

УДК 316.472.4:005.745(045)

Ситніков Т.В.¹, Босовський В.О.¹, Чмелевський А.М.¹, Ситніков В.С.²

¹ асп. НУ «Одеська політехніка»

² проф. НУ «Одеська політехніка»

КОРЕКЦІЯ ФАЗИ СИГНАЛІВ ДАТЧИКІВ У АВТОНОМНІЙ МОБІЛЬНІЙ ПЛАТФОРМІ

Автономні мобільні платформи, як різновид робототехнічних систем, сьогодні використовуються у різних сферах діяльності людини. Такі платформи характеризуються великою кількістю різних датчиків та виконавчих механізмів, апаратних та програмних засобів обчислювальної техніки, які забезпечують функціонування платформи та виконання необхідних задач. Функціонування платформи ускладнюється наявністю перешкод та спотворень навколишнього середовища. Отже, відповідно до концепцій Industry 4.0-6.0 вони повинні мати можливість підстроювання під зміни навколишнього оточення.

В такому випадку розробники компонентів автономної мобільної платформи повинні будувати компоненти, які можуть змінювати свої характеристики та коректувати характеристики інших пристроїв. Наприклад,

змінювати характеристики каналу обробки сигналів датчиків, виконувати корекцію амплітудних та фазових спотворень за рахунок використання амплітудних та фазових коректорів, які є фільтрами зі специфічними характеристиками. Зупинимось на застосуванні фазових коректорів для мобільних платформ.

Фазові коректори або все-пропускаючі фільтри, це фільтр який пропускає всі частоти сигналу з рівним посиленням, однак він змінює фазу сигналу [1]. Вони часто використовуються для корекції фази у каналі обробки сигналів датчиків для компенсації фазових спотворень.

Для формування таких властивостей фазові фільтри мають передавальну функцію в якій знаменник описується поліномом Гурвіца $Q(p)$, а чисельник його - пов'язаним поліномом. Тобто, якщо p_k - корінь знаменника, то $(-p_k)$ - нуль чисельника:

$$K(p) = \frac{Q(-p)}{Q(p)}$$

Для цифрових фазових фільтрів використовується відповідний аналог полінома Гурвіца. При цьому, наприклад, для цифрового фазового фільтру першого порядку нуль і полюс лежать на дійсній осі z-площині, так що модуль полюса має значення $r < 1$, а модуль нуля дорівнює зворотному значенню $\frac{1}{r}$. Таким чином, нуль компенсує вплив полюса і тому АЧХ дорівнює одиниці на всьому діапазоні частот.

Фаза для цифрового фазового фільтру першого порядку має наступний вигляд:

$$\varphi(\bar{\omega}) = -\arctg \frac{(1-b_1^2) \sin(\bar{\omega})}{2b_1 + (1+b_1^2) \cos(\bar{\omega})},$$

де b_1 - коефіцієнт знаменника передавальної функції першого порядку.

Слід відмітити, що чим ближче коефіцієнт b_1 до одиниці, тим сильніше виконується корекція фази.

Побудова таких фільтрів не проста задача [1, 2]. Тому для мобільної платформи необхідні більш прості методи побудови таких фільтрів.

Автори запропонували використовувати цифрові фільтри низьких та високих частот першого порядку. Передавальні функції таких нормованих фільтру низьких частот $H_L(z)$ та високих частот $H_H(z)$ мають наступний вигляд:

$$H_L(z) = \frac{a_L + a_L z^{-1}}{1 + b_1 z^{-1}},$$

$$H_H(z) = \frac{a_H - a_H z^{-1}}{1 + b_1 z^{-1}}.$$

Тоді передавальну функцію фазового фільтру можна отримати за рахунок їх різниці

$$H_F(z) = H_L(z) - H_H(z) \quad (1)$$

В такому випадку формуються необхідні поліноми чисельника і знаменника, а фаза визначається наступним чином

$$\varphi_1(\bar{\omega}) = \arctg \frac{(ab_1 - d) \sin(\bar{\omega})}{(a + db_1) + (ab_1 + d) \cos(\bar{\omega})},$$

де $a = a_L - a_H$, $d = a_L + a_H$.

Для підвищення порядку доцільно елементарну передавальну функцію $H_F(z)$ з (1) помножувати один на одного або зводити у відповідний ступінь, тобто

$$(H_F(z))_n = \prod_{i=1}^n H_{Fi}(z) = (H_F(z))^n.$$

В такому випадку фаза змінюється в співвідношенні

$$\varphi_n(\bar{\omega}) = n\varphi_1(\bar{\omega}),$$

де $\varphi_1(\bar{\omega})$ - фаза фазового коректора першого порядку.

Для практичної реалізації запропоновано структурну схему вузла корекції, в якій сигнал надходить на два канали. В першому з'єднані n елементарних ФНЧ фільтрів, в другому - n елементарних ФВЧ фільтрів. Виходи кожного з фільтрів такого з'єднання у кожному каналі поступають на комутатор, який в залежності від функціонування тракту та спотворення сигналу комутує виходи необхідної кількості елементарних фільтрів на суматорі, який виконує віднімання відповідно до співвідношення (1). Таким

чином, формується АЧХ та ФЧХ нового з'єднання, яке еквівалентно фазовому фільтру відповідного порядку. При цьому частота зрізу ФНЧ и ФВЧ стає управляючим параметром корекції фази. Однак, відомо що при помноженні передавальних функцій АЧХ ФНЧ зсувається в область низьких частот, а АЧХ ФВЧ - у область високих частот, що тим паче дозволяє сформулювати АЧХ фазового фільтру.

Слід відмітити, що на борту автономної мобільної платформи обмежені енергетичні ресурси. Тому таке рішення не дуже вдало з точки зору енергоспоживання, оскільки водночас будуть підключені $2n$ фільтрів, але з іншої сторони при такої реалізації зменшується перехідний процес, оскільки фільтри вже підключені, а комутатор тільки підключає необхідні сигнали для формування корекції. В такому випадку необхідно вирішувати це протиріччя та формувати канал корекції.

Однак, таке рішення можливо побудувати на ПЛІС, яке буде запрограмоване заздалегідь і імплементовано до тракту обробки, та дозволяє в залежності від функціонування платформи автоматично по критерію спотворення змінювати конфігурацію каналу обробки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Mitra S. Digital signal processing. McGraw-Hill, 2001, 866 p.
2. Krstic I. Design of allpass-based IIR multi-notch filters with identical pole radiuses. Serbian Journal of Electrical Engineering, Vol. 20, No. 1, February 2023, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.2298/SJEE2301001K>