

АНАЛИЗ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛОСНО-ПРОПУСКАЮЩЕГО ФИЛЬТРА В СОСТАВЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ПЕРСПЕКТИВНОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Кузьмин Е. В., Зограф Ф. Г., Вепринцев В. И., Былкова Г. К., Бауточко А. В.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» (СФУ), Красноярск, Россия (660041 г. Красноярск, пр. Свободный, 79), fedor-zograf@ya.ru

В статье приводятся результаты разработки аналитического описания пассивного фильтрующего звена (ППФ) радиочастотного тракта перспективной радионавигационной системы (РНС). Особенностью РНС является применение шумоподобных сигналов (ШПС) с минимальной частотной манипуляцией. Аналитическое описание ППФ получено в виде комплексного коэффициента передачи и позволяет проанализировать частотные и динамические характеристики фильтра. Адекватность полученного описания ППФ подтверждается результатами моделирования, проведенного в системе схемотехнического проектирования *OrCAD*. Приведены амплитудно-частотная (АЧХ), фазо-частотная (ФЧХ) характеристики и групповое время запаздывания (ГВЗ) ППФ. Нелинейность частотных характеристик радиочастотного тракта оказывает влияние на качество сигнала РНС. Представленные результаты будут использоваться для оценки влияния радиочастотного тракта на характеристики РНС и необходимости принятия решений по коррекции характеристик цифровыми методами, параметрической или структурной оптимизации.

Ключевые слова: неравномерность амплитудно-частотной характеристики, групповое время запаздывания, влияние радиотракта.

FILTERING LINK FREQUENCY CHARACTERISTICS OF THE PERSPECTIV RADIO NAVIGATION SYSTEM HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX ANALIZIES

Kuzmin E. V., Zograf F. G., Veprintsev V. I., Bylkova G. K., Bautochko A. V.

Siberian Federal University (SibFU), Krasnoyarsk, Russia (660041, Krasnoyarsk, Svobodny Prospect, 79), fedor-zograf@ya.ru

Results of perspective radio navigation system (RNS) radiofront-end passive filtering link analytical description development are given in article. The feature of RNS is spread-spectrum minimum shift keying signal using. The analytical description of passive filtering link is received in the form of complex coefficient of transfer, and allows to analyses frequency and dynamic characteristics of the filter. Adequacy of the passive filtering link received description is proved by results of the modeling which has been carried out in *OrCAD* circuitry design system. Amplitude-frequency, phase-frequency characteristics and passive filtering link group time delay (GTD) are given in the article. Nonlinearity of frequency characteristics of radiofront-end has impact on RNS signal quality. The presented results will be used for an assessment of radiofront-end influence to the RNS characteristics and decision procedure to characteristics correction by means of digital methods, parametric or structural optimization.

Key words: amplitude-frequency characteristic unevenness, group time delay, radio front-end influence.

Важной частью РНС является радиоканал, включающий в себя среду передачи и радиотехнические устройства от входа передатчика до выхода приемника. Обычно при исследовании свойств навигационных систем предполагается, что радиоканал обладает идеальными характеристиками и не вносит искажений в сигнал. Однако и среда, и аппаратура могут вносить существенные искажения в сигнал. Радиоканал оказывает влияние на амплитуду сигнала, его начальную фазу, смещение несущей частоты сигнала, неопределенность задержки и т.п. [3]. В данной работе анализируются характеристики ППФ в составе радиочастотного тракта РНС с ШПС.

Исследования и принципы работы рассматриваемой РНС приведены в [1], в работах [1, 2, 4, 5] предлагаются методы улучшения точностных характеристик РНС, включающие реализацию разработанных алгоритмов на ПЛИС. Частотный спектр рассматриваемой РНС лежит в пределах от 1,6 МГц до 2,2 МГц, центральная частота ШПС ≈ 2 МГц.

Методы оценки влияния радиочастотных трактов на прием ШПС, в общем виде, рассматриваются, например, в [3]. Применительно к рассматриваемой РНС, необходимо, в первую очередь, разработать аналитические описания звеньев радиочастотного тракта, позволяющие оценить и учесть влияние нелинейностей частотных характеристик на параметры РНС.

ППФ в составе РНС предназначен для подавления внеполосных излучений.

На рис. 1 приведен вариант исполнения принципиальной схемы ППФ четырнадцатого порядка.

