

ЕЛЕКТРОНІКА
РАДІОТЕХНІКА
ЗАСОБИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
ELECTRONICS
RADIO ENGINEERING
TELECOMMUNICATION FACILITIES

УДК 004.383.3

Е.В. Дикусар, магістр,
А.В. Сильчук, магістр,
В.С. Ситников, д-р. техн. наук, проф.,
Одес. нац. политехн. ун-т

**ОСОБЕННОСТИ ФАЗОЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
РЕКУРСИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПЕРВОГО ПОРЯДКА**

К.В. Дикусар, А.В. Сильчук, В.С. Ситников. **Особенности фазочастотных характеристик рекурсивных компонентов первого порядка.** Проведен анализ фазочастотных характеристик полиномиальных та неполиномиальных фильтров для подальшої апроксимації з метою лінійного управління цими характеристиками.

Ключові слова: фазочастотна характеристика, амплітудночастотна характеристика, фільтр.

Е.В. Дикусар, А.В. Сильчук, В.С. Ситников. **Особенности фазочастотных характеристик рекурсивных компонентов первого порядка.** Проведен анализ фазочастотных характеристик полиномиальных и неполиномиальных фильтров для последующей аппроксимации с целью линейного управления этими характеристиками.

Ключевые слова: фазочастотная характеристика, амплитудночастотная характеристика, фильтр.

E.V. Dikusar, A.V. Silchuk, V.S. Sitnikov. **Features of recursive first-order components' phase response.** The analysis of the phase response of polynomial and non-polynomial filters for further approximation aimed at linear control of this characteristics is carried out.

Keywords: phase response, frequency response, filter.

Автоматизация современных технологических процессов вызвала широкое развитие и распространение специализированных компьютерных систем (СКС), для повышения эффективности и возможности работы которых в сложных условиях необходимо управление характеристиками системы и ее компонентов. К числу последних можно отнести перестраиваемые цифровые фильтры: полиномиальные — Бесселя, Баттерворта и Чебышева второго рода, и неполиномиальные — Чебышева первого рода и эллиптические [1].

Полиномиальные фильтры характеризуются плоской амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) в полосе пропускания, в то время как у неполиномиальных АЧХ пульсирует в

полосе пропускания, поэтому они используются для подавления или разделения составляющих входного сигнала. При линейном управлении этими фильтрами изменения коэффициентов числителя a и знаменателя b передаточной функции фильтра вызывают изменение АЧХ, что влечет за собой изменение фазочастотной характеристики (ФЧХ), поэтому необходимо провести ее анализ для различных фильтров [2].

Предлагается анализ изменения ФЧХ для перечисленных фильтров; определены области, на которых возможно линейное управление ею.

Описываются указанные фильтры обобщенной передаточной функцией цифрового фильтра первого порядка

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

где a_0, a_1, b — соответственно действительные коэффициенты числителя и знаменателя.

Для фильтров первого порядка коэффициенты числителя равны, т.е. $|a_0| = |a_1|$, и обычно рассматриваются как коэффициент усиления k .

Тогда передаточную функцию (1) можно записать в виде

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

где знак “+” в числителе соответствует фильтру нижних частот (ФНЧ), “-” — фильтру верхних частот (ФВЧ).

На основе передаточной функции (2) за счет преобразования определены ФЧХ:

— для ФНЧ

$$\varphi(\bar{\omega}) = -\arctg\left(\frac{1-b}{1+b} \operatorname{tg}\left(\frac{\bar{\omega}}{z}\right)\right); \quad (3)$$

— для ФВЧ

$$\varphi(\bar{\omega}) = -\arctg\left(\frac{1+b}{1-b \operatorname{tg}(\bar{\omega}/z)}\right) = -\arctg\left(\frac{1}{((1-b)/(1+b)) \operatorname{tg}(\bar{\omega}/z)}\right), \quad (4)$$

где $\bar{\omega} = 2\pi \frac{f}{f_d}$ — нормированная частота;

f и f_d — соответственно текущая линейная частота и частота дискретизации.

