

УДК 621.396

Частотные характеристики устройств селекции движущихся целей

Жиганов С.Н., Фадеева Я.А., Ракитин А.В.

В статье получены частотные характеристики различных систем черезпериодной компенсации, которые обеспечивают эффективное подавление пассивных помех. Показаны преимущества и недостатки применения того или иного устройства для борьбы с пассивными помехами в радиолокации. *Ключевые слова:* система черезпериодной компенсации, селекция движущихся целей.

Введение

Импульсные сигналы широко используются в радиосистемах в качестве переносчиков различной информации, а также при зондировании пространства. При этом различают регулярные (эквидистантные) и неэквидистантные последовательности импульсов. В первых, основные параметры (амплитуда, частота и фаза) от импульса к импульсу последовательности являются неизменными, а у вторых один или несколько параметров изменяются случайно, либо по какому-либо закону.

Пассивные помехи существенно ухудшают работоспособность РЛС, снижают их тактико-технические характеристики. К пассивным помехам относят отражения зондирующего сигнала от подстилающей поверхности (поверхность земли и моря), местных предметов (гор, линий электропередач, здания, трубы и т.п.), облака и метеообразования (дождь, град), облака искусственных отражателей, стаи насекомых и птиц, неоднородности атмосферы. Отраженные от пассивных помех сигналы обладают, как правило, большой мощностью (отношение помеха/шум может достигать до 80-90 дБ) и малым доплеровским сдвигом частот.

Одним из основных устройств, обеспечивающих устойчивую работу РЛС в условиях пассивных помех, является устройство селекции движущихся целей (СДЦ). Устройство СДЦ представляет собой рекурсивный или нерекурсивный фильтр, обеспечивающий значительное ослабление сигналов, доплеровский сдвиг частот которых находится вблизи нуля.

В [1-7] рассмотрено большое количество применяемых в настоящее время устройств

СДЦ. Принципиально эти устройства отличаются лишь частотной характеристикой и способом реализации. Одним из самых распространенных является устройство черезпериодной компенсации (ЧПК).

Целью данной работы является – изучение эффективности применения различных устройств компенсации пассивных помех на основе полученных частотных характеристик.

Исследование системы СДЦ**при обработке импульсных сигналов**

В настоящее время существует достаточно большое количество подходов к построению устройств СДЦ. Принципиально эти устройства отличаются лишь сформированной частотной характеристикой и способом реализации. Самым простым, но в то же время достаточно эффективным является устройство ЧПК, структурная схема которого приведена на рис. 1.

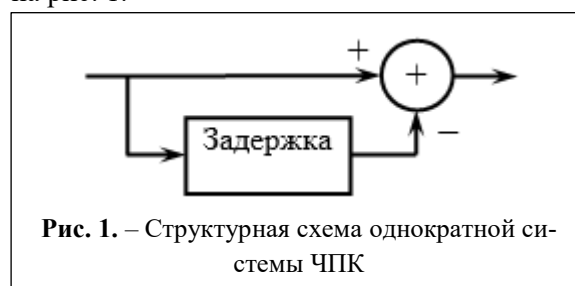
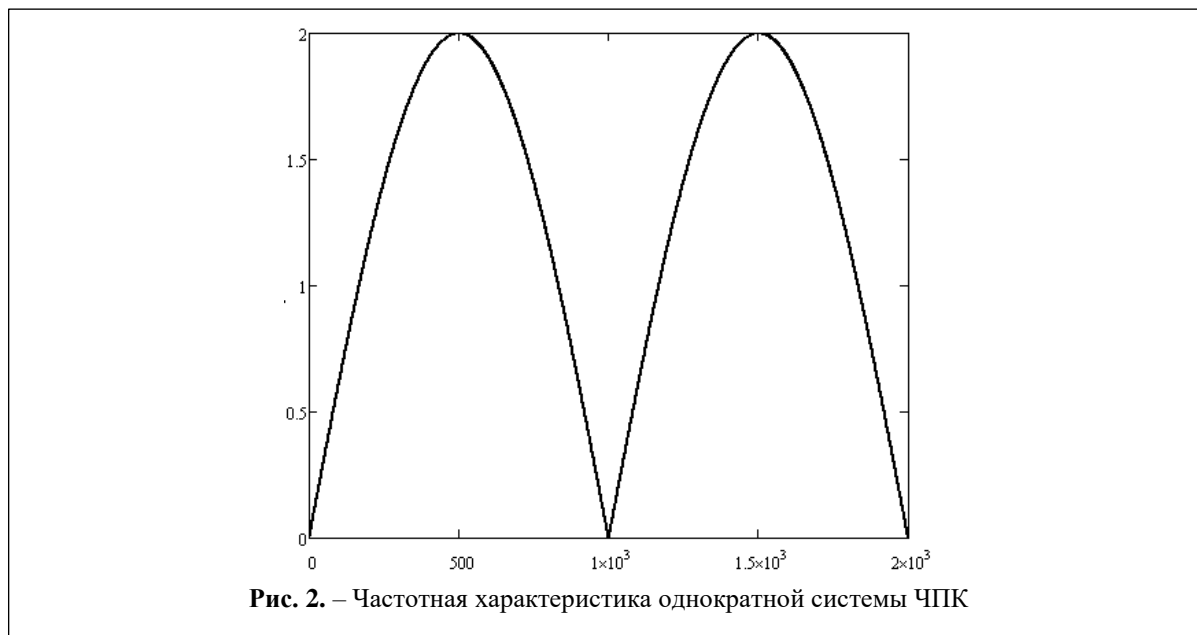


