

Література

1. Галькевич А. В. Определение показателей эффективности протокола динамической маршрутизации OSPF [Электронный ресурс], последнее изменение 29.12.2012г. / Режим доступа: http://www.rusnauka.com/26_NII_2009/Informatica/51675.doc.htm/
2. Petr Lapukhov. OSPF Fast Convergence [Электронный ресурс], INE Expert at Making You at Expert. 2010 Jun, 02 // Режим доступа : <http://blog.ine.com/2010/06/02/ospf-fast-convergence/>
3. Hubert Pun. Convergence Behavior of RIP and OSPF Network Protocols. B.A.Sc., University of British Columbia, 1998. PROJECT SUBMITTED PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN THE SCOOLOF ENGINEERING SCIENS.- p.55.
4. Internet Control Message Protocol // RFC 792. – September 1981.
5. An Ethernet Address Resolution Protocol // RFC 826. – November 1982.

УДК 621.396

Дикарев А.В. к.т.н. (*Государст. унив-т информационо-коммуникационных технологий*)

ДИСКРЕТНЫЕ ОДНОРОДНЫЕ КИХ-ФИЛЬТРЫ

Дикарев А.В. Дискретные однородные КИХ-фильтры. В статье приводится описание и синтез дискретных однородных фильтров с конечной импульсной характеристикой – КИХ-фильтров, получивших в настоящее время широкое распространение.

Ключевые слова: ДИСКРЕТНЫЙ ОДНОРОДНЫЙ КИХ-ФИЛЬТР, АЧХ, ФЧХ, ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ, ЗАДЕРЖКА

Дікарев О.В. Дискретні однорідні КІХ-фільтри. В статті приводиться опис і синтез дискретних однорідних фільтрів із кінцевою імпульсною характеристикою – КІХ-фільтрів, отримавших на даний час широке розповсюдження.

Ключові слова: ДИСКРЕТНИЙ ОДНОРІДНИЙ КІХ-ФІЛЬТР, АЧХ, ФЧХ, СМУГА ПРОПУСКАННЯ, ЗАТРИМКА

Dikariev O.V. The discrete homogeneous CIC-filters. In article the description and synthesis of homogeneous discrete filters with the final pulse characteristic – CIC-filters, that received a wide circulation, is considered.

Keywords: DISCRETE HOMOGENEOUS CIC-FILTER, AFS, PFS, PASS-BAND, DELAYS

Однородными принято называть КИХ-фильтры с одинаковыми по величине и по знаку коэффициентами b . Вследствие простоты структурной схемы и линейной фазо-частотной характеристики однородные КИХ-фильтры (рис. 1) получили большое распространение на практике.

Описание однородного КИХ-фильтра. Общая формула прохождения сигналов через однородный КИХ-фильтр имеет вид [1]:

$$y(kT) = b \sum_{n=0}^{N-1} x(kT - nT), \quad (1)$$

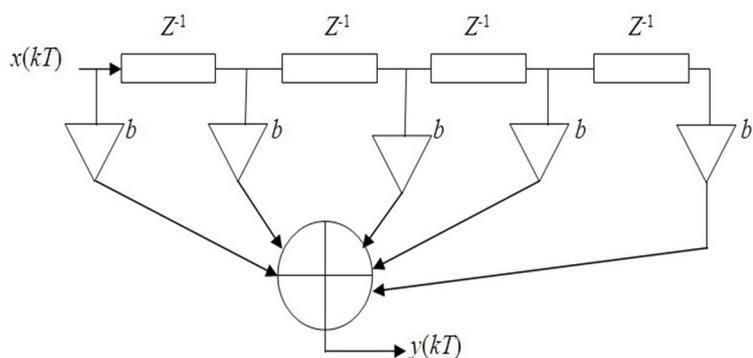


Рис. 1. Структурная схема однородного КИХ-фильтра

где k – номер выборки; N – номер отсчета; T – частота дискретизации аналогового сигнала; $x(kT \dots nT), y(kT \dots nT)$ – отсчеты входных и выходных сигналов.

