

УДК 621.372.54

В.С. Ситников, д-р техн. наук, проф.,
И.Д. Яковлева, спеціаліст,
Т.Р. Цвек, магістр,
Одес. нац. політехн. ун-т

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕГО КОЭФФИЦИЕНТОВ

В.С. Ситников, И.Д. Яковлева, Т.Р. Цвек. Дослідження характеристик цифрового смугового фільтру при зміні його коефіцієнтів. Розглянуто структурну схему багатоканальної системи збору тензометричної інформації з включеним цифровим смуговим фільтром. Проведено теоретичні дослідження та моделювання фільтра при зміні його коефіцієнтів. Показано можливість лінійної перебудови центральної частоти зміною тільки одного коефіцієнта передавальної функції фільтра.

Ключові слова: багатоканальна система, тензометрична інформація, цифровий фільтр.

В.С. Ситников, И.Д. Яковлева, Т.Р. Цвек. Исследование характеристик цифрового полосового фильтра при изменении его коэффициентов. Рассмотрена структурная схема многоканальной системы сбора тензометрической информации с включенным цифровым полосовым фильтром. Проведены теоретические исследования и моделирование фильтра при изменении его коэффициентов. Показана возможность линейной перестройки центральной частоты изменением только одного коэффициента знаменателя передаточной функции фильтра.

Ключевые слова: многоканальная система, тензометрическая информация, цифровой фильтр.

V.S. Sytnikov, I.D. Yakovleva, T.R. Tsvek. The research of digital band pass filter features when changing its coefficients. A structural scheme of a multichannel tensometric data acquisition system with the included digital band pass filter has been examined. Theoretical research and filter modeling with changing its coefficients have been conducted. The ability of central frequency linear reconfiguration with only one transfer function nominator coefficient change has been shown.

Keywords: multichannel system, strain gauge data, digital filter.

Многоканальная система с частотным разделением каналов состоит, как правило, из датчиков, модуляторов и сумматора на передающей стороне, а также канальных фильтров, устройств обработки и отображения (в каждом канале) на приемной стороне [1]. Частотно-модулированный сигнал не искажается при прохождении через среду с неустойчивым сопротивлением (например, токосъемник); его легко преобразовать в цифровой код для дальнейшей обработки цифровыми методами.

Использование цифровых полосовых фильтров в качестве канальных фильтров сопровождается аппаратными затратами либо увеличением объема памяти при программной реализации систем сбора информации. Для сокращения перечисленных недостатков целесообразно заменить множество ЦПФ на перестраиваемый ЦПФ (ПЦПФ) (рис.1).

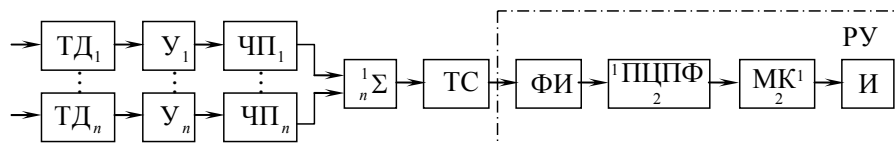


Рис. 1. Структурная схема многоканальной системы сбора тензометрической информации

Тензодатчики (ТД) наклеиваются на места вращающейся детали (например, зубья шестеренки), на которых необходимо измерить касательное напряжение.

Электрические напряжения с выходов тензодатчиков $TД_1 \dots TД_n$ усиливаются в усилителях $У_1 \dots У_n$ и преобразуются в частотных преобразователях $ЧП_1 \dots ЧП_n$ (модуляторах) в частотно-модулированные сигналы, частоты которых пропорциональны измеряемым касательным напряжениям. После выхода из сумматора Σ суммированный, сигнал передается через индуктивный токосъемник (ТС) на регистрирующее устройство (РУ), которое находится на неподвижном основании.

РУ состоит из последовательно соединенных формирователя импульсов (ФИ), ПЦПФ, управляемого микроконтроллером (МК), и индикатора (И), при этом второй выход МК подключен ко второму входу ПЦПФ.

При прохождении через ТС суммированный сигнал изменяется по амплитуде и форме, и задача ФИ восстановить его. Частота сигнала, которая несет информацию о состоянии $TД_1 \dots TД_n$, остается неизменной.

После ФИ сигнал обрабатывается ПЦПФ, и данные о касательных напряжениях с помощью МК выводятся на И.

Однако вопросам перестройки цифровых полосовых фильтров (ЦПФ) уделяется недостаточное внимание [1...2]. Поэтому проведено исследование характеристик и параметров ЦПФ 2-го порядка при перестройке коэффициентов его передаточной функции.

Передаточная функция рекурсивного ЦПФ [2]

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}, \quad (1)$$

где, как правило, коэффициенты $a_1 = 0$ и $a_0 = a_2$ и $b_0 = 1$, поэтому выражение (1) принимает вид:

$$H(z) = \frac{a_0(1 + z^{-2})}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}. \quad (2)$$

Для анализа характеристик фильтра определены амплитудно- и фазо-частотные характеристики (АЧХ, ФЧХ) фильтра.

