

АДАПТИВНОЕ ВЫРАВНИВАНИЕ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛА ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Рассматривается задача выравнивания частотной характеристики канала информационно-измерительной системы и уменьшения динамической погрешности измерения. Предлагается структура адаптивной системы, выполняющей обратное моделирование с использованием адаптивного трансверсального фильтра-компенсатора, коэффициенты которого настраиваются с помощью рекуррентного метода наименьших квадратов. Проводится имитационное моделирование на ЭВМ функционирования предложенной адаптивной системы, исследуется влияние вида входного калибровочного сигнала и внутренних шумов измерительного канала на качество выравнивания частотной характеристики.

Введение

Методы обработки экспериментальных данных играют существенную роль при решении различных технических задач, в том числе в измерительной практике. С усложнением измерений и повышением требований к их точности их роль становится все более важной. При решении многих современных измерительных задач получить требуемую точность результатов удастся, лишь применяя более эффективные методы обработки данных [1, 2].

Одним из факторов, оказывающих существенное влияние на погрешность измерения, является неравномерность коэффициента передачи измерительного тракта в рабочем диапазоне частот. Это приводит к появлению дополнительной систематической погрешности и искажению формы измеряемого сигнала. Одним из эффективных методов решения данной проблемы является использование адаптивного фильтра-компенсатора, осуществляющего выравнивание частотной характеристики измерительного канала. Рассматриваемая задача является особенно актуальной для информационно-измерительных систем, в которых преобладает цифровая обработка измерительной информации, что позволяет реализовать широкий спектр методов цифровой фильтрации сигналов.

Целью данного исследования является разработка адаптивной системы выравнивания частотной характеристики канала информационно-измерительной системы. При этом решаются следующие *задачи*:

- 1) анализ математической модели измерительного канала;
- 2) разработка структуры адаптивной системы коррекции частотной характеристики и выбор метода настройки коэффициентов фильтра-компенсатора;
- 3) имитационное моделирование на ЭВМ функционирования предложенной адаптивной системы коррекции частотной характеристики;
- 4) исследование влияния вида входного калибровочного сигнала и внутренних шумов измерительного канала на качество выравнивания частотной характеристики.

1. Математическая модель канала информационно-измерительной системы

Информационно-измерительная система представляет собой совокупность измерительных каналов, измерительных устройств и других технических средств, объединенных для создания и анализа сигналов цифровой измерительной информации о нескольких одно- или разнородных величинах и других видов информации. Измерительный канал – это совокупность средств измерительной техники, средств связи и других технических средств, предназначенных для создания сигнала измерительной информации об одной измеряемой величине. Измерительный канал является одной из основных составных частей информационно-измерительной системы.

Обобщенная структурная схема канала измерительной системы представлена на рис. 1.

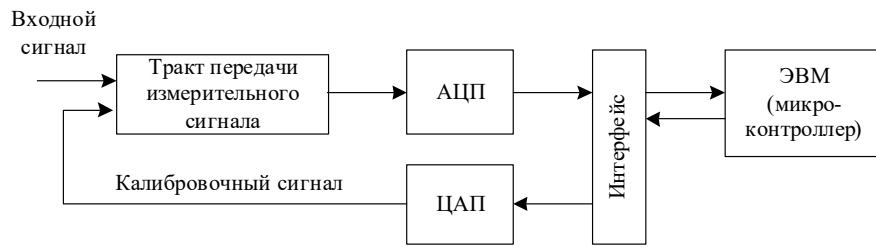


Рис. 1. Обобщенная структурная схема канала информационно-измерительной системы

Входной измерительный сигнал от первичного измерительного преобразователя (датчика) проходит через аналоговый тракт передачи, который обычно включает такие функциональные блоки, как входное устройство, устройство выбора предела измерения, ряд каскадов усиления и функциональных преобразователей.

Аналого-цифровой преобразователь служит для преобразования электрического информационного параметра аналогового сигнала (чаще всего напряжения) в двоичный цифровой код. Современные АЦП выполнены, как правило, в виде специализированных интегральных микросхем, которые отличаются методом преобразования, разрядностью и быстродействием.

Перед проведением измерений осуществляется процедура калибровки в целях минимизации систематических погрешностей измерения. В этом режиме на вход измерительного канала подается образцовый калибровочный сигнал, сформированный цифро-аналоговым преобразователем. Форма и параметры этого сигнала определяются последовательностью цифровых кодов, поступающей на вход ЦАП из управляющего устройства.