Рис. 1. – Структурная схема однократной системы ЧПК

Отсчетов видеосигнала, огибающая которых изменяется в соответствии с частотой Доплера поступают на устройства ЧПК. На выходе устройства ЧПК формируется разность между текущим отсчетом и задержанным на один период. Если амплитуда отсчетов одинакова, то уровень сигнала на выходе устройства ЧПК будет равен нулю. Если амплитуда отсчетов сигнала изменяется в соответствии

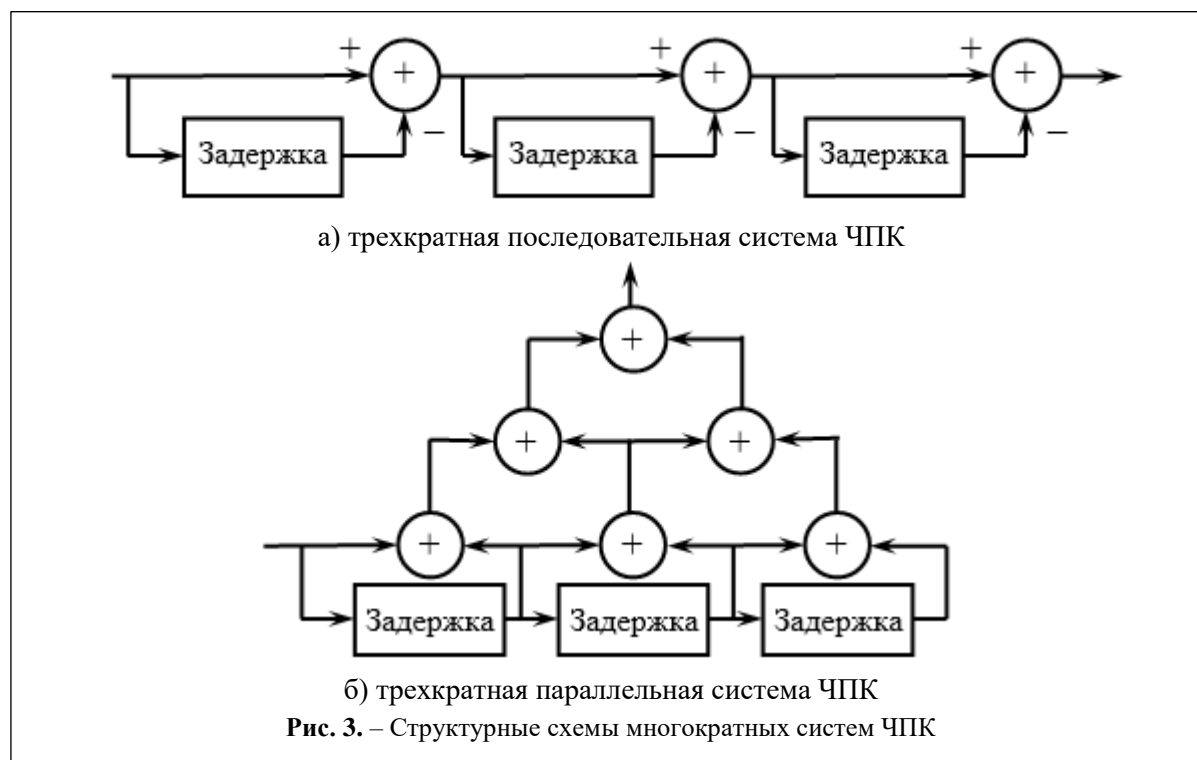


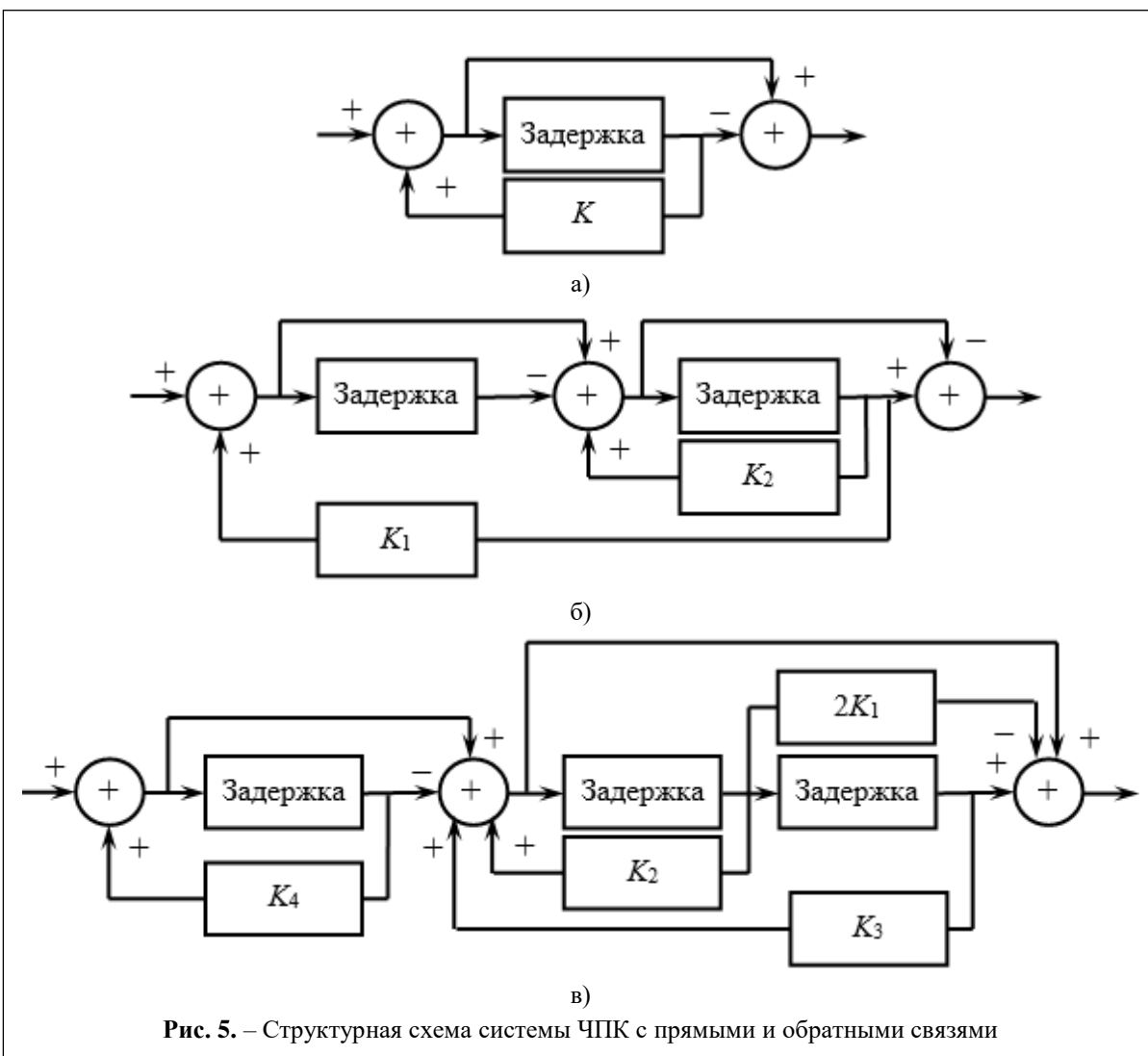
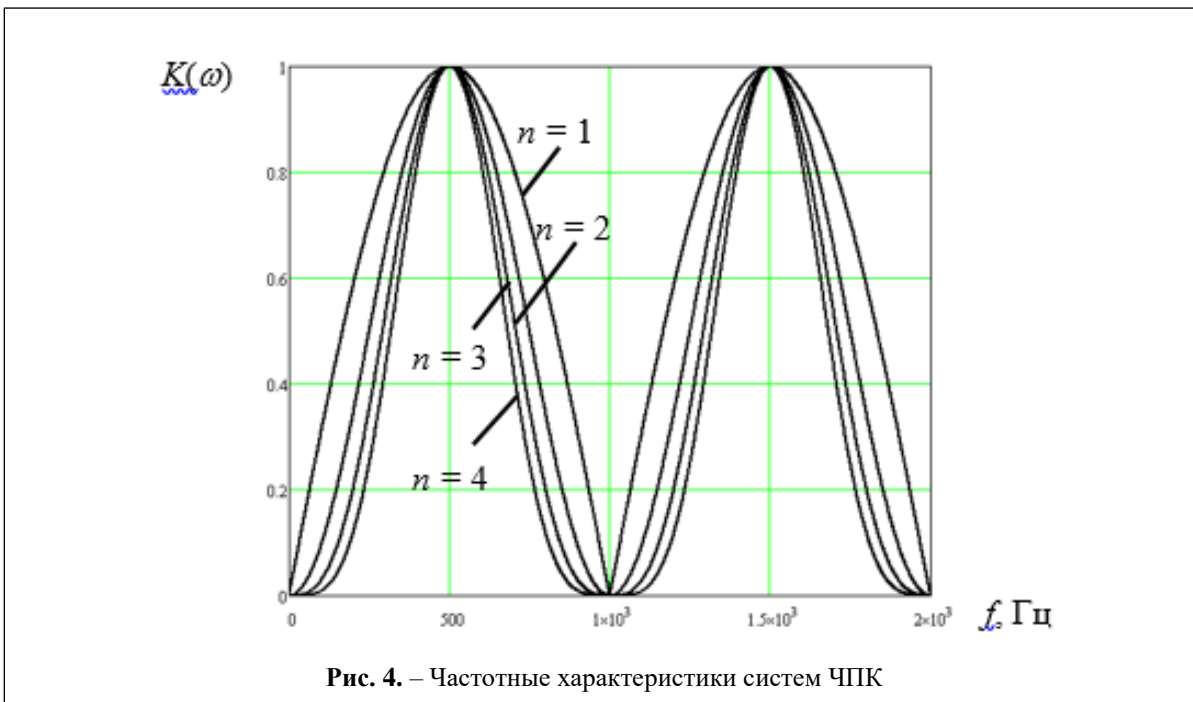
частотой Доплера, то уровень сигнала на выходе устройства ЧПК будет отличаться от нуля.

