

**АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

- [11] Golinko I.M. Dinamichna model teplomasoobminnih protsesiv u kameri forsunochnogo zvolozhennya / I.M. Golinko, A.I. Kubrak, I.E. Galitska // Informatsiyi sistemi, mehanika ta keruvannya. 2014. № 11, S. 61–71.;
- [12] Golinko I.M. Kompleksna dinamichna model promislavogo konditsionera iz forsunochnim zvolozhuvachem u prostori stanu / I.M. Golinko, I.E. Galitska // Girotehnologii, navigatsiya, keruvannya ruhom i konstruyuvannya aviatsiyno;
- [13] kosmichnoyi tehniki: zbirka dopovidey Н Mizhnarodnoyi naukovо-praktichnoyi konferentsiyi, 16 - 17 kvitnya 2015 r., - Kiyiv, 2015. S. 201-207.;
- [14] Katalog. VENTUS – ventilyatsionnye agregaty i tsentralnye konditsioneryi. –М.: VTSGroup, 2003. –156 с.;
- [15] Kuo B. Teoriya i proektirovanie tsifrovyyh sistem upravleniya: per. s angl. –М.: Mashinostroenie, 1986. –448 s.;
- [16] Rey U. Metody upravleniya tehnologicheskimi protsessami / U. Rey. –М.: Mir, 1983. –368 s.;
- [17] Golinko I.M. Analiz sistemi keruvannya dlya promislavogo konditsionera iz parozvolozhuvachem / I.M. Golinko, V.G. Tregub // Shidno-Evropeyskiy zhurnal peredovih tehnologiy. –2012, № 6/8(60). –S. 14–18.;
- [18] Krasnov Yu.S. Sistemy ventilyatsii i konditsionirovaniya / Yu.S. Krasnov, A.P. Borisoglebskaya, A.V. Anti-pov. – М.: TermoKul, 2004. –373 s.

Отримано в редакцію: 09.01.2016 р./ Прийнято до друку: 11.01.2016 р./ Received by edition: 09.01.2016. Approved for the press: 11.01.2016

УДК 378.147:621.372.542/.544

АПРОКСИМАЦИЯ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ

Linearization in a digital filter control characteristic problem for a specialized computer system

Ухина А.В.¹, к.физ-мат.н., доц. Яценко Т.П.², д.т.н., проф. Ситников В.С.³ (Ukhina H.V., Yatsenko T.P., Sytnikov V.S.1)

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

¹E-mail: anyuta.uhina@inbox.ru

²E-mail: kuwtat@ukr.net

³E-mail: sitnvs@mail.ru

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Аннотация

Определены зависимости, которые можно использовать для получения линейной характеристики управления АЧХ при аппроксимации характеристики. Показана возможность такого управления.

Abstract

Определены зависимости, которые можно использовать для получения линейной характеристики управления

**АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ**

АЧХ при аппроксимации характеристики. Показана возможность такого управления.

Ключевые слова

Аппроксимация, первичная обработка сигналов, метод «трубы», метод «веера», коэффициенты передаточной функции.

Введение

Специализированные компьютерные системы (СКС) активно внедряются в различные сферы жизнедеятельности человека. Они предназначены для сбора и обработки информации от датчиков, принятия решения и выработки управляющего воздействия на объект управления или соответствующие механизмы. Для повышения эффективности подобных систем необходимо управлять характеристиками перестраиваемых частотно-зависимых компонент. Например, в большинстве СКС имеются компоненты предварительной обработки и фильтрации входных сигналов, в состав которых наиболее часто входят цифровые фильтры. Для этой цели чаще всего рекомендуется использовать полиномиальные цифровые фильтры, отличительной особенностью которых является плоская амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) в полосе пропускания. К их числу относятся известные фильтры Бесселя, Баттерворта и Чебышева второго рода [1-3].

За счет изменения коэффициентов числителя и знаменателя передаточной функции возможно как комплексное, так и раздельное управление характеристиками фильтра [4]. Однако в большинстве случаев для повышения их эффективности и плавного управления необходима линейная характеристика управления АЧХ устройства фильтрации. Обычно фильтры высокого порядка реализуются за счет соединения фильтров низкого порядка для обеспечения независимой перестройки характеристик.