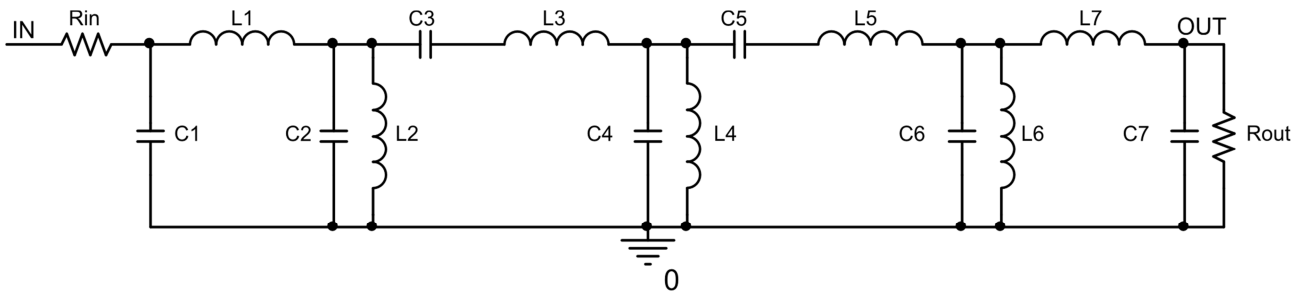


Рис. 1. Принципиальная схема фильтра, выполненная в OrCAD

На основе принципиальной схемы (рис. 1) методом узловых потенциалов было получено аналитическое выражение для комплексного коэффициента передачи ППФ:

$$\dot{K}(j\omega) = \frac{j\omega L_1 R_{out}}{R_{in} (\text{Re}[\dot{F}(j\omega)] + j\text{Im}[\dot{F}(j\omega)])}. \quad (1)$$

В формуле (1) использованы следующие обозначения и подстановки: $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, $C_1 = C_7$, $C_3 = C_5$, $C_2 = C_6$, $L_1 = L_7$, $L_2 = L_6$, $L_3 = L_5$,

$$\text{Re}[\dot{F}(j\omega)] = a(\omega)A(j\omega) - \omega L_1 B(j\omega) \quad (2)$$

$$\text{Im}[\dot{F}(j\omega)] = a(\omega)B(j\omega) + \omega L_1 A(j\omega) \quad (3)$$

$$a(\omega) = R_{out} (1 - \omega^2 L_1 C_1) \quad (4)$$

$$A(j\omega) = -(\omega L_1)^2 x_3^2 b_{y_2} b_{y_3} (g_{y_1} g_{y_4} - b_{y_1} b_{y_4}) + (\omega L_1)^2 (g_{y_1} g_{y_4} - b_{y_1} b_{y_4}) - (\omega L_1)^2 b_{y_1} b_{y_2} - x_3^2 b_{y_3} b_{y_4} + 1, \quad (5)$$

$$B(j\omega) = -(\omega L_1)^2 x_3^2 b_{y_2} b_{y_3} (g_{y_1} b_{y_4} + b_{y_1} g_{y_4}) + (\omega L_1)^2 (g_{y_1} b_{y_4} + g_{y_1} b_{y_1}) + (\omega L_1)^2 g_{y_1} b_{y_2} + x_3^2 b_{y_3} g_{y_4}, \quad (6)$$

$$b_2 = \omega C_2 - \frac{1}{\omega L_2}, \quad (7)$$

$$b_4 = \omega C_4 - \frac{1}{\omega L_4} \quad (8)$$

$$x_3 = \omega L_3 - \frac{1}{\omega C_3} \quad (9)$$

$$b_{y_1} = \omega C_1 - \frac{1}{\omega L_1} \quad (10)$$

$$b_{y_2} = b_2 - \frac{1}{\omega L_1} - \frac{1}{x_3} \quad (11)$$

$$b_{y_3} = b_4 - \frac{2}{x_3} \quad (12)$$

$$b_{y_4} = b_2 - \frac{1}{x_3} - \frac{\omega L_1 - \omega C_1 R_{out} a(\omega)}{a^2 + (\omega L_1)^2} \quad (13)$$

$$b_{y_4} = \frac{1}{R_{in}} \quad (14)$$

$$g_{y_4} = \frac{R_{out}}{a^2 + (\omega L_1)^2} \quad (15)$$

Для сокращения объема записей в обозначениях функций (5–11, 13, 15) опущена переменная ω . На основе (1) в системе математического моделирования *MatLAB* были рассчитаны АЧХ, ФЧХ и ГВЗ. Для проверки полученного аналитического описания ППФ было проведено схемотехническое моделирование в программе *PSpice A/D* пакета *CadenceOrCAD*. Результаты расчетов полностью совпали с численным моделированием в *OrCAD*. На рис. 2–5 приведены графики частотных характеристик.