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) устройства ЧПК описывается функцией:

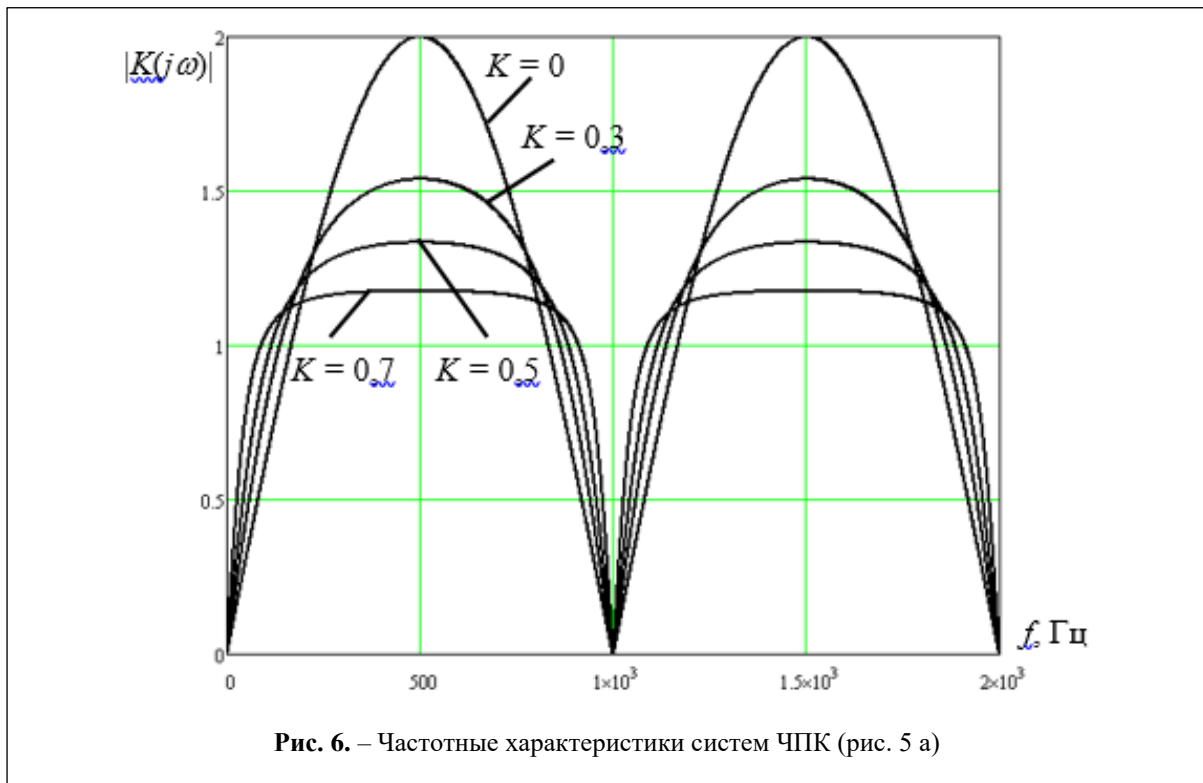
$$K(\omega) = 2 \left| \sin \omega \frac{T}{2} \right|. \quad (1)$$

Поскольку в выражение для частотной характеристики входит синусоидальная функция, то $K(\omega)$ является периодической функцией, изменяющейся от нуля до 2. Нули частотной характеристики приходятся на точки $1/T, 2/T, \dots, k/T, \dots$. На рис. 2 приведена частотная характеристика устройства ЧПК (рис. 1), рассчитанная по соотношению (1) при $T = 1$ мс.