На основе преобразования Эйлера путем замены z на $-j^2 \varpi$ и определен комплексный коэффициент передачи

$$H(e^{j\varpi}) = \frac{a_0(1 + e^{-j^2\varpi})}{1 + b_1 e^{-j\varpi} + b_2 e^{-j^2\varpi}}. \quad (3)$$

После разложения экспонент в выражении (3)

$$H(e^{j\varpi}) = \frac{[a_0(1 + \cos(2\varpi))] - j[a_0 \sin(2\varpi)]}{[1 + b_1 \cos(\varpi) + b_2 \cos(2\varpi)] - j[b_1 \sin(\varpi) + b_2 \sin(2\varpi)]}. \quad (4)$$

Выделением вещественных и мнимых частей получены АЧХ и ФЧХ соответственно

$$A(\varpi) = \sqrt{\frac{[a_0 + a_0 \cos(2\varpi)]^2 + [a_0 \sin(2\varpi)]^2}{[1 + b_1 \cos(\varpi) + b_2 \cos(2\varpi)]^2 + [b_1 \sin(\varpi) + b_2 \sin(2\varpi)]^2}}, \quad (5)$$

$$\varphi(\varpi) = \arctg \frac{b_1 \sin(\varpi) + b_2 \sin(2\varpi)}{1 + b_1 \cos(\varpi) + b_2 \cos(2\varpi)} - \varpi. \quad (6)$$

При $\varpi = 0$ и $\varpi = \Pi$ граничные значения $H(z)$

$$H(1) = \frac{2a_0}{1 + b_1 + b_2}; \quad H(-1) = \frac{2a_0}{1 - b_1 + b_2}. \quad (7)$$

Для перестройки центральной частоты F_z ЦПФ необходимо выяснить, как на АЧХ влияют изменения его коэффициентов.

В качестве примера рассмотрим рекурсивный ЦПФ 2-го порядка с частотой дискретизации $F_s=1000$ Гц, центральной частотой $F_z=250$ Гц, полосой пропускания $\Delta F=F_{c2}-F_{c1}=100$ Гц, где F_{c2} и F_{c1} — граничные частоты, и коэффициентами $a_0=a_2=0,2452$; $a_1=0$; $b_0=1$; $b_1=0$; $b_2=0,5092$.

Рассчитаны параметры ЦПФ при изменении в выражении (2) коэффициента a_0 с шагом $\pm 0,05$. Коэффициенты b_1 и b_2 остаются неизменными (табл. 1), F_{c1} и F_{c2} — частоты АЧХ, определенные на уровне 0,707 амплитуды $H(z)$.

Таблица 1

Параметры ЦПФ при изменении коэффициента a_0

a_0	F_{c1} , Гц	F_{c2} , Гц	$\Delta F=F_{c2}-F_{c1}$, Гц	F_z , Гц	$Q=F_z/\Delta F$	$H(z)$, дБ
0,1952	190,43	309,57	119,14	250	2,10	0,796
0,2452	200,00	300,00	100,00	250	2,50	1
0,2952	207,03	292,97	85,94	250	2,91	1,203
0,3452	210,94	289,06	78,13	250	3,2	1,408

После расчетов определены зависимости центральной частоты F_z и полосы пропускания ΔF от коэффициента a_0 (рис.2).

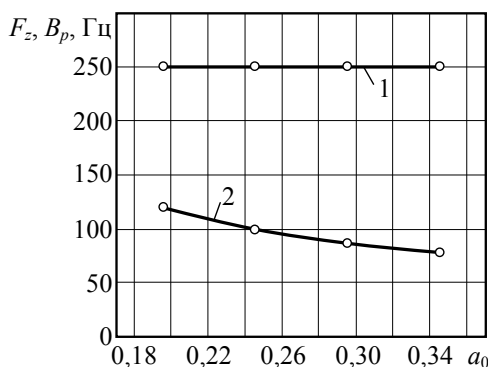
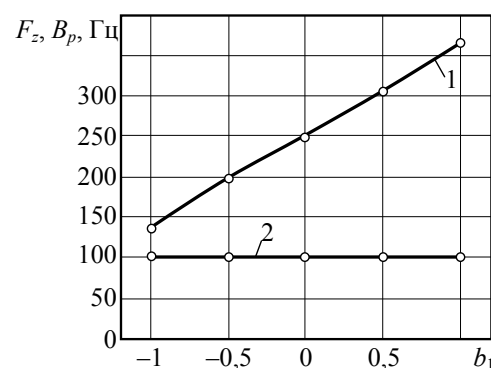
Изменение коэффициента числителя a_0 передаточной функции $H(z)$ (2) приводит к изменению амплитуды $H(z)$ при сохранении значения центральной частоты F_z . Полоса пропускания ΔF уменьшается с 120 до 78 Гц. Рассчитаны параметры ЦПФ при изменении в выражении $H(z)$ (2) коэффициента b_1 с шагом $\pm 0,5$. Коэффициенты b_2 и a_0 остаются неизменными (табл. 2).