Для согласования измерительного канала с центральным устройством управления и обработки информационно-измерительной системы, в качестве которого выступает ЭВМ или микроконтроллер, используется интерфейс, позволяющий обеспечить информационную, электрическую и конструктивную совместимость измерительной части и управляющего устройства. Для информационно-измерительных систем характерно широкое использование стандартных интерфейсов (ISA, PCI, RS-232, USB, IEEE 488 и др.), что дает возможность существенно упростить решение задачи сопряжения устройств системы между собой.

С точки зрения преобразования измерительного сигнала канал информационно-измерительной системы представляет собой динамическую систему, для описания которой необходимо использовать адекватную математическую модель. Для рассматриваемой задачи предположим, что измерительный канал относится к классу линейных систем и описывается передаточной функцией общего вида

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_{N_B} z^{-N_B}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_{N_A} z^{-N_A}}. \quad (1)$$

В частотной области поведение системы (1) описывается комплексной частотной характеристикой

$$H(e^{j\omega}) = \frac{b_0 + b_1 e^{-j\omega} + \dots + b_{N_B} e^{-j\omega N_B}}{1 + a_1 e^{-j\omega} + \dots + a_{N_A} e^{-j\omega N_A}} = |H(e^{j\omega})| e^{j \arg H(e^{j\omega})}, \quad (2)$$

модуль которой известен как АЧХ, а аргумент – как ФЧХ. Поскольку в подавляющем большинстве случаев информативным параметром является амплитуда сигнала, то к АЧХ выдвигается требование равномерности в рабочем диапазоне частот измеряемых сигналов. Гораздо реже требования выдвигаются и к ФЧХ, обычно это требование линейности, которое встречается в задачах обработки речи.

Однако практика показывает, что даже в полосе пропускания канала АЧХ не бывает идеально равномерной, что приводит к появлению частотной или динамической погрешности, которая обусловлена отклонением реального значения коэффициента передачи от его номинального значения. Задача состоит в том, чтобы обеспечить постоянное значение

коэффициента передачи измерительного канала во всем рабочем диапазоне частот и минимизировать погрешность, обусловленную неравномерностью частотной характеристики.

Таким образом, в качестве математической модели канала информационно-измерительной системы мы будем использовать линейный динамический объект, описываемый передаточной функцией общего вида (1) и имеющий произвольную форму частотной характеристики.

2. Выравнивание частотной характеристики измерительного канала с помощью обратного адаптивного моделирования

Одним из методов решения рассматриваемой задачи является обратное адаптивное моделирование [3]. Обратная модель некоторой системы с неизвестной передаточной функцией представляет собой систему с передаточной функцией, которая в определенном смысле является наилучшим приближением функции, обратной неизвестной передаточной функции.

На рис. 2 представлена структурная схема адаптивной системы выравнивания частотной характеристики измерительного канала. Внутренний шум измерительного канала представляется аддитивным шумом $\xi(n)$ на его выходе. Выходной зашумленный сигнал измерительного канала $x(n)$ подается на вход адаптивного фильтра. В результате процесса адаптации коэффициенты адаптивного фильтра, являющегося в данном случае обратной моделью измерительного канала, настраиваются таким образом, чтобы его выходной сигнал $y(n)$ являлся наилучшим приближением сигнала $s(n)$ на входе измерительного канала.

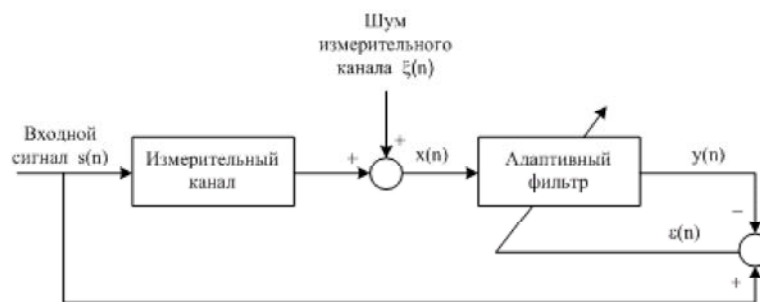


Рис. 2. Структура адаптивной системы выравнивания частотной характеристики канала информационно-измерительной системы

Адаптивный КИХ-фильтр, структура которого приведена на рис.3, описывается разностным уравнением вида

$$y(n) = w_0(n)x(n) + w_1(n)x(n-1) + w_2(n)x(n-2) + \dots + w_L(n)x(n-L) = W^T(n)X(n), \quad (3)$$

где $x(n)$, $y(n)$ – входной и выходной сигналы фильтра соответственно; $n = 0, 1, 2, \dots$ – дискретное время; $W(n) = (w_0(n), w_1(n), w_2(n), \dots, w_L(n))^T$ – вектор настраиваемых параметров; $X(n) = (x(n), x(n-1), x(n-2), \dots, x(n-L))^T$ – вектор фазовых переменных.