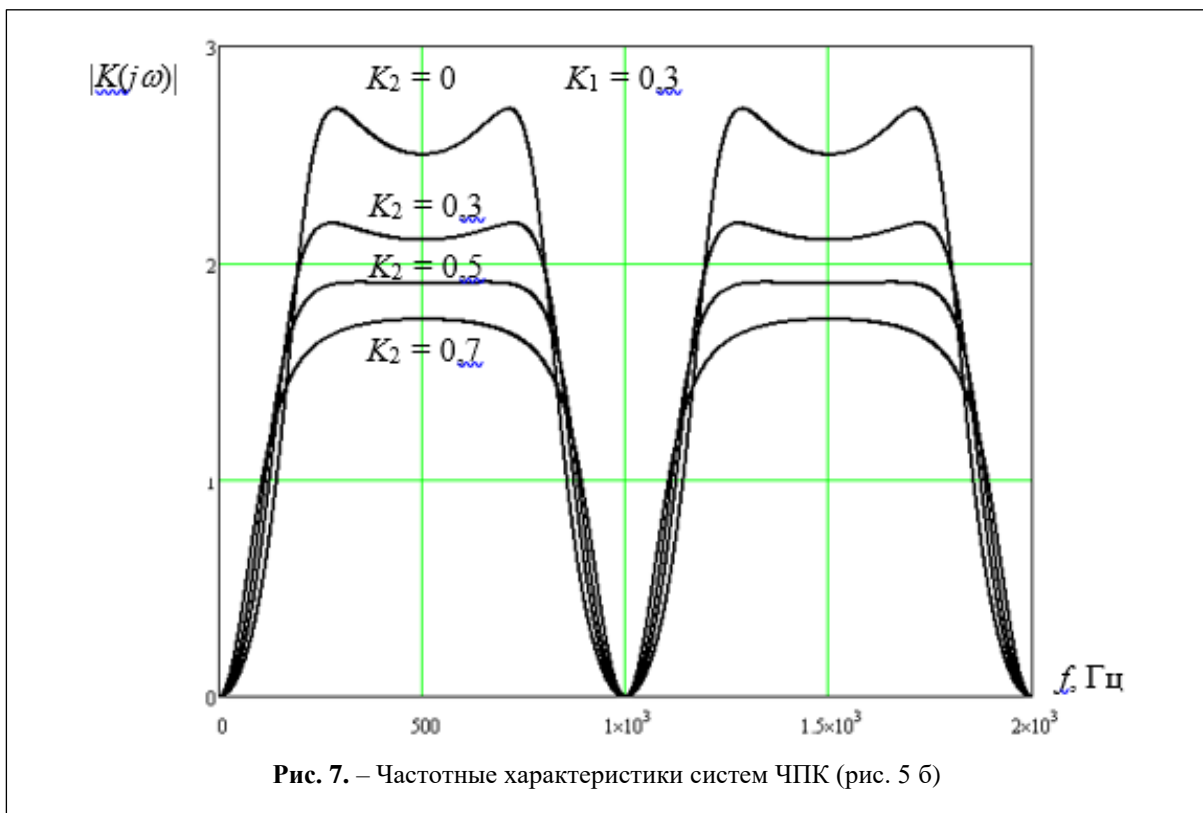


Кривая, приведенная на рис. 2 имеет нули



в точках 1000 Гц, 2000 Гц, и т.д. При таких значениях частоты входного сигнала на выходе устройства ЧПК уровень сигнала будет равен нулю. Этот эффект носит название слепых скоростей. Кроме этого при такой перио-

дической частотной характеристике появляется неоднозначное измерение частоты полученного сигнала, поскольку по принятому значению $K(\omega)$ невозможно определить к какому периоду оно относится.



