

ЗАСТОСУВАННЯ ОДНОТИПНИХ ФІЛЬТРІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПОРЯДКУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Т. В. Ситніков, 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 підвищення крутизни характеристики амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) послідовно з'єднаних однотипних основних смугових фільтрів другого порядку. Запропоновано новий підхід визначення частот зрізу нового з'єднання на підставі відомої АЧХ основного фільтра. Застосування такого підходу на практиці можливе у разі використання ПЛІС або програмним чином.

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

Розвиток технічних систем на сучасному рівні обумовлений концепцією Індустрія 4.0. Відповідно до цієї концепції, системи та їхні апаратно-програмні компоненти мають відповідати новим вимогам щодо мобільності, гнучкості, адаптивності, пристосованості до умов функціонування [1]. Для досягнення цього системи оснащуються багатофункціональними датчиками, апаратними та програмними компонентами обчислювальної техніки, які працюють у реальному часі. Подальший розвиток таких систем йде в напрямку гуманізації прийняття рішення та дружнього контакту з людиною відповідно до концепції Індустрія 5.0 [2].

Таким чином, радіотехнічні системи необхідно оснащувати компонентами, які можуть перебувати власні характеристики програмними або апаратними засобами залежно від умов функціонування, а у тракці обробки сигналів — від перешкодо-сигнальних обставин для підвищення надійності та ефективності роботи у цілому [3—5].

Цифровий тракт обробки сигналів в основному містить різні частотозалежні компоненти. Його побудова в автономних мобільних системах виконується на основі компонентів низького порядку, що обумовлено малими витратами на обчислення коефіцієнтів передавальної функції та кількості коефіцієнтів, простотою налагодження або перебудови, помірним енергоспоживанням та часу обробки. Слід зазначити, що при роботі у реальному часі є обмеження на обчислення, перебудову та перехідний процес роботи нової конфігурації тракту. Тому компонентами низького порядку найчастіше є компоненти першого та другого порядку. Типовими задачами є зміна частоти зрізу або смуги пропускання компоненти, підвищення крутизни спаду амплітудно-частотної характеристики. Слід зазначити, що до загального визначення частотозалежних компонентів системи включають як типові ланки систем управління, так і фільтри.

При послідовному з'єднанні передавальних функцій однотипних компонент їхні передавальні функції перемножуються. Оскільки передавальні функції складаються з амплітудно-частотної (АЧХ) та фазочастотної (ФЧХ) характеристик, а компоненти є однотипними, то при послідовному з'єднанні таких компонентів їх перемноження перетворюється у піднесення у ступень, а їхні АЧХ и ФЧХ трансформуються таким чином: АЧХ підноситься до ступеня, а ФЧХ помножується на показник ступеня, тобто при такому з'єднанні основні зміни відбуваються з АЧХ.

Метою цієї роботи є удосконалення підходу до розрахункових формул послідовного з'єднання однотипних частотозалежних компонентів для підвищення крутизни спаду АЧХ. Розглянемо це на прикладі смугових цифрових фільтрів, оскільки вони мають широке застосування у тактах обробки сигналів.

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

Передавальна функція основного смугового фільтра математично описується п'ятьма коефіцієнтами:

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

два у знаменнику та три у чисельнику, але при цьому $a_2 = a_0$ та $a_1 = 2$. Це дозволяє проводити розрахування тільки трьох коефіцієнтів — a_0, b_1, b_2 , і тоді

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

На підставі формул Ейлера та перетворень одержуємо математичне описання АЧХ. Зазвичай рівень, на якому визначають частоту зрізу, дорівнює 0,707. У разі перемноження однотипних АЧХ або піднесення до ступеня цей рівень залишається попереднім, але тоді для визначення частот зрізу нових АЧХ необхідно добувати корінь відповідного порядку з цього рівня. В цьому випадку за АЧХ основного фільтра можна визначити частоти зрізу нової АЧХ на рівні добутого кореня з початкового рівня.

Для визначення частот зрізу нової АЧХ після з'єднання n однотипних фільтрів за основною АЧХ необхідно вирішити два рівняння на основі АЧХ основного фільтра при старих частотах зрізу та невідомих для нового з'єднання.

Таким чином, аналіз АЧХ послідовного з'єднання однотипних компонент дозволив одержати новий підхід для обчислення точних значень частот зрізу. Це дозволяє оперативно обчислювати необхідне «стискання» АЧХ, а при обмежених обчислювальних можливостях скористатися попередніми розрахунками у вигляді таблиць значень. Такий підхід дозволяє в автоматичному режимі підвищити захищеність обробки сигналів за наявності перешкод.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Grangel-González I. et al. The industry 4.0 standards landscape from a semantic integration perspective, 2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Limassol, Cyprus, 2017, pp. 1–8, <https://doi.org/10.1109/ETFA.2017.8247584>
2. Adel Amr. Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. Journal of Cloud Computing, 2022, vol. 11, article number 40, <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00314-5>
3. Zhuravska I., Musyienko M., Tohoiev O. Development the heat leak detection method for hidden thermal objects by means the information-measuring computer system. CEUR Workshop Proceedings, 2019, 2353, pp. 350–364.
4. Ukhina H., Sytnikov V., Streltsov O. et al. application of the computer system component with adjustment elements for processing sensor signals. Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2021, 2021, 1, pp. 12–17, Cra-cow, Poland. <https://doi.org/10.1109/IDAACS53288.2021.9660992>
5. Afanasyev I., Sytnikov V., Strelsov O., Stupen P. The Applying of low order frequency-dependent components in signal processing of autonomous mobile robotic platforms. Lecture Notes in Networks and Systems, 2022, vol. 507 LNNS, pp. 882–891. https://doi.org/10.1007/978-3-031-10464-0_61

T. Sytnikov, A. Bilenko, V. Sytnikov

Application of same-type filters to improve the order of signal processing

The authors consider the issue of increasing the slope of the amplitude-frequency characteristic (AFC) of series connected same-type basic bandpass filters of the second order. The paper proposes a new approach to determining the cutoff frequencies for a new connection based on the known AFC of the main filter. This approach can be applied in practice when using FPGA or software.

Key words: bandpass digital filters, AFC, characteristic slope, series connection, same-type basic filters, calculation.