Изложение

Анализ влияния коэффициентов передаточной функции цифрового фильтра на АЧХ проведен по передаточной функции первого порядка

$$H(z) = \frac{a_0 \pm a_1 z^{-1}}{1 + b z^{-1}}, \quad (1)$$

где a_0 , a_1 , b – соответственно действительные коэффициенты числителя и знаменателя, \pm – в числителе соответствуют ФНЧ (+) и ФВЧ (-).

Для фильтров первого порядка коэффициенты числителя в общем случае равны ($|a_0|=|a_1|$) и являются коэффициентом усиления $k=|a_0|=|a_1|$. Тогда передаточную функцию (1) для фильтра нижних частот (ФНЧ) можно записать в виде:

$$H(z) = k \frac{1 \pm z^{-1}}{1 + b z^{-1}} \quad (2)$$

Из (2) следует, что линейное управление АЧХ возможно коэффициентом усиления k за счет изменения коэффициентов числителя, что характерно для адаптивных фильтров. Однако, для уменьшения влияния шума на полезную составляющую сигнала при обработке необходима перестройка частоты среза фильтра.

В работах [4, 5] показаны возможные пути перестройки АЧХ ФНЧ и ФВЧ, а также трудности перестройки, вызванные тем, что коэффициенты числителя и знаменателя нелинейно зависят от частоты.

Для линеаризации характеристики управления АЧХ необходимо знание рабочего диапазона управления и заданной точности линеаризации. В большинстве случаев при высокой точности линеаризации диапазон управления разбивается на участки линейного управления, т.е. осуществляется кусочно-линейная аппроксимация. Полученная, таким образом, система линейных уравнений с ограничениями используется СКС для перестройки АЧХ цифрового фильтра.

Следует отметить, что при управлении цифровым фильтром необходимо осуществлять перестройку частоты среза с целью уменьшения влияния помех на полезную составляющую входного сигнала. В работе [5] получена зависимость нормированной частоты среза $\overline{\omega}_c$ ФНЧ в зависимости от коэффициента b знаменателя передаточной функции фильтра Чебышева второго рода и уровня пульсаций в полосе задержания RS (в dB), рис. 1



АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

$$\overline{\omega}_c = \arccos \left(- \frac{1 - 2c^2 \frac{1+b^2}{(1+b)^2}}{1 - 4c^2 \frac{b}{(1+b)^2}} \right), \quad (3)$$

где $c^2 = \frac{1}{\sqrt{10^{0.1RS}}}$, $\overline{\omega}_c = 2\pi \frac{f}{f_d}$, $\overline{\omega}_c \in [0, \pi]$, f , f_d – соответственно текущая линейная частота и частота

дискретизации.

В работе [5] для аппроксимации приведенных зависимостей разработан алгоритм, который основан на Чебышевской аппроксимации [6]. На основе анализа характера аппроксимируемой зависимости алгоритм выбирает направление аппроксимации либо с начала кривой, либо с ее конца.

Наиболее важным участком алгоритма аппроксимации считается блок, в котором происходит определение граничной точки между двумя участками аппроксимации. На каждой итерации происходит смещение конечной точки участка аппроксимации на одну позицию и заполнение матрицы размером $N \times N$ (где N – количество точек, на которое разбивается участок, аппроксимируемой кривой) строками, каждая из которых содержит массивы точек для первого участка. Затем осуществляется пересчет коэффициента знаменателя b и нормированной частоты среза $\overline{\omega}_c$, с целью получения расчетной погрешности и ее сравнения со значением заданной погрешности. Однако данный алгоритм обладает рядом недостатков: сложностью вычислений, большим объемом занимаемой памяти, относительно длительным временем выполнения.