Таблица 2

Параметры ЦПФ при изменении коэффициента b_1

b_1	F_{c1} , Гц	F_{c2} , Гц	$\Delta F=F_{c2}-F_{c1}$, Гц	F_z , Гц	$Q=F_z/\Delta F$	$H(z)$, дБ
-1,0	91,80	191,40	99,61	134,76	1,35	1,0
-0,5	149,41	248,05	98,63	196,29	1,99	1,0
0,0	200,00	300,00	100,00	250	2,50	1,0
0,5	251,95	350,59	98,64	303,71	3,07	1,0
1,0	308,59	408,20	99,61	365,23	3,67	1,0

После расчетов получены графики зависимости центральной частоты F_z и полосы пропускания от коэффициента b_1 (рис. 3).

Рис.2. Зависимости центральной частоты F_z (1) и полосы пропускания ΔF (2) от коэффициента a_0 Рис. 3. Зависимости центральной частоты F_z (1) и полосы пропускания ΔF (2) от коэффициента b_1

При неизменной амплитуде функции $H(z)$ (2) центральная частота F_z линейно зависит от коэффициента b_1 . Полоса пропускания ΔF при этом изменяется незначительно — с 98,63 до 100 Гц. Рассчитаны параметры ЦПФ при изменении в выражении (2) коэффициента b_2 с шагом $\pm 0,1$, коэффициенты b_1 и a_0 остаются неизменными (табл. 3).

Таблица 3

Параметры ЦПФ при изменении коэффициента b_2

b_2	F_{c1} , Гц	F_{c2} , Гц	$\Delta F = F_{c2} - F_{c1}$, Гц	F_z , Гц	$Q = F_z / \Delta F$	$H(z)$, дБ
0,3095	150,39	349,61	199,22	250	1,25	0,48
0,4095	177,73	322,26	144,53	250	1,73	0,54
0,5095	200,00	300,00	100,00	250	2,50	1,0
0,6095	218,75	281,25	62,5	250	4	1,26
0,7095	232,42	267,58	35,16	250	7,11	1,69

После расчетов определены зависимости центральной частоты и полосы пропускания ΔF от коэффициента b_2 (рис. 4).

Изменение коэффициента b_2 знаменателя функции $H(z)$ (2) приводит к существенному изменению полосы пропускания ΔF (с 200 до 35 Гц) и амплитуды $H(z)$ (с 0,48 до 1,7), при неизменной центральной частоте F_z (см. таблицу 3).

Проверка ЦПФ на устойчивость показала, что в процессе изменений коэффициентов a_0 , b_1 и b_2 оба корня $H(1)$, $H(-1)$ находятся внутри единичной окружности, т.е. фильтр устойчив [1].

Полученные результаты показали, что возможно раздельное управление амплитудой, центральной частотой F_z и полосой пропускания ΔF ЦПФ, а так же возможна линейная перестройка центральной частоты F_z изменением только одного коэффициента b_1 знаменателя передаточной функции фильтра при неизменной амплитуде H_z и сохранении полосы пропускания ΔF .

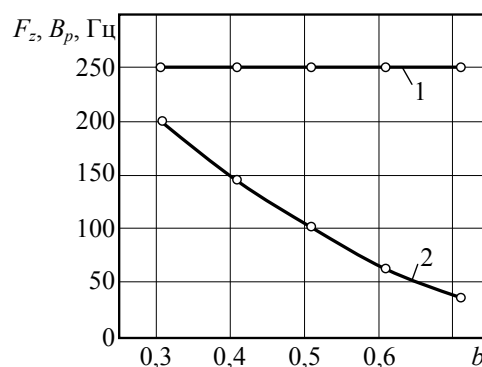


Рис. 4. Зависимости центральной частоты F_z (1) и полосы пропускания ΔF (2) от коэффициента b_2

Литература

1. Гуров, И.П. Основы теории информации и передачи сигналов. / И.П. Гуров — СПб.: BHV. Санкт-Петербург, 2000. — 97 с.
2. Айфитчер, Эммануил С. Цифровая обработка сигналов: практический подход / С. Эммануил Айфитчер, У. Джервис Барри. — 2-е изд.: Пер. с англ. — М.: Изд. дом “Вильямс”, 2004. — 992 с.

References

1. Gurov, I.P. Osnovy teorii informatsii i peredachi signalov [Fundamentals of information theory and signal transmission] / I.P. Gurov — St. Petersburg, 2000. — 97 p.
3. Ayfitcher, Emmanuel S. Dzhervis Tsifrovaya obrabotka signalov: prakticheskiy podkhod, 2-e izdanie [Digital Signal Processing: A Practical Approach, 2nd edition] / Emmanuel C. Ifeachor, Barrie W. Jer-vis: Trans. from English. — Publishing House “Williams”, 2004. — 992 p.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. акад. пищевых технологий Хобин В.А.

Поступила в редакцию 21 октября 2013 г.