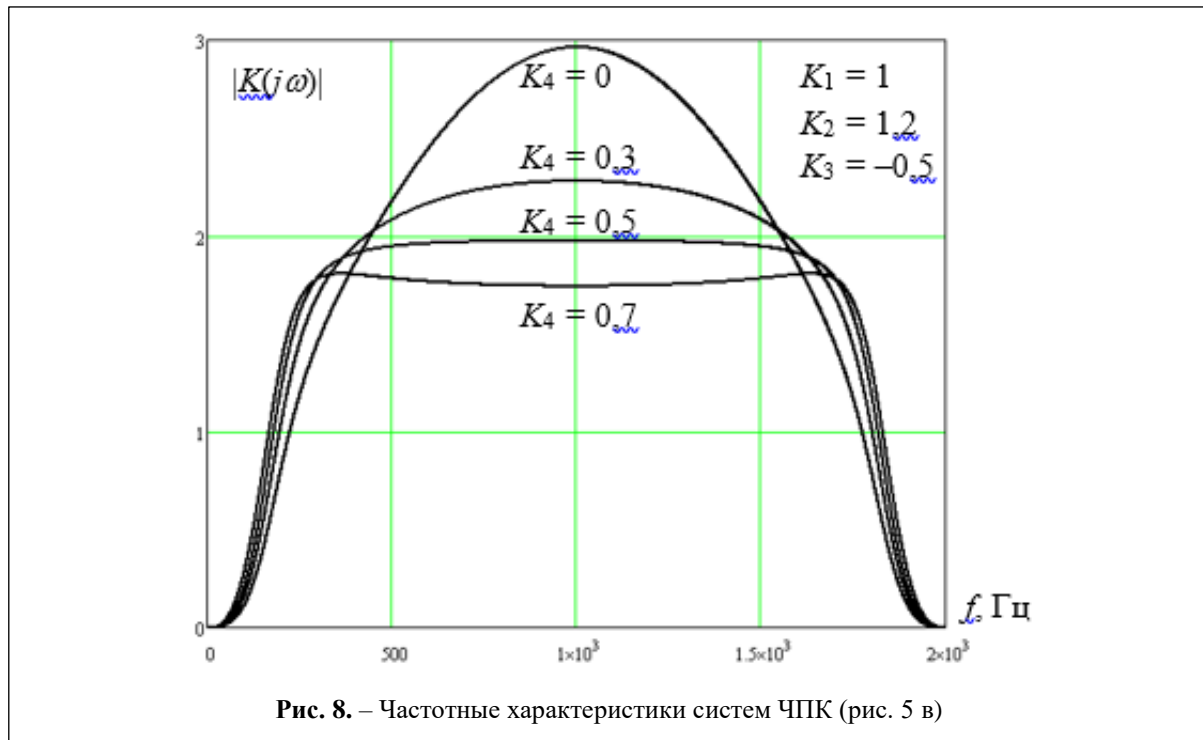


Рис. 8. – Частотные характеристики систем ЧПК (рис. 5 в)

Для улучшения частотных свойств системы ЧПК часто применяют многократные последовательные и параллельные системы ЧПК, структурные схемы которых показаны на рис.3. АЧХ таких систем описывается функцией вида:

$$K(\omega) = 2^n \left(\sin \omega \frac{T}{2} \right)^n, \quad (2)$$

где n – порядок кратности системы.

При увеличении порядка кратности системы частотная характеристика устройства ЧПК становится все более не равномерной. На рис. 4 приведены АЧХ для $n = 1, 2, 3, 4$. Из рис. 4 видно, что по мере увеличения кратности АЧХ становится все более неравномерной в полосе прозрачности.

Для улучшения равномерности в полосе прозрачности применяют системы ЧПК с прямыми и обратными связями, являющиеся рекурсивными фильтрами. Три структуры таких фильтров приведены на рис. 5.

Коэффициенты передачи таких фильтров определяются соотношениями [2]

$$K(j\omega) = \frac{\exp(j\omega T) - 1}{\exp(j\omega T) - K'} \quad (3)$$

$$K(j\omega) = \frac{[\exp(j\omega T) - 1]^2}{\exp(j2\omega T) - (K_1 + K_2)\exp(j\omega T) + K_1}, \quad (4)$$

$$K(j\omega) = \frac{[\exp(j\omega T) - 1][\exp(j2\omega T) - 2K_1\exp(j\omega T) + 1]}{[\exp(j\omega T) - K_4][\exp(j2\omega T) - K_2\exp(j\omega T) - K_3]}. \quad (5)$$

На рис. 6 приведены частотные характеристики системы ЧПК, структурная схема которой показана на рис. 5 а), рассчитанная по соотношению (1.3) для четырех значений $K = 0; 0,3; 0,5; 0,7$. Случай, когда $K = 0$ соответствует однократной системе ЧПК. Из рис. 6 видно, что при увеличении K равномерность частотной характеристики в полосе прозрачности существенно улучшается, но при этом уменьшается максимальное значение амплитуды и структура обработки усложняется по сравнению с однократной системой ЧПК.

На рис. 7 приведены модуль комплексного коэффициента передачи системы ЧПК рис. 5 б) при $K_1 = 0,3$ и $K_2 = 0; 0,3; 0,5; 0,7$. Из рис. 7 видно, что при больших значениях K_2 частотная характеристика является равномерной в полосе прозрачности. При малых значениях K_2 в середине одного периода $|K(j\omega)|$ наблюдается минимум, а к краям амплитуда частотной характеристики приподнимается тем больше чем меньше величина K_2 . Кроме этого при уменьшении K_2 максимум АЧХ уменьшается.