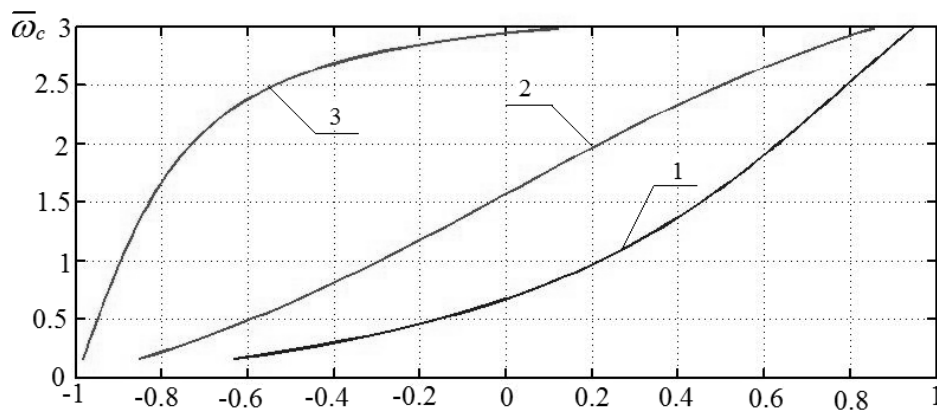


Рис. 1 – График зависимости частоты среза фильтра $\overline{\omega}_c$ от коэффициента b знаменателя передаточной функции фильтра Чебышева второго рода при уровнях пульсаций в полосе задержания $RS = 0,05$ dB (1); 3 dB (2); 20 dB (3)

Поэтому возникла необходимость рассмотреть алгоритмы аппроксимации, которые позволят упростить алгоритм аппроксимации и объем вычисления, а чтобы ускорить процесс получения линейных участков управления в зависимости от заданной погрешности.

В соответствии с Чебышевской аппроксимацией кривая на участке аппроксимации должна находиться внутри “трубы”, рис. 2.



АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

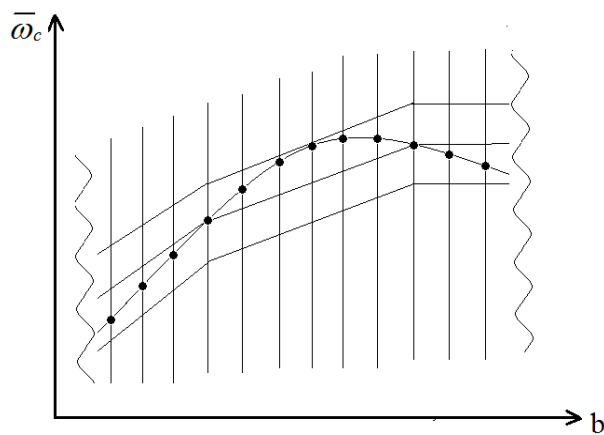


Рис. 2 – Графическое пояснение к Чебышевской аппроксимации по методу “трубы”

В этом случае можно указать границы “трубы” на участке аппроксимации и сравнивать значения исходной кривой с границами “трубы”, заменяя вычисления значений сравнением текущего значения с границами “трубы”. Тогда возникает задача вычисления границ “трубы”. Для этого нет необходимости анализировать характер аппроксимируемой зависимости, а начиная с первой точки строить аппроксимирующую прямую к последующим точкам. Последовательность действий в этом случае может быть такой.

На первом этапе между первой точкой участка аппроксимации и n -ой точкой строится прямая линия. На величину погрешности “трубы” определяется верхняя и нижняя ее границы.

Следует отметить, что может быть два пути определение границ. Первый путь – вычисления верхней и нижней границы по тем же крайним точкам участка. Второй – прибавления к найденной прямой величину погрешности “трубы”. Отметим, что относительная погрешность “вычислительного” пути от “найденного” может достигать до 1%.

На втором этапе осуществляется сравнение текущих значений с границами “трубы”. Если текущие значения находятся внутри “трубы” то берется следующее $n+1$ -ое значение и процесс повторяется пока текущее значение кривой не превысит границы “трубы”. В этом случае процесс аппроксимации останавливается. Делается переход назад на одну точку (от $n+1$ к n) и осуществляется пересчет параметров аппроксимирующего участка.

Погрешность аппроксимации на участках показана на рис. 3, при заданной относительной погрешности $\delta = 0.01$. Алгоритм процесса аппроксимации по этому методу приведен на рис. 4.