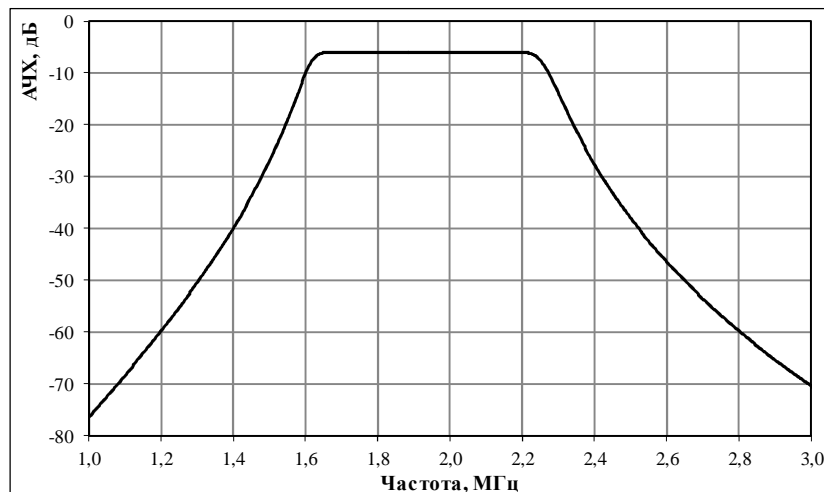


Рис. 2. Амплитудночастотная характеристика фильтра

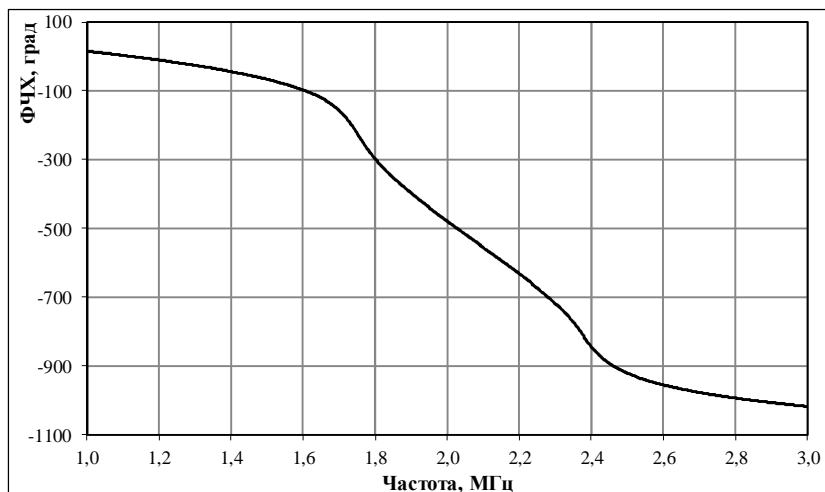


Рис. 3. Фазочастотная характеристика фильтра

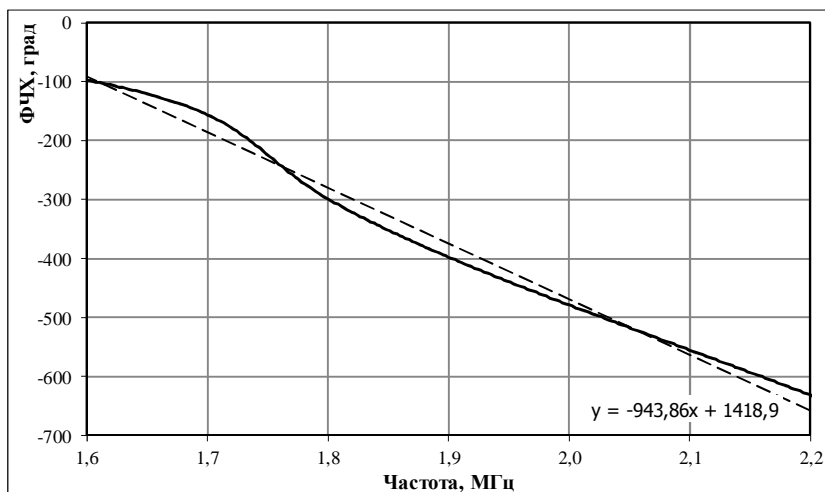


Рис. 4. Фазочастотная характеристика фильтра и линейная аппроксимация ФЧХ ($y(x)$)