Следует отметить, что коэффициент K_1 влияет только на величину подъёмов АЧХ по краям одного ее периода.

На рис. 8 приведены зависимости коэффициента передачи рекурсивного фильтра (5) от частоты при $K_1 = 1$; $K_2 = 1,2$; $K_3 = -0,5$ и $K_4 = 0$; $0,3$; $0,5$; $0,7$. Поскольку коэффициент передачи коэффициент передачи зависит от четырех параметров, то вид результирующей характеристики может быть весьма разнообразный. Из рис. 8 видно, что полоса прозрачности увеличивается в два раза и является при определенных значениях параметров фильтра достаточно равномерной.

Заключение

Результатами проведенных исследований являются следующие:

1. Однократная система ЧПК (рис.1) позволяет достаточно эффективно подавлять пассивные помехи вблизи нулевой частоты, при этом структура обработки является простой;
 2. Усложнение структуры обработки в виде многократных систем ЧПК вызывает более эффективное подавление пассивных помех вблизи нулевых частот, но при этом частотная характеристика становится неравномерной в полосе прозрачности фильтра;
 3. Использование простейшего рекурсивного фильтра позволяет сделать частотную характеристику более равномерной в полосе прозрачности;
 4. Усложнение структуры обработки до фильтров рис. 5 б) и в) позволяет сформировать более сложную частотную характеристику фильтра из всех рассмотренных структур;
 5. Все рассмотренные АЧХ устройств ЧПК являются периодическими, что приводит к появлению «слепых» скоростей.
- Одним из эффективных методов борьбы со «слепыми» скоростями является возбуждения периода следования импульсов, то есть использование неэквидистантных последовательностей импульсов.

Поступила 16 октября 2022 г.

In the article, the frequency characteristics of various systems of intermittent compensation are obtained, which provide effective suppression of passive interference. The advantages and disadvantages of using a device to combat passive interference in radar are shown.

Key words: the system of periodic compensation, selection of moving targets.

Литература

1. Прохоров С.А. Прикладной анализ неэквидистантных временных рядов. – Самарский государственный аэрокосмический университет, 2001. – 375 с.
2. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
3. Справочник по радиолокации. Под ред. М. Скольника. Нью-Йорк, 1970: Пер. с англ. (в четырех томах) / Под общей ред. К.Н. Трофимова; Том 3. Радиолокационные устройства и системы/ Под ред. А.С. Виницкого.- М.: Сов. Радио, 1978. – 528 с.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Сов. Радио, 1977. – 608 с.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. пособ. для вузов по спец. "Радиотехника" / Баскаков С.И. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Высшая школа, 1988. – 448с.
6. Бакулев П.А. Радиолокационные системы: Учебное пособие для вузов.- М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
7. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике.-М.: Сов. радио, 1971. - 326 с.
8. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. Учеб. пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2003, 400 с.
9. Жутяева Т. С., Зайцев М. Ф., Щернакова Л. А. Цифровые устройства обработки сигналов на фоне коррелированных помех. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1987. – 98 с.
10. Ширман Я. Д., Манжос В. Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
11. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию.- Киев: Издательство КВиЦ, 2000. – 428 с.
12. <http://signalslab.marstu.net/?lang=ru>.
13. Nadav Levanon, Eli Mozeson. Radar signals. John Wiley & Sons Inc. (2004).
14. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов. – М.: Советское радио, 1978. – 304 с.
15. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
16. Жутяева Т. С., Зайцев М. Ф., Щернакова Л. А. Цифровые устройства обработки сигналов на фоне коррелированных помех. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1987. – 98 с.

Жиганов Сергей Николаевич – к.т.н., доцент кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: s_zh_72@mail.ru.

Фадеева Яна Алексеевна – магистрант Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: fadeeva.yana2013@yandex.ru.

Ракитин Алексей Валерьевич – к.т.н., доцент кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

Адрес: 602264, Муром, ул. Орловская, д. 23.