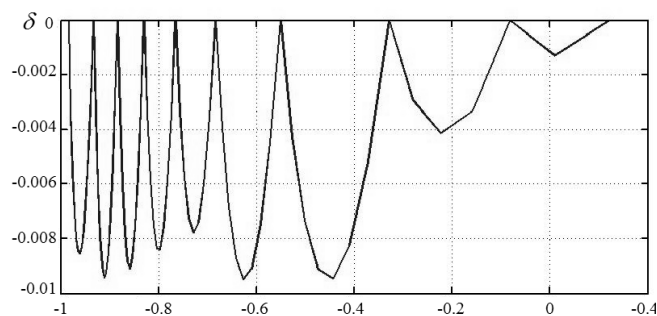


Рис. 3 – Зависимость относительной погрешности аппроксимации δ по методу “трубы” от коэффициента b знаменателя передаточной функции фильтра Чебышева второго рода при уровне пульсации в полосе задержания $RS=20$ dB



АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

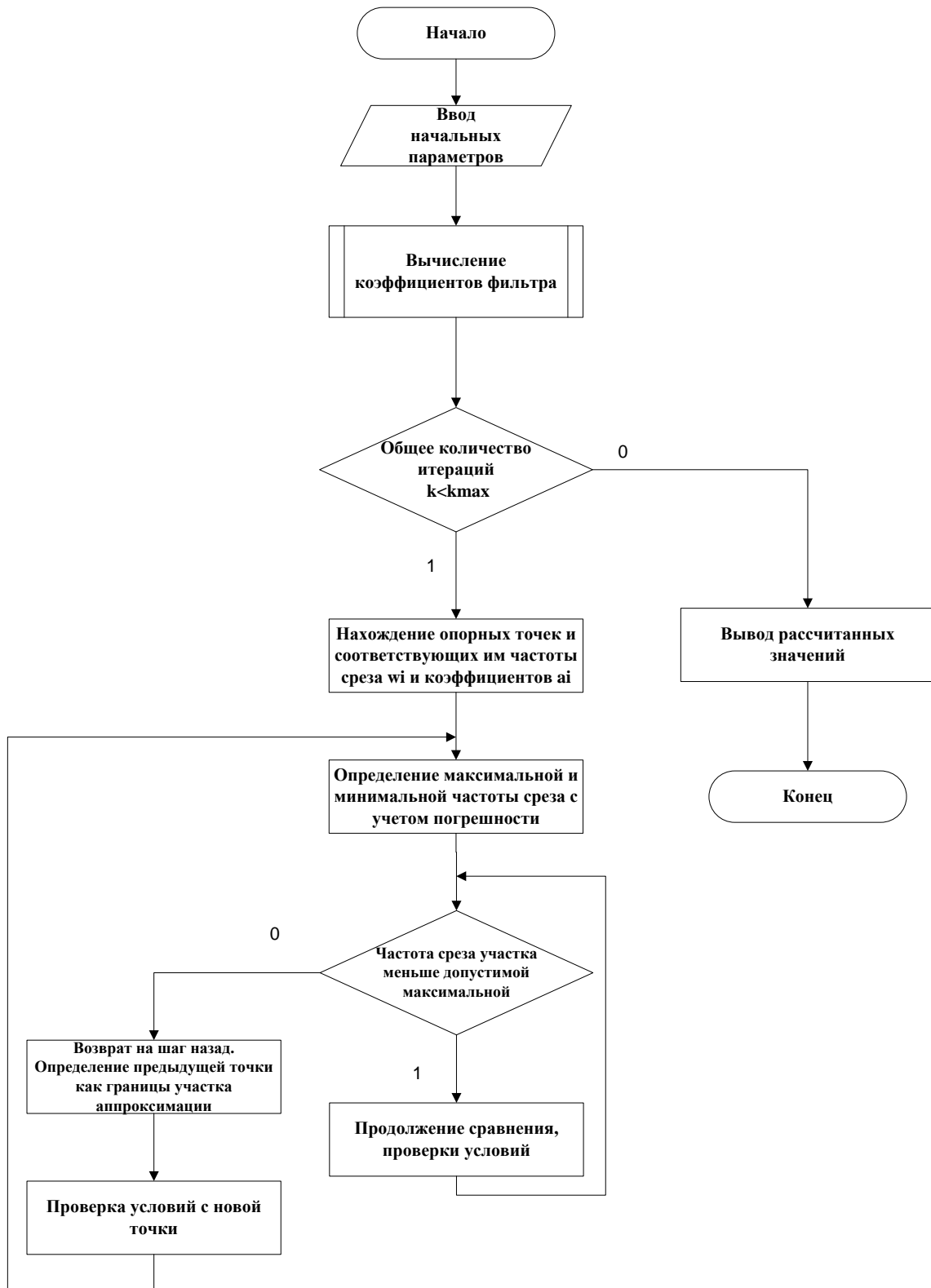


Рис. 4 – Алгоритм аппроксимации зависимости частоты среза фильтра от коэффициента b знаменателя передаточной функции фильтра Чебышева второго рода по методу “трубы”



АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

В итоге аппроксимации получена система уравнений вида $y(k) = a_0 x(k) + b_0$,

$$\begin{cases} \bar{\omega}_c = 9.8820 \cdot b + 0.1571, & -0.9843 < b \leq -0.9326, \\ \bar{\omega}_c = 8.8745 \cdot b + 0.6676, & -0.9326 < b \leq -0.8840, \\ \bar{\omega}_c = 7.2745 \cdot b + 1.0996, & -0.8840 < b \leq -0.8300, \\ \bar{\omega}_c = 5.4879 \cdot b + 1.4923, & -0.8300 < b \leq -0.7656, \\ \bar{\omega}_c = 3.8254 \cdot b + 1.8457, & -0.7656 < b \leq -0.6835, \\ \bar{\omega}_c = 2.3645 \cdot b + 2.1598, & -0.6835 < b \leq -0.5506, \\ \bar{\omega}_c = 1.2387 \cdot b + 2.4740, & -0.5506 < b \leq -0.3287, \\ \bar{\omega}_c = 0.6357 \cdot b + 2.7489, & -0.3287 < b \leq -0.0816, \\ \bar{\omega}_c = 0.3864 \cdot b + 2.9060, & -0.0816 < b \leq +0.1217, \end{cases} \quad (4)$$

В данном методе приходится дополнительно вычислять границы трубы и проверять попадания в нее текущих значений заданной кривой. Однако можно пойти другим путем, когда по ходу анализа вычисляются значения заданной относительной погрешности аппроксимирующих значений прямой и текущих значений кривой (метод “веера”).

На первом этапе по этому методу также как и в предыдущем между первой точкой участка аппроксимации и n -ой точкой строится прямая линия.

На втором этапе осуществляется вычисление относительной погрешности между значениями этой прямой и текущими значениями кривой. Если текущие значения имеют относительную погрешность меньше или равную заданной, то берется следующее $n+1$ -ое значение и процесс повторяется пока для текущего значения кривой относительная погрешность будет больше заданной.

В этом случае процесс аппроксимации останавливается. Делается переход назад на одну точку (от $n+1$ к n), осуществляется пересчет параметров аппроксимирующего участка. Погрешность аппроксимации на участках показана на рис. 5. Алгоритм процесса аппроксимации по методу “веера” показан на рис. 6.