Рассмотрим пример прохождения сигналов через КИХ-фильтр. Пусть значения отсчетов на входе однородного КИХ-фильтра $x(kT-nT)$, коэффициент b . произведение угловой частоты на частоту дискретизации ωT равны:

$$x(0) = 3, \quad x(1) = 5, \quad x(2) = 7, \quad x(3) = 4, \quad x(4) = 1, \\ b = 4, \quad \omega T = 2.53 \cdot 10^{-2}.$$

Отсчеты выходных сигналов однородного фильтра находятся по формуле (1):

$$\begin{aligned} k=0, \quad y(0) &= bx(0) = 4 \cdot 3 = 12, \\ k=1, \quad y(1) &= b[x(1) + x(0)] = 4(5 + 3) = 32, \\ k=2, \quad y(2) &= b[x(2) + x(1) + x(0)] = 4(7 + 5 + 3) = 60, \\ k=3, \quad y(3) &= b[x(3) + x(2) + x(1) + x(0)] = 4(4 + 7 + 5 + 3) = 76, \\ k=4, \quad y(4) &= b[x(4) + x(3) + x(2) + x(1) + x(0)] = \\ &= 4[1 + 4 + 7 + 5 + 3] = 80, \\ k=5, \quad y(5) &= b[x(4) + x(3) + x(2) + x(1)] = \\ &= 4[1 + 4 + 7 + 5] = 68, \\ k=6, \quad y(6) &= b[x(4) + x(3) + x(2)] = 4(1 + 4 + 7) = 48, \\ k=7, \quad y(7) &= b[x(4) + x(3)] = 4(1 + 4) = 20, \\ k=8, \quad y(8) &= bx(4) = 4 \cdot 1 = 4, \\ k=9, \quad y(9) &= 0. \end{aligned}$$

Найдем импульсную характеристику однородного фильтра. Методом полной индукции легко показать, что импульсная характеристика однородного фильтра равна b . Пусть на вход однородного КИХ-фильтра рис. 1 поступает дискретная δ -функция, которая описывается как $\delta(0) = 1$ и $\delta(t \neq 0) = 0$. Отсчеты импульсной характеристики, которые получаются при этом на выходе однородного фильтра, показаны ниже:

$$\begin{aligned} k=0, \quad g(0) &= b\delta(kT) = b\delta(0 \cdot T) = b \cdot 1 = b, \\ k=1, \quad g(1) &= b[\delta(kT) + \delta(kT - T)] = b[\delta(T) + \delta(1 \cdot T - T)] = b \cdot 0 + b \cdot 1 = b, \\ &\dots \end{aligned}$$

Для нахождения амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристики фильтра рассматриваемого примера перейдем к Z -преобразованию передаточной функции. Для упрощения вычислений примем $b = 1$. Тогда амплитудно-частотная характеристика A_{cx} и фазочастотная характеристика $\varphi(\omega T)$ находятся следующим образом:

$$\begin{aligned} H(Z) &= b[Z^0 + Z^{-1} + Z^{-2} + Z^{-3} + Z^{-4}] = \\ &= b[1 + \cos \omega T - j \sin \omega T + \cos 2\omega T - j \sin 2\omega T + \cos 3\omega T - j \sin 3\omega T + \\ &= \cos 4\omega T - j \sin 4\omega T]; \end{aligned}$$

$$\text{Re} = b[1 + \cos \omega T + \cos 2\omega T + \cos 3\omega T + \cos 4\omega T];$$

$$\text{Im} = -jb[\sin \omega T + \sin 2\omega T + \sin 3\omega T + \sin 4\omega T];$$

$$A_{cx} = |H(\omega)| = \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}; \quad \varphi(\omega) = -\text{arctg} \frac{\text{Im}}{\text{Re}}.$$

$$\omega T := 2.53 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{Re} := 1 + \cos(\omega T) + \cos(2 \cdot \omega T) + \cos(3 \cdot \omega T) + \cos(4 \cdot \omega T)$$

$$\text{Re} = 4.99$$

$$\text{Im} := \sin(\omega T) + \sin(2 \cdot \omega T) + \sin(3 \cdot \omega T) + \sin(4 \cdot \omega T)$$

$$\text{Im} = 0.253$$

$$\text{Acx} := \sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}$$

$$\text{Acx} = 4.997$$

$$\phi(\omega T) := -\text{atan}\left(\frac{\text{Im}}{\text{Re}}\right)$$

$$\phi(\omega T) = -0.051$$

Синтез однородного КИХ-фильтра. Исходными данными к синтезу однородного КИХ-фильтра служат ширина полосы пропускания w_p на уровне -3 дБ, ширина полосы затухания w_z и его значение в дБ. Расчет производится в нормированных частотах Найквиста-Котельникова шириной $0..0.5$.

Рассмотрим пример синтеза однородного фильтра нижних частот (ФНЧ).

