c$ — период среза для фильтров первого...четвертого порядков, приведена на рис. 2.

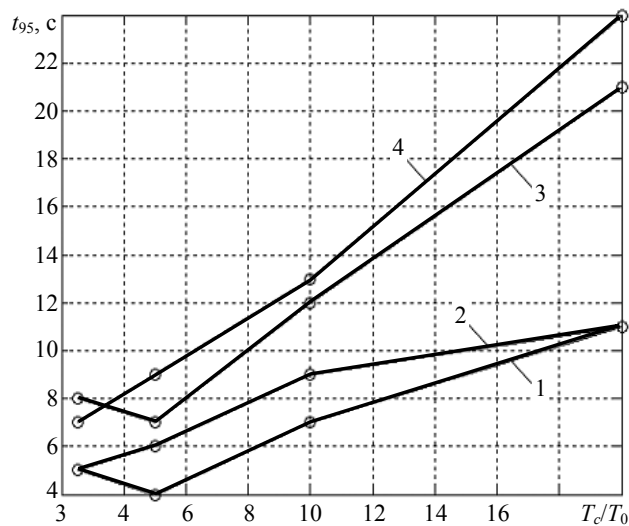


Рис. 2. Зависимость времени переходного процесса t_{95} от T_c/T_0 : 1, 2, 3, 4 — порядок фильтров

Зная соотношение T_c/T_0 , при котором наблюдается минимальное время переходного процесса, можно определить коэффициенты ЦФ. При этом полюса на единичной окружности Z — плоскости будут находиться близко к 0 (см. таблицу).

В процессе перестройки ЦФ крайне важно знать, через какие интервалы времени можно перестраивать фильтр. Длительность интервала времени перестройки определяется инерционными свойствами (постоянной времени) фильтра. Так как сигнал на входе фильтра дискретизирован, то в промежутке между входными импульсами выходной сигнал фильтра затухает по экспоненте

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{max}} e^{-t/\tau},$$

где U_{max} , В — максимальная амплитуда выходного сигнала;

t , с — время;

τ , с — постоянная времени фильтра.

Постоянная времени фильтра [3]

$$\tau = \frac{1}{\ln \alpha},$$

где α — модуль комплексного корня или модуль большего из двух действительных корней

$$\alpha_{\text{компл.}} = \sqrt{b_2}, \text{ при } b_2 > 0; \alpha_{\text{действ.}} = \max(|\alpha_1|, |\alpha_2|) = \left| \frac{a_1}{2} + \sqrt{\left| \frac{a_1}{2} \right|^2 - a_2} \right|.$$

Известно, что для фильтров второго порядка длительность переходного процесса t_{95} связана с периодом дискретизации T_0 соотношением [4]

$$\frac{t_{95}}{T_0} = 4,4 \dots 11,7, \quad (1)$$

где $t_{95} = 3\tau$ [5].

Зная T_0 , из соотношения (1) можно определить длительность переходного процесса t_{95} , которая должна быть меньше или равна периоду перестройки $T_{\text{пер}}$. Значение $T_{\text{пер}} < t_{95}$ может вызвать в системе нежелательный колебательный процесс.

Таким образом, определив передаточную функцию $H(z)$ конкретного перестраиваемого цифрового ФНЧ, можно найти минимальный период перестройки $T_{\text{пер}}$.

Литература

1. Айфитчер, Э.С. Цифровая обработка сигналов: практ. подход / Э.С. Айфитчер, Б.У. Джервис, пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Вильямс, 2004. — 992 с.

2. А.с. 1325536 СССР. Устройство для считывания графической информации / Д.П. Яковлев, Р.Г. Джагулов, С.А. Крыжановский, С.Д. Яковлев — Оpubл. 23.07.87 // Бюл. — 1987. — № 27.
3. Ограничения коэффициентов знаменателя цифрового фильтра для систем обработки сейсмосигналов / В.П. Малахов, В.С. Ситников, А.С. Бевз, Д.А. Полякова // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2002. — Спецвып. — С. 5 — 8.
4. Изерман, Р. Цифровые системы управления. / Р. Изерман: пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 541с.
5. Добровольский, И.Н. Теория электрических цепей: учеб. для техникумов. / И.Н. Добровольский. — М.: Радио и связь, 1989. — 472 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. мор. акад. Живица В.И.

Поступила в редакцию 7 сентября 2009 г.