

АНАЛІЗ ФАЗОВО-ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ОДНОТИПНИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОРЯДКУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ДАТЧИКІВ

Т. В. Ситніков, І. В. Бадерко, к. т. н. А. О. Біленко, д. т. н. В. С. Ситніков

Національний університет «Одеська політехніка»

Україна, м. Одеса

sitnikov@op.edu.ua

Розглядається питання лінійності фазово-частотної характеристики (ФЧХ) при підвищенні добротності амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) послідовно з'єднаних однотипних основних смугових фільтрів другого порядку. Показано, що при такому з'єднанні отримаємо більш лінійну ФЧХ за досить обмежених витрат. Застосувати такий підхід на практиці можна при використанні ПЛІС або програмним чином.

Ключові слова: смугові цифрові фільтри, АЧХ, ФЧХ, добротність характеристики, послідовне з'єднання, однотипні основні фільтри.

Розвиток автономних мобільних платформ з обмеженими ресурсами вимагає від розробника використання нових підходів для виконання в таких умовах функціональних завдань. Це обумовлює використання сучасних концепцій Індустрія 4.0-6.0 [1].

Цифровий тракт обробки сигналів датчиків містить в основному різні частотно-залежні компоненти. В автономних мобільних системах він будується на основі компонентів низького порядку, що обумовлено малими витратами на обчислення коефіцієнтів передавальної функції та кількості коефіцієнтів, простотою налагодження або перебудови, помірним енергоспоживанням та часом обробки. Однак при роботі у реальному часі є обмеження на обчислення, перебудову та перехідний процес роботи нової конфігурації тракту. Тому як компоненти низького порядку часто використовуються компоненти першого та другого порядку. Типовими задачами при функціонуванні тракту обробки є зміна частоти зрізу або смуги пропускання компонента, підвищення добротності амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) та забезпечення квазілінійності фазово-частотної характеристики (ФЧХ).

У разі послідовного з'єднання однотипних компонентів їхні передавальні функції перемножуються. Оскільки передавальні функції складаються з АЧХ та ФЧХ, а компоненти є однотипними, при послідовному з'єднанні компонентів перемноження перетворюється у піднесення до степеня, а АЧХ та ФЧХ трансформуються, відповідно, таким чином: АЧХ підноситься до степеня, а ФЧХ помножується на показник степеня.

Метою цієї роботи є проведення аналізу фазово-частотної характеристики при послідовному з'єднанні однотипних частотно-залежних компонентів при підвищенні добротності АЧХ. Розглядатимемо це на прикладі смугових цифрових фільтрів, оскільки вони мають широке застосування у трактах обробки сигналів датчиків [2].

При послідовному з'єднанні однотипних смугових передавальних функцій їхня основна АЧХ стискається, при цьому частоти зрізу зсуваються до центральної частоти, яка не зміщується, і добротність АЧХ зростає.

Передавальна функція $H(Z)$ основного смугового фільтра математично описується п'ятьма коефіцієнтами: два у знаменнику (b_1, b_2) та три у чисельнику (a_0, a_1, a_2), але оскільки $a_2 = a_0$ та $a_1 = 2$, необхідно розраховувати тільки три (a_0, b_1, b_2):

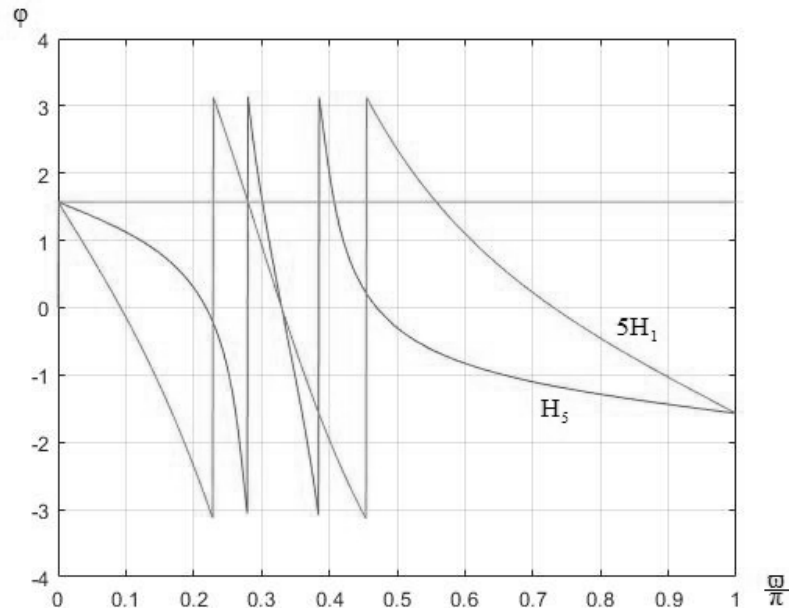
$$H(z) = \frac{a_0 + 2Z^{-1} + a_0Z^{-2}}{1 + b_1Z^{-1} + b_2Z^{-2}}. \quad (1)$$

ФЧХ такого фільтра з передавальною функцією (1) має такий вигляд:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b_1 + (b_2 + 1) \cos \bar{\omega}}{(1 - b_2) \sin \bar{\omega}}, \quad (2)$$

де $\bar{\omega} = 2\pi f / f_d$, $\bar{\omega} \in [0, \pi]$ — відносна частота;
 f, f_d — лінійна частота та частота дискретизації відповідно.

Послідовне з'єднання однотипних фільтрів приводить до квазілінійності ФЧХ в порівнянні з аналогічними фільтрами прямого розрахунку (див. рисунок).



Графік порівняння ФЧХ з'єднання п'яти однотипних фільтрів з передавальною функцією (1) ($5H_1$ — 10-й порядок нового фільтра) та ФЧХ фільтра 5-го порядку прямого розрахунку (H_5)

Таким чином, аналіз ФЧХ послідовного з'єднання однотипних компонентів показав, що ФЧХ нового з'єднання є значно більш лінійною в порівнянні з ФЧХ прямого розрахунку необхідного порядку.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Ситніков Т. В., Біленко А. О., Ситніков В. С. Застосування однотипних фільтрів для підвищення порядку обробки сигналів. *Труди 24-ї МНПК «Сучасні інформаційні та електронні технології»*, Україна, м. Одеса, 2023, с. 15–17.
2. Sytnikov T., V. Sytnikov, Streltsov O., Stupen P. Increasing order of digital filters of the same type in robotic systems. *IEEE 12th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)*, 2023, p. 1200–1204. <https://doi.org/10.1109/IDAACS58523.2023>

T. V. Sytnikov, I. V. Baderko, A. O. Bilenko, V. S. Sytnikov

Analysis of the phase-frequency characteristics using uniform filters to improve the processing procedure of sensor signals

The study considers the issue of obtaining a quasi-linear phase-frequency characteristic (PFC) while increasing the Q -factor of the amplitude-frequency characteristic (AFC) series connected same basic bandpass filters of the second order. It is shown that this approach allows to obtain a more linear PFC with rather limited resources. Application of this approach in practice is possible when using FPGA or software.

Key words: bandpass digital filters, frequency response, frequency response, Q characteristic, serial connection, basic filters of the same type.