Имеется аппроксимационная формула, позволяющая на основании известной полосы пропускания однородного КИХ-фильтра w_p , числа каскадов q , позволяющая найти ориентировочную величину его порядка N .

$$q := 1 \quad N := \sqrt{1 + \frac{0.17806}{w_p^2 \cdot q}} + 0.1$$

Формула определения АЧХ однородного КИХ-фильтра имеет вид [1]:

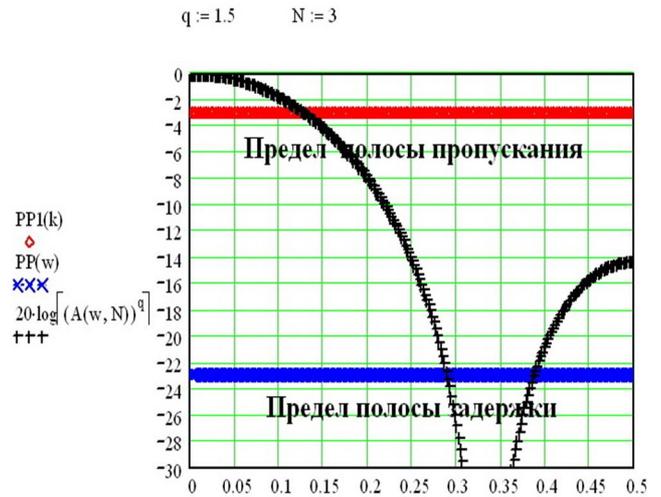
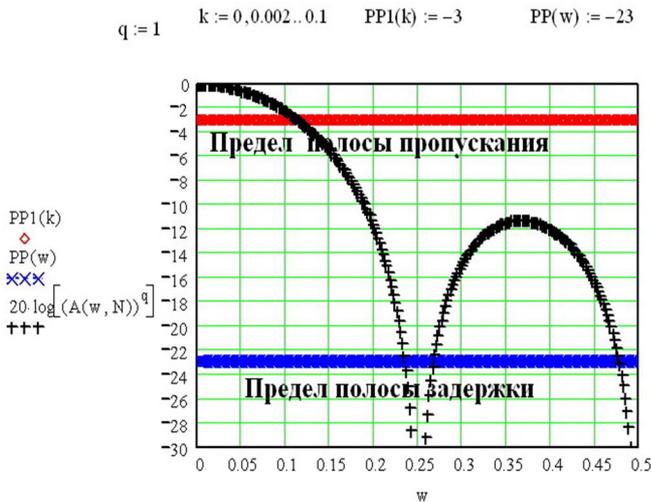
$$A(\omega) := \frac{1}{N} \cdot \left| \frac{\sin(n \cdot \pi \cdot \omega)}{\sin(\pi \cdot \omega)} \right| \quad (2)$$

Последовательность расчета в среде Mathcad [2] по формуле (2) числа звеньев однородного фильтра N и каскадов q , из которых осуществляются выводы сигналов, показан на рис. 2, 3 и 4 для однородного фильтра при исходных данных нормированной полосы пропускания $w_p = 0.12$ и задержки $w_z = 0.39$. Для наглядности проведём линии пределов для (на графике это линии $PP1(k)$ и $PP(w)$). Через точку пересечения перпендикуляра, восстановленного из абсциссы с координатой $w_p = 0.12$ к линии предела полосы пропускания, должен проходить главный лепесток амплитудно-частотного спектра однородного фильтра нижних частот.

Из рис. 2 видно, что этому условию удовлетворяет ФНЧ с $N = 4$ и $q = 1$ т.е. однокаскадный однородный ФНЧ.

Однако боковой лепесток в пределах нормированного спектра $0..0.5$ намного превышает заданный допустимый предел полосы задержки $az = -23$ дБ. На рис. 3 показан результат уменьшения числа звеньев с $N = 4$ до $N = 3$ и каскадного подключения второго звена $q = 1.5$ с дополнительным выводом выходных сигналов от фильтра. Но и синтезированный ФНЧ не удовлетворяет исходным требованиям. На рис.4 при той же величине первого каскада $N=3$ дополнительно подключаются два с половиной каскада $q = 2.5$. Полученный

однородный КИХ-фильтр (рис.4) удовлетворяет исходным требованиям. Таким образом, методом синтеза однородного КИХ-фильтра является процедура подбора числа звеньев N и каскадов q .



При нахождении выходных сигналов надо учитывать тот факт, что входными сигналами каждого последующего каскада многокаскадного фильтра являются выходные сигналы предыдущего каскада.

Выводы.

1. Из всех фильтров с конечной импульсной характеристикой и линейной фазой однородные КИХ-фильтры имеют самую простую структуру.

2. Синтез однородных фильтров методом подбора легко реализуется программным путем.

3. Поскольку расчет однородных фильтров производится в нормированном спектре частот, методика синтеза для разных устройств с различным конечным частотным спектром является универсальной.

Литература

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – С.Пб.: Питер, 2002. – 608 с.
2. Дьяконов В.П. Mathcad 8 PRO в математике, физике и Internet / В.П. Дьяконов, И.В. Абраменкова И.В. // – М.: Нолидж, 2004. – 512 с.