Из анализа АЧХ ФНЧ и ФВЧ первого порядка следует [3]:

— неполиномиальные фильтры имеют одинаковые коэффициенты знаменателя b , а, следовательно, и одинаковые АЧХ и ФЧХ;

— характеристики фильтров первого порядка от их показателя пульсации в полосе задержания не зависят;

— ФЧХ фильтра Чебышева первого рода и эллиптического фильтра при одинаковых значениях показателя пульсации ϵ в полосе пропускания и частоте среза $\bar{\omega}_c$ абсолютно одинаковы;

— у фильтра Чебышева второго рода определяющим является показатель пульсации в полосе задержания; при его одинаковом значении ФЧХ этого фильтра повторяет ФЧХ фильтров Чебышева первого рода и эллиптического, поэтому в дальнейшем рассматривается фильтр Чебышева первого рода.

С использованием формул (3) и (4) при соответствующих коэффициентах знаменателя b проведен анализ особенностей поведения ФЧХ фильтров Баттерворта и Чебышева первого рода; ФЧХ

ФВЧ изменяется в диапазоне $[\pi/2, 0]$, а ФНЧ — в диапазоне $[0, -\pi/2]$ (рис. 1, 2, соответственно).

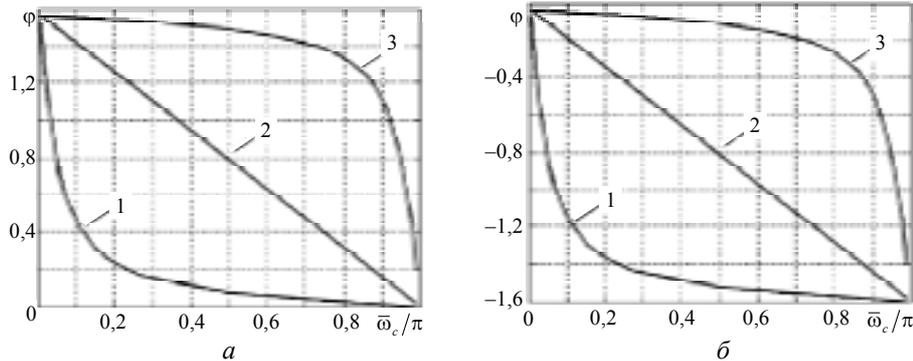


Рис. 1. ФЧХ ФВЧ (а), ФНЧ (б) Баттерворта при частота среза $\bar{\omega}_c$: 0,05 (1); 0,5 (2); 0,95 (3)

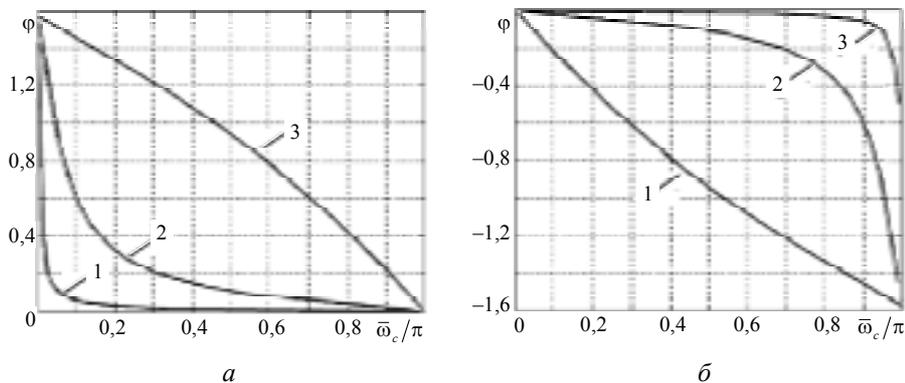


Рис. 2. ФЧХ ФВЧ (а), ФНЧ (б) Чебышева первого рода при показателе пульсации $\varepsilon = -0,05$ db при частота среза $\bar{\omega}_c$: 0,05 (1); 0,5 (2); 0,95 (3)

ФЧХ ФНЧ и ФВЧ Баттерворта имеют одинаковый вид с учетом знака — линейны при частоте среза $\bar{\omega}_c = \pi/2$ и близки к линейной в полосе пропускания фильтра.

ФЧХ ФВЧ Чебышева первого рода при показателе пульсации в полосе задержания $\varepsilon < -3$ dB схожа с ФЧХ фильтра Баттерворта, но с большими нелинейными искажениями в сторону низких частот среза, а при $\varepsilon > -3$ dB — в сторону высоких частот среза. При $\varepsilon = |-3$ dB| ФЧХ фильтров Баттерворта и Чебышева первого рода одинаковы (рис. 3, а, б, в, соответственно).

