

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ПОЛОСОВЫХ ФИЛЬТРОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

**Буштрук Т. Н.<sup>1</sup>, Мазанов А. С.<sup>1</sup>, Буштрук А. А.<sup>2</sup>, Лохин В. В.<sup>1</sup>**

1). Самарский государственный университет путей сообщения

2). Самарский национальный исследовательский университет  
Самара, Российская Федерация

Использование нелинейных фильтров обеспечивает улучшение полосовых характеристик системы без увеличения времени переходного процесса. Произведение времени переходного процесса на ширину полосы пропускания в линейной динамической системе есть величина постоянная [1]. В нелинейных системах эту постоянную величину можно уменьшить. Ниже приведена модель структурной схемы нелинейного полосового фильтра (рисунок 1).

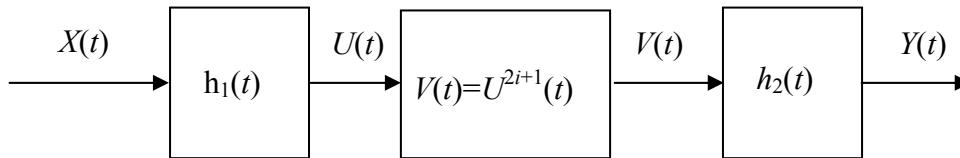


Рисунок 1 Структура модели нелинейного полосового фильтра

В приведенной структуре нелинейного полосового фильтра  $h_1(t)$  – импульсная переходная характеристика (ИПХ) линейного полосового фильтра,  $h_2(t)$  – ИПХ фазокорректирующего фильтра (эти фильтры описаны в [2]),  $V(t)=U^{2i+1}(t)$  – нелинейный элемент с нечетной нелинейностью. Приведены передаточные функции звеньев с ИПХ  $h_1(t)$  и  $h_2(t)$ :

$$W_{n\phi}(s) = \frac{\frac{k}{m} \left( m \frac{S \omega_p}{\theta} + 1 \right)}{S^2 + S \left( \frac{\omega_p \theta}{m} + \frac{(1+k)\omega_p}{\theta} \right) + \omega_p^2},$$

$$W_{\phi\phi}(s) = \frac{S^2 + \frac{\omega_p \theta}{m} S + k\omega_p^2}{S^2 + \left( \frac{\omega_p}{\theta} + \frac{\theta\omega_p}{km} + \frac{\theta\omega_p}{m} + \frac{1}{k} \right) S + \frac{(k+m)}{km} \omega_p^2},$$

где  $m$ ,  $k$  и  $\theta$  – задаваемые коэффициенты,  $\omega_p$  – центральная частота настройки линейного полосового фильтра.

Получены соотношения для нелинейных полосовых фильтров, синтезируемых из линейных динамических и статических нелинейных

элементов. В основу метода синтеза нелинейного фильтра положены уравнения, полученные в [3]. Проведен синтез нелинейного полосового фильтра с амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристиками, формируемыми практически независимо друг от друга.

Полученные формулы описывают амплитуды и фазовые характеристики первой гармоники на выходе  $S_m$ -системы (параллельной блочно-ориентированной нелинейной модели). Комплексный коэффициент передачи для первой гармоники имеет вид

$$W(j\omega) = a_{2i+1} K_1^{2i+1}(\omega) K_2(\omega) e^{-j\varphi_1(\omega) - j\varphi_2(\omega)},$$

где  $K_1(\omega)$ ,  $K_2(\omega)$ ,  $\varphi_1(\omega)$  и  $\varphi_2(\omega)$  - модули и фазовые характеристики звеньев в структуре нелинейной модели полосового фильтра. Из формулы видна возможность формирования амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик фильтра практически независимо друг от друга.

Параметры линейного полосового фильтра и параметры линейных фильтров в структуре нелинейного фильтра с учетом того, что величина  $2i+1$  изменяется от 3 до 7, выбраны так, чтобы обеспечить изменение добротности линейного и нелинейного полосовых фильтров в заданных пределах. Добротность определяется экспериментально по значениям амплитудно-частотной характеристики на уровне  $1/\sqrt{2}$ . В результате моделирования получены переходные процессы на выходе линейных и нелинейных полосовых фильтров при входном воздействии – единичный скачок. Коэффициент  $k$  обеспечивает масштабирование выходного сигнала нелинейного полосового фильтра.

При моделировании линейных и нелинейных полосовых фильтров использовался пакет программ ИКАР OLD, основой которого является метод  $Z$  – преобразования.

Сравнительный анализ полученных результатов показывает, что в нелинейных полосовых фильтрах можно разрешать противоречие между точностью и быстродействием, увеличивая точность при малом времени анализа сигналов.

1. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. - М.: Мир, 1983. - Т.2.

2. Bushtruk A.D., Sukhikh T.N. Structural identification of  $S_m$ -system. 9<sup>th</sup> IFAC/IFORS Simph/ on Identification and Systems Parameter Estimation. Budapest, Hungary, 8-12 July, 1991. - P. 628-633.

3. Буштрук А. Д., Буштрук Т. Н., Фазлыев И. И. Корреляционно-спектральный метод идентификации квазистационарных временных процессов с разрешением противоречия между точностью и быстродействием // Автоматика и телемеханика. – 2011. – № 7. – С. 147-158.