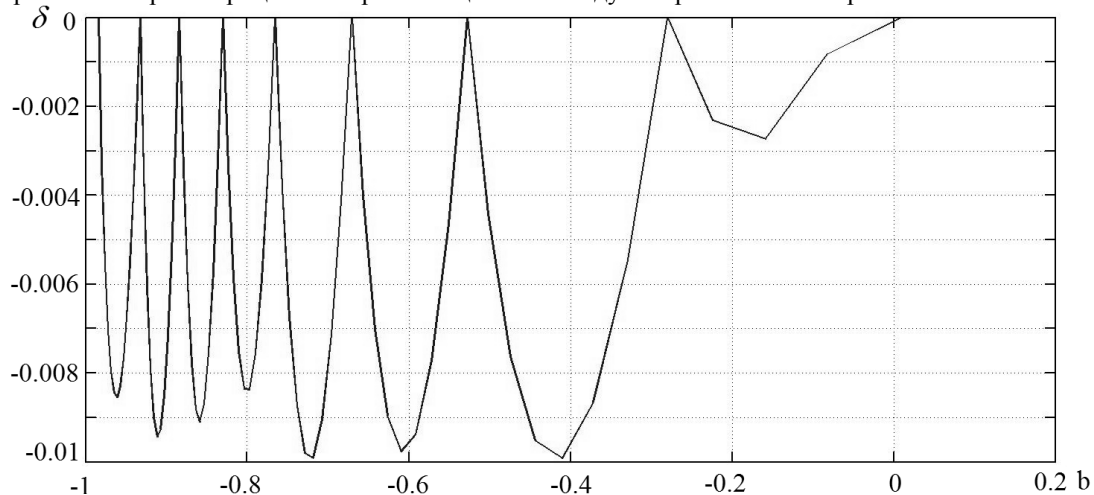


Рис. 5 – Зависимость относительной погрешности аппроксимации δ по методу “веера” от коэффициента b знаменателя передаточной функции фильтра Чебышева второго рода при уровне пульсации в полосе задержания $RS=20$ dB



АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

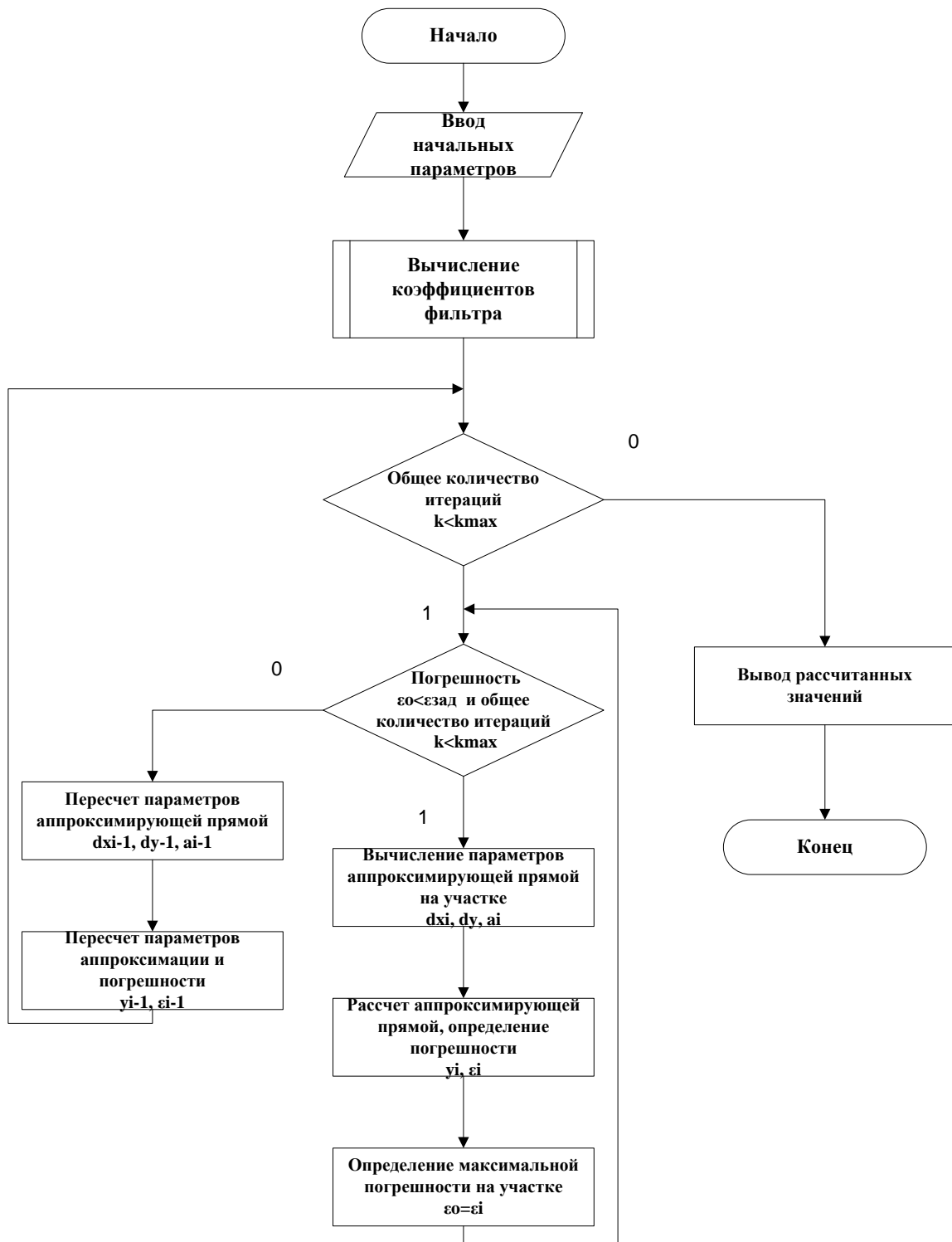


Рис. 6 – Алгоритм аппроксимации зависимости частоты среза $\bar{\omega}_c$ фильтра от коэффициента b знаменателя передаточной функции фильтра Чебышева второго рода по методу “веера”



АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

В итоге аппроксимации получена система уравнений аналогичная (1)

$$\begin{cases} \bar{\omega}_c = 9.8820 \cdot b + 0.1571, & -0.9843 < b \leq -0.9326, \\ \bar{\omega}_c = 8.8745 \cdot b + 0.6676, & -0.9326 < b \leq -0.8840, \\ \bar{\omega}_c = 7.2745 \cdot b + 1.0996, & -0.8840 < b \leq -0.8300, \\ \bar{\omega}_c = 5.4879 \cdot b + 1.4923, & -0.8300 < b \leq -0.7656, \\ \bar{\omega}_c = 3.7168 \cdot b + 1.8457, & -0.7656 < b \leq -0.6705, \\ \bar{\omega}_c = 2.1972 \cdot b + 2.1991, & -0.6705 < b \leq -0.5275, \\ \bar{\omega}_c = 1.1095 \cdot b + 2.5133, & -0.5275 < b \leq -0.2798, \\ \bar{\omega}_c = 0.5826 \cdot b + 2.7882, & -0.2798 < b \leq +0.0101, \\ \bar{\omega}_c = 0.3520 \cdot b + 2.9452, & +0.0101 < b \leq +0.1217, \end{cases} \quad (5)$$

Сравнивая полученные результаты аппроксимации зависимости частоты среза фильтра $\bar{\omega}_c$ от коэффициента b знаменателя передаточной функции фильтра Чебышева второго рода при уровнях пульсаций в полосе задержания $RS = 20$ dB можно отметить, что с точностью до погрешности вычислений эти методы дают одинаковые результаты. Отличие начинается с пятой строки систем линейных уравнений (4) и (5), где сказываются вычислительные погрешности.

За счет оптимизации второго алгоритма можно упростить вычисления и ускорить процесс нахождения системы линейных уравнений при заданной погрешности аппроксимации δ .

На рис. 7 представлены АЧХ, построенные по формуле и аппроксимированным значениям коэффициентов k и b фильтра. Для уменьшения погрешности необходимо увеличить количество участков аппроксимации для достижения заданной точности воспроизведения АЧХ при ее перестройке.

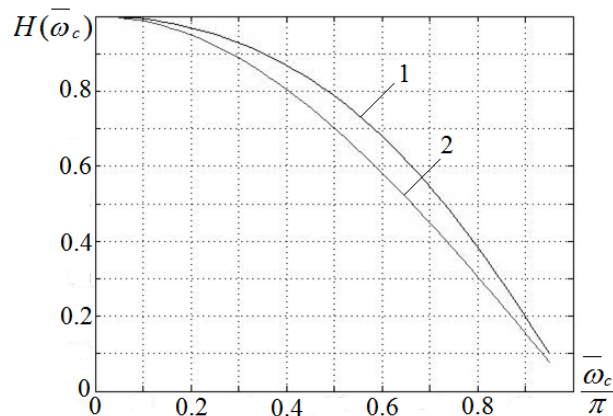


Рис. 7 – Графики АЧХ построенные по формуле (1) и аппроксимированным (2) значениям коэффициентов k и b фильтра

Заключение

Таким образом, в результате аппроксимации получены системы линейных уравнений, описывающие характеристику управления, кроме того показана возможность такого управления.