Для ФНЧ Чебышева первого рода наблюдается обратная картина. Так при показателе пульсации в полосе пропускания $\varepsilon < -3$ dB ФЧХ схожа с ФЧХ фильтра Баттерворта, но с боль-

шими нелінійними искаженнями в сторону високих частот среза, а при $\varepsilon > -3$ dB — в сторону низких частот среза. При $\varepsilon = |-3$ dB ФЧХ фільтрів Баттерворта і Чебышева першого роду однакові.

Во всіх розглянутих випадках спостерігається ФЧХ, близька до лінійної в полосі пропускання відповідного фільтра. Представлені залежності фази φ від значень показателя пульсації ε і частоти среза $\bar{\omega}_c$ для ФВЧ і ФНЧ Чебышева першого роду (рис. 4), існують плоскості, на яких ФЧХ лінійна.

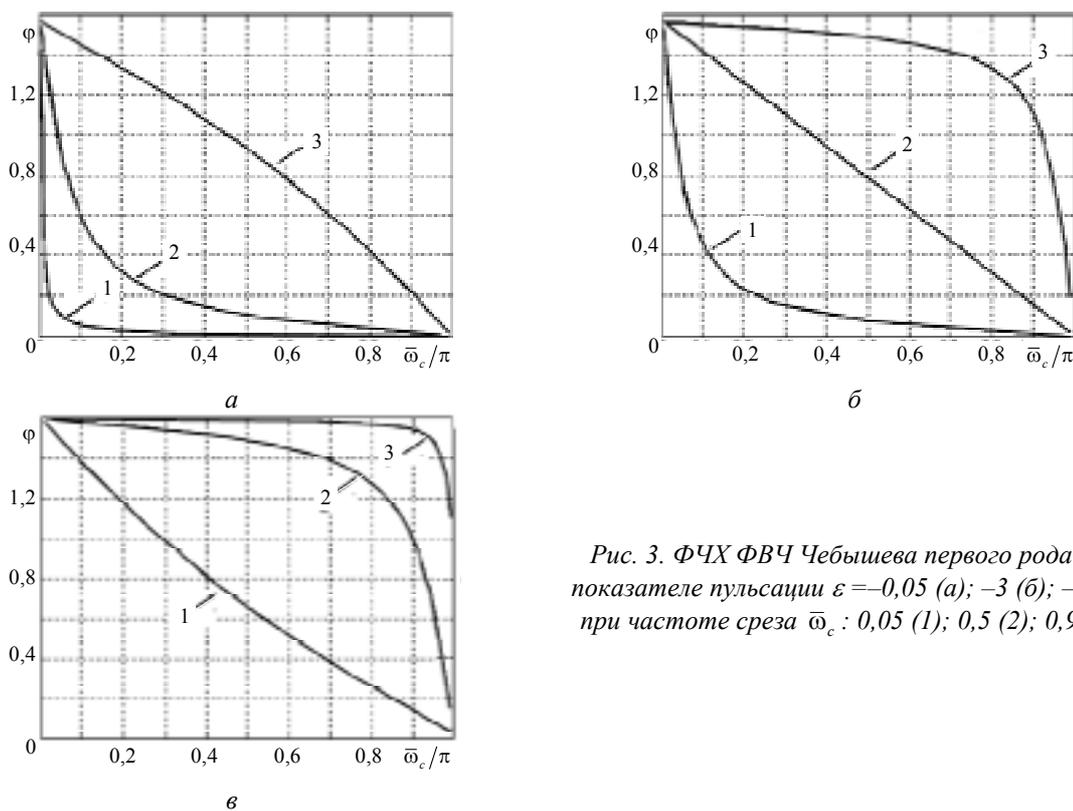


Рис. 3. ФЧХ ФВЧ Чебышева першого роду при показателі пульсації $\varepsilon = -0,05$ (а); -3 (б); -20 (в) при частоті среза $\bar{\omega}_c$: 0,05 (1); 0,5 (2); 0,95 (3)