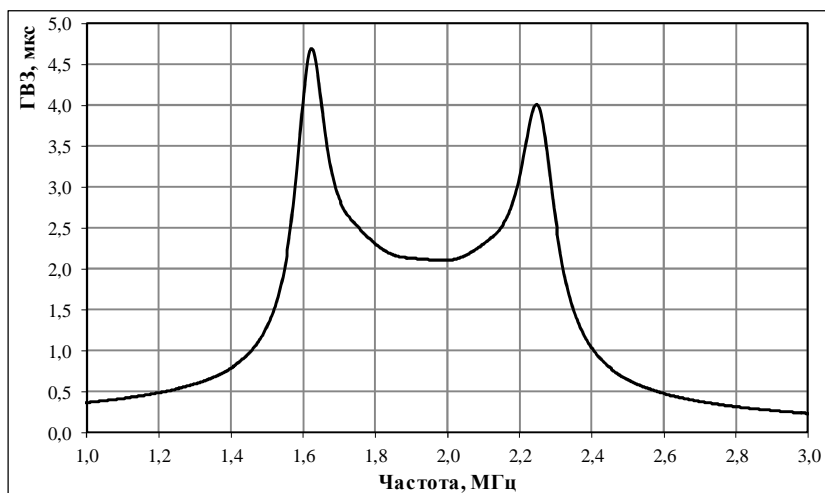


Рис. 5. Зависимость группового времени запаздывания фильтра от частоты

Из графиков (рис. 2–5) следует, что фильтрующее звено радиочастотного тракта РНС имеет существенно неравномерные частотные характеристики. В пределах рассматриваемой полосы частот неравномерность АЧХ составила $\approx 4,6$ дБ, максимальная неравномерность

ФЧХ – более 29° , а ГВЗ – свыше 2,59 мкс. Неравномерность ФЧХ определялась по величине отклонения характеристики в пределах частотного спектра от линейной зависимости, полученной путем линейной аппроксимации рассчитанной ФЧХ. Неравномерность ГВЗ приведена как разница между максимумом характеристики и значением на центральной частоте ШПС.

Амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики радиотехнических устройств изменяют спектры ШПС, т. е. влияют на закон их формирования, независимо от того, действует один сигнал или совместно с помехами [3].

Предварительный анализ частотных характеристик ППФ подтверждает актуальность и необходимость проводимых в этом направлении исследований.

Выводы

Получена аналитическая модель полосно-пропускающего фильтра в составе радиочастотного тракта РНС с ШПС.

Аналитическая модель представлена в форме комплексного коэффициента передачи.

Представленные результаты моделирования свидетельствуют о правильности разработанной модели.

Полученная аналитическая модель позволит в дальнейшем оценить влияние радиочастотного тракта на точностные параметры РНС и при необходимости осуществить коррекцию частотных характеристик цифровыми методами, или же принять решение о параметрической или структурной оптимизации радиочастотного тракта.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта, выделенного на выполнение поисковых научно-исследовательских работ в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (Государственный контракт от 31.10.2011 г. № 16.740.11.0764).

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 12-08-31097 мол_а на 2012–2013 годы.

Список литературы

1. Бондаренко В. Н., Кокорин В. И. Широкополосные радионавигационные системы с шумоподобными частотно-манипулированными сигналами. – Новосибирск: Наука, 2011. – 257 с.
2. Кузьмин Е. В. Методы равновесовой обработки шумоподобных сигналов с минимальной частотной манипуляцией // Электронное издание «Журнал радиоэлектроники» РАН. – № 9. – 2007. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep07/2/text.html> (дата обращения: 20.03.13).

3. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации / под ред. В. Б. Пестрякова. – М.: Сов. радио, 1973. – 424 с.
4. Kuzmin E.V. Accelerated Phase-lock-loop Frequency Control Methods of User's Equipment in Perspective Radio Navigation Systems // Journal of Siberian Federal University. Engineering&Technologies. – 2008. – Vol. 1, № 3. – P. 276–286.
5. Kuzmin E. V. Comparative analysis of phase-lock control system algorithms for spread-spectrum signal receiver // Journal of Siberian federal university. Engineering&technologies. – 2011. – Vol. 4, № 1. – P. 35–39.

Рецензенты:

Алдонин Геннадий Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Приборостроение и наноэлектроника» ИИФиРЭ ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Толстикова Александр Сергеевич, доктор технических наук, начальник отдела времени и частоты ФГУП «Сибирский ордена трудового красного знамени научно-исследовательский институт метрологии», г. Новосибирск.