**АВТОМАТИЧНІ ТА АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ****Литература**

- [1] Illiev G. Efficient design of adaptive complex narrowband IIR filters / Illiev G., Nikolova Z., Stoyanov G., Egiazarian K. / XII European Signal Processing Conference “EUSIPCO-2004” / 6-10 Sept., 2004, Vienna, Austria – p.p. 1597-1600.;
- [2] Устройство адаптивной фильтрации речевых сигналов “Золушка-микро-3” http://speetech.by/manuals/manual_zolushka_micro3.pdf;
- [3] Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко — СПб.: Питер, 2006. — 751 с.;
- [4] Букашкин С.А. Справочник по расчету и проектированию ARC-схем; Под ред. А.А. Ланне — / С.А. Букашкин, В.П.Власов, Б.Ф.Змий и др. М. Радио и связь, 1984. — 368 с.;
- [5] Дикусар Е.В. Аппроксимация характеристики управления полиномиальной компонентой первого порядка / Е.В. Дикусар, А.А. Швец, Г.А.Грицкевич// Праці одеськ.політехн. ун-та – 2011 – Вип.1(35) – С. 141-146.;
- [6] Литовченко Н.М. Анализ критериев аппроксимации амплитудно-частотной характеристики устройства / Н.М. Литовченко, В.С. Ситников, А.В. Яковлев // Холодильна техніка і технологія. — 2006. — № 1(99). — С. 86—88.;

References

- [1] Illiev G. Efficient design of adaptive complex narrowband IIR filters / Illiev G., Nikolova Z., Stoyanov G., Egiazarian K. / XII European Signal Processing Conference “EUSIPCO-2004” / 6-10 Sept., 2004, Vienna, Austria – p.p. 1597-1600.;
- [2] Ustroistvo adaptivnoi fil'tratsii rechevykh signalov “Zolushka-mikro-3” http://speetech.by/manuals/manual_zolushka_micro3.pdf;
- [3] Sergienko A.B. Tsyfrovaia obrabotka signalov / A.B. Sergienko – SPB.: Piter, 2006. – 751 s.;
- [4] Bukashkin S.A. Spravochnik po raschetu i proektirovaniu ARC-skhem; Pod. red. A.A. Lanne - / S.A. Bukashkin, V.P. Vlasov, B.F. Zmii i dr. M. Radio i sviaz', 1984. – 368 s.;
- [5] Dikusar E.V. Approksimatsiia kharakteristiki upravleniia polynomial'noi komponentoi pervogo poriadka / E.V. Dikusar, A.A. Shvets, G.A. Gritskevich // Pratsi odes'k.politekhn.un-ta – 2011 – Vyp.1(35) – S. 144-146;
- [6] Litovchenko N.M. Analiz kriteriev approksimatsii amplitudno-chastotnoi kharakteristiki ustroistva / N.M. litovchenko, V.S. Sitnikov, A.V. Iakovlev // Kholodyl'na tekhnika i tekhnologiia. – 2006. - №1(99)ю – S. 86-88.

Отримано в редакцію: 26.01.2016 р./ Прийнято до друку: 28.01.2016 р./ Received by edition: 26.01.2016. Approved for the press: 28.01.2016

УДК 004.9; 519.816

АВТОМАТИЗАЦІЯ АНАЛІЗУ КАР'ЄРНОГО РОЗВИТКУ ТА ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО АТЕСТАЦІЇ РОЗРОБНИКІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Водолазкіна К.О., аспірантка¹

¹Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

Copyright © 2014 by author and the journal “Automation technological and business - processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