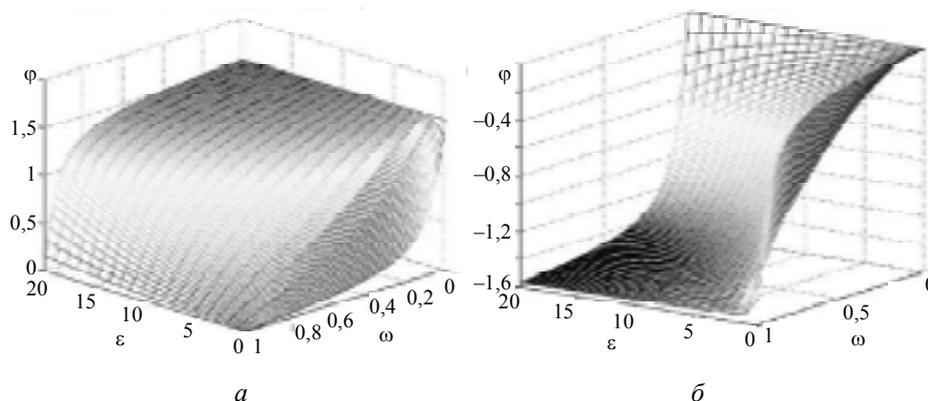


Рис. 4. Залежності фази від показателя пульсації ε при заданній частоті среза $\bar{\omega}_c$ для ФВЧ (а) і ФНЧ (б) Чебышева першого роду

Анализ ФЧХ фильтров показал, что рекурсивные компоненты первого порядка имеют ряд особенностей:

- ФЧХ фильтров первого порядка одинакова при показателе пульсации $\varepsilon = |-3 \text{ dB}|$;
- для ФНЧ и ФВЧ наблюдается противоположная картина изменения фазы при изменении соответствующего показателя пульсации ε и частоты среза $\bar{\omega}_c$;
- в полосе пропускания соответствующая ФЧХ почти линейна и можно учесть фазовые искажения, вносимые фильтром при дальнейшей обработке сигнала;
- фильтры Чебышева первого рода и эллиптические, а также фильтры Чебышева второго рода первого порядка имеют равные ФЧХ при задании одинакового значения показателя пульсации ε соответственно в полосе пропускания и полосе задержания.

Литература

1. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. — СПб.: Питер, 2006. — 751с.
2. Ситников, В.С. Линейное управление цифровым фильтром интеллектуального датчика / В.С. Ситников, А.А. Брус // Датчики, прилади та системи — 2008: Тези IV Міжнар. наук.-техн. конф., м. Гурзуф 15 – 20 верес. 2008 р. — Черкаси – Гурзуф, 2008. — С. 61 — 62.
3. Ситников, В.С. Влияние коэффициентов передаточной функции полиномиального цифрового фильтра первого порядка на свойства амплитудночастотной характеристики / В.С. Ситников, А.В. Сильчук, А.А. Швец // Междунар. науч.-техн. конф., г. Варна, сент. 2010 г. — Болгария, Варна, 2010. — С. 78 — 81.

References

1. Sergienko, A.B. Tsifrovaya obrabotka signalov [Digital signal processing] / A.B. Sergienko — Saint-Petersburg, 2006. — 751pp.
2. Sitnikov, V.S. Lineynoe upravlenie tsifrovym fil'trom intellektual'nogo datchika [Linear control of intelligent sensor's digital filter] / V.S. Sitnikov, A.A. Brus // Datchiki, priladi ta sistemi [Sensors, devices and systems] — 2008: Theses of IV Intern. sci.-tech. conf., Gurzuf, 15 – 20 September 2008. — Cherkasi – Gurzuf, 2008. — P. 61 — 62.
3. Sitnikov, V.S. Vliyanie koeffitsientov peredatochnoy funktsii polinomial'nogo tsifrovogo fil'tra pervogo poryadka na svoystva amplitudnochastotnoy kharakteristiki [Influence of transfer-function coefficients of the first-order polynomial digital filter on the phase response features] / V.S. Sitnikov, A.V. Sil'chuk, A.A. Shvets // Intern. sci.-tech. conf., Varna, September 2010. — Bulgaria, Varna, 2010. — P. 78 — 81.

Рецензент д-р техн. наук проф. Одес. нац. мор. акад. Живица В.И.

Поступила в редакцию 13 декабря 2010 г.