

## ОРТОГОНАЛЬНЫЙ ФИЛЬТР ЛАГЕРРА С ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ СХЕМОЙ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Ортогональный фильтр Лагерра является линейной системой с одним входом и  $n$  выходами, откликающейся на типовое воздействие вида дельта-функции  $\delta(t)$  семейством ортогональных функций Лагерра [1; 2]. Ортогональные фильтры широко применяются в коррелометрах [3], спектроанализаторах, конструируемых на их базе. При использовании ортогонального фильтра в формирователе коэффициентов разложения, например в случае разложения корреляционной функции в ряд, выходные сигналы фильтра Лагерра определяются по формуле

$$y_k(t) = \int_0^t g_k(\tau) x(t - \tau) d\tau,$$

где  $x(t)$  — входной сигнал;  $g_k(t)$  — импульсная характеристика  $k$ -й ячейки, представляющая собой (с точностью до масштабного коэффициента)  $k$ -ю функцию Лагерра.

В частном случае на выходе ортогонального фильтра Лагерра, возбужденного  $\delta$ -функцией, получается семейство функций Лагерра  $L_k(x) = e^{-x/2} L_k(x)$ ,  $L_k(x)$  — полиномы Лагерра.

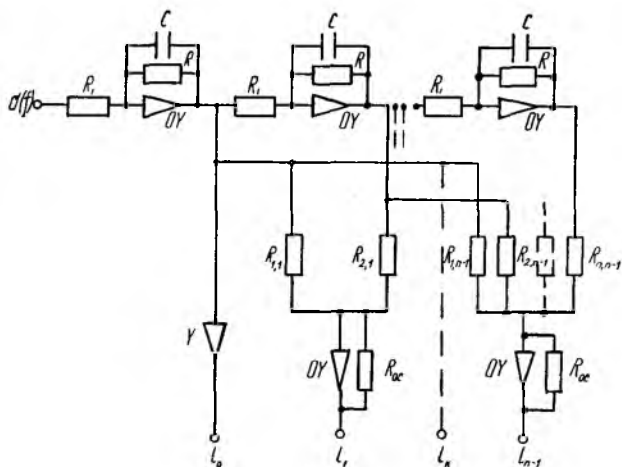
При синтезе канонической системы ортогонального фильтра Лагерра используется соотношение  $K_k(p) = \prod_{i=0}^k A_i(p)$ . Здесь  $K_k(p)$  — передаточная функция  $k$ -й ячейки фильтра;  $A_i(p)$  — передаточная функция  $i$ -го элементарного четырехполюсника,

$$A_0(p) = 1 / \left( 1 + \frac{2p}{\lambda} \right), A_1(p) = \dots = A_k(p) = \left( \frac{2p}{\lambda} - 1 \right) / \left( \frac{2p}{\lambda} + 1 \right).$$

Для реализации такой ортогональной системы используется последовательное соединение резистора и операционного усилителя с обратной связью [3]. Каждая ячейка, кроме последней, соединена разделительным конденсатором со входом операционного усилителя последующей ячейки и подключена через инвертор ко входному резистору упомянутой последующей ячейки.

Для повышения точности формирования откликов ортогонального фильтра Лагерра, содержащего  $n$  ячеек, можно использовать параллельно-последовательное построение его схемы (рисунок). В устройство фильтра Лагерра введена последовательность из  $n-1$  суммирующих усилителей, каждый из которых снабжен  $k+1$  входами и имеет коэффициент передачи  $a_{i,k}$ , по  $i$ -му его входу, равный величине  $a_{i,k} = 2^{i-1} C_k^{i-1}$ . Здесь  $k$  — порядковый номер суммирующего усилителя,  $1 \leq k \leq n-1$ ;  $C_k^{i+1}$  — число сочетаний из  $k$  по

$i-1$ . Сигнал с первой ячейки подается на выход фильтра через инвертор, а с остальных ячеек — через суммирующие усилители. Каждый суммирующий усилитель имеет входы, количество которых на единицу больше его порядкового номера в последовательности. Суммирующий усилитель состоит из операционного усили-



теля ОУ с резистором  $R_{oc}$  в цепи отрицательной обратной связи. Вход  $k$ -го операционного усилителя соединяется с каждым из  $k+1$  входов суммирующего усилителя через входные  $i$  резисторы в  $k$ -м сумматоре  $R_{i,k}$  (рисунок). Значения  $R_{i,k}$  связаны с величиной сопротивления  $R_{oc}$  резистора отрицательной обратной связи зависимостью  $R_{i,k} = R_{oc}/a_{i,k}$ , где  $a_{i,k}$  — коэффициент передачи  $k$ -го суммирующего усилителя по  $i$ -му входу.

Сигнал  $u_i(t)$ , сформированный в  $i$ -й ячейке фильтра, поступает на  $i$ -е входы всех суммирующих усилителей, а также на последующую  $(i+1)$ -ю ячейку фильтра, с выхода которой подается на  $(i+1)$ -е входы суммирующих усилителей. Усиленные сигналы в соответствии с коэффициентом передачи  $a_{i,k}$  по каждому  $i$ -му входу усилителя инвертируются и суммируются. Выходной сигнал каждого из  $k$ -х суммирующих усилителей

$$u_{\text{вых}_k}(t) = - \sum_{i=1}^{k+1} a_{i,k} u_i(t).$$

При конструктивном выполнении фильтра Лагерра переход от схемы с последовательно соединенными ячейками к схеме с параллельно-последовательным ее построением может привести к уменьшению сужения эквивалентной полосы пропускания фильтра, снижению искажения его импульсной характеристики и в результате — к повышению точности формирования выходных сигналов.

Для оценки точности формирования выходных сигналов разработали экспериментальный макет ортогонального фильтра Лагерра. Лабораторный макет состоял из пяти ячеек, каждая из которых содержала последовательно соединенные входные резистор и операционный усилитель, между зажимами которого подключена цепь отрицательной обратной связи, состоящая из параллельно соединенных резистора и конденсатора.

Точность фильтра Лагерра с последовательно-параллельной схемой проверялась в лабораторных условиях на макете фильтра. При опытной проверке оценивались ошибки приближения в равномерном смысле откликов ортогонального фильтра Лагерра на входной сигнал в виде  $\delta$ -импульса к рассчитанным теоретически функциям Лагерра соответствующего порядка. Результаты опытной проверки показали, что точность формирования выходных сигналов фильтром Лагерра с параллельно-последовательной схемой повышается не менее чем в 1,5 раза.

Рассматриваемый фильтр Лагерра промоделировали на аналоговой вычислительной машине (АВМ) МН-7М. При формировании ортогональных функций Лагерра, которыми являются импульсные характеристики ячеек ортогонального фильтра, для имитации типового воздействия типа  $\delta$ -функции на вход моделируемого фильтра Лагерра с постоянной времени, равной 1 с, подавались прямоугольные импульсы длительностью 20 мс, т. е. много меньшей его постоянной времени. Испытания проводились по следующей методике.

Прямоугольные импульсы с частотой следования 10 Гц с генератора импульсов Ф590 поступали на цифровой делитель частоты на 100, выходы всех разрядов которого подавались на две схемы совпадения. Выходной сигнал первой схемы совпадения вырабатывался в момент времени, соответствующий нулевому состоянию всех разрядов делителя частоты. На входы второй схемы совпадения могут подаваться любые комбинации разрядов делителя частоты. Поэтому выходной сигнал данной схемы совпадения появлялся в один из моментов времени наличия импульса от генератора. Этот импульс подключался ко входу «ЗАПУСК ВНЕШНИЙ» аналого-цифрового преобразователя (АЦП) Ф722/3. Выходной сигнал первой схемы совпадения через формирователь импульсов, вырабатывающий импульсы длительностью 20 мс, поступал на АВМ, на вход «СЧИТЫВАНИЕ» АЦП и на запуск развертки осциллографа С1-19Б. Сигналы с АВМ подавались на вход осциллографа и на АЦП, выход которого представлял выборки значений выходных сигналов фильтра Лагерра в дискретные моменты времени, определяемые работой генератора импульсов. Выходной сигнал АЦП в двоичном коде поступал в блок индикации, где считывался. Выходные сигналы ячеек фильтра Лагерра наблюдались на экране осциллографа.

По полученным при моделировании на АВМ МН-7М фильтра Лагерра опытным данным рассчитана погрешность равномерного приближения

$$\Delta_k = |l_k(t_i) - y_k(t_i)|/l_k(t_i),$$

где  $l_k(t_i)$  — значение  $k$ -й функции Лагерра в точке  $t_i$ . Результаты моделирования показали, что точность приближения в равномерном смысле для исследуемых ячеек при построении фильтра Лагерра по параллельно-последовательной схеме повышается примерно в полтора раза.

**Список литературы:** 1. *Мирский Г. Я.* Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. — М.: Энергия, 1972. — 154 с. 2. *Куля В. И.* Ортогональные фильтры. — К.: Техніка, 1967. — 240 с. 3. *Горбачевич Е. Д.* Коррелометры с аппроксимацией. — М.: Энергия, 1971. — 96 с.

Поступила в редколлегию 27.12.85

УДК 621.396

*И. Н. ПРЕСНЯКОВ*, канд. техн. наук, *О. Г. РУДЕНКО*, канд. техн. наук,  
*О. В. СЫТНИК*, канд. техн. наук

#### АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ В УСЛОВИЯХ АПРИОРНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

При исследовании различных радиотехнических систем обработки сигналов в условиях отсутствия достаточно полной априорной информации о корреляционных свойствах помех все более широкое распространение получают адаптивные методы. Весьма перспективно применение данных методов при анализе устройств обработки сигналов в антенных решетках (АР). Такой подход позволяет не только оценивать вектор весовых коэффициентов решетки в условиях априорной неопределенности, но и формировать диаграмму направленности антенны с заданными свойствами.

Однако в связи с тем, что при сканировании луча антенны и действии различного рода помех накладываются жесткие требования к быстродействию алгоритмов обработки сигналов в АР, возникает задача выбора алгоритма оценки, с одной стороны, достаточно простого в вычислительном отношении, а с другой — обеспечивающего получение приемлемой оценки вектора весовых коэффициентов решетки.

Ряд задач радио- и гидролокации характеризуется относительно высоким соотношением сигнал-шум и отсутствием априорного описания входных сигналов. В этих условиях алгоритм вычисления оценки вектора весовых коэффициентов, предложенный в работе [1], не удовлетворяет критерию оптимальности одновременно по двум параметрам — величине дисперсии оценки вектора весовых коэффициентов и показателю скорости адаптации. Кроме того, эффективность алгоритма, рассмотренного ранее [1], резко падает при наличии корреляции между сигналами источников по-