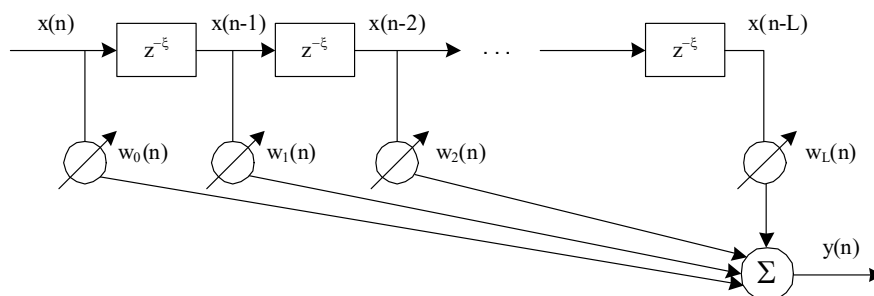


Рис. 3. Адаптивный трансверсальный фильтр

Введем критерий оптимальности

$$J_n = \sum_{i=1}^n (s(i) - y(i))^2 = \sum_{i=1}^n (s(i) - W^T(i)X(i))^2, \quad (4)$$

минимизация которого приводит к хорошо известному рекуррентному методу наименьших квадратов [4]:

$$\begin{cases} W(n) = W(n-1) + \frac{P(n-1)(s(n) - y(n))}{1 + X^T(n)P(n-1)X(n)} X(n), \\ P(n) = P(n-1) - \frac{P(n-1)X(n)X^T(n)P(n-1)}{1 + X^T(n)P(n-1)X(n)}. \end{cases} \quad (5)$$

Преимущество процедуры (5) состоит в том, что она ведет активное накопление информации и подстраивает коэффициенты адаптивного фильтра на каждом такте времени, не требует хранения в памяти всей предыстории процесса, обеспечивает довольно быструю сходимость оценок и хорошо работает в условиях помех.

Следует отметить несколько факторов, ограничивающих возможность построения обратной модели с малым значением среднеквадратической ошибки.

Во-первых, наличие шума измерительного канала $o(n)$ приводит к возникновению шума на выходе адаптивного обратного фильтра. При наличии шума передаточная функция адаптивного фильтра в установившемся режиме в общем случае не является обратной к передаточной функции канала измерительной системы.

Во-вторых, адаптивный трансверсальный фильтр обладает конечной импульсной характеристикой. В этом случае возможна только приближенная реализация импульсной характеристики обратной модели для системы с бесконечной импульсной характеристикой. Улучшить качество адаптации в этом случае можно путем увеличения числа коэффициентов фильтра-компенсатора.

В-третьих, на качество адаптации значительное влияние оказывает входное воздействие. Чем богаче спектр входного сигнала, тем быстрее идет настройка коэффициентов адаптивного фильтра.

3. Исследование влияния вида входного сигнала и собственных шумов канала на качество адаптивного выравнивания частотной характеристики

Для исследования свойств и характеристик адаптивных систем выравнивания частотной характеристики измерительного канала использовался метод имитационного моделирования на ЭВМ. С этой целью была разработана программа на языке MATLAB, использующая функции проектирования адаптивных фильтров библиотеки Filter Design Toolbox [5].

Канал информационно-измерительной системы моделировался рекурсивным фильтром 7-го порядка; в качестве адаптивного фильтра-компенсатора, реализующего обратную модель измерительного канала, использовался нерекурсивный фильтр 15-го порядка. Для настройки коэффициентов адаптивного фильтра использовался рекуррентный метод наименьших квадратов.

В процессе моделирования исследовалось влияние вида входного сигнала и собственных шумов измерительного канала на качество адаптивного выравнивания частотной характеристики. В качестве входного калибровочного сигнала использовались следующие виды сигналов:

- 1) периодическая последовательность прямоугольных импульсов (меандр);
- 2) периодическая последовательность треугольных импульсов (пилообразный сигнал);
- 3) случайный сигнал (белый гауссовский шум с нулевым средним значением);
- 4) частотно-модулированный гармонический сигнал с линейным законом изменения частоты (ЛЧМ-сигнал).

Для каждого вида входного сигнала проводилось два эксперимента:

- 1) моделирование работы системы без учета собственных шумов измерительного канала;
- 2) моделирование работы системы с учетом собственных шумов измерительного канала.

Приведенный к выходу аддитивный шум моделировался гауссовским случайным процессом с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением 0,01.

Для оценивания качества адаптивного выравнивания частотной характеристики использовались два показателя: максимальное отклонение полученной частотной характеристики от идеальной и среднеквадратическое отклонение полученной частотной характеристики от идеальной. Результаты моделирования представлены на рис. 4-6 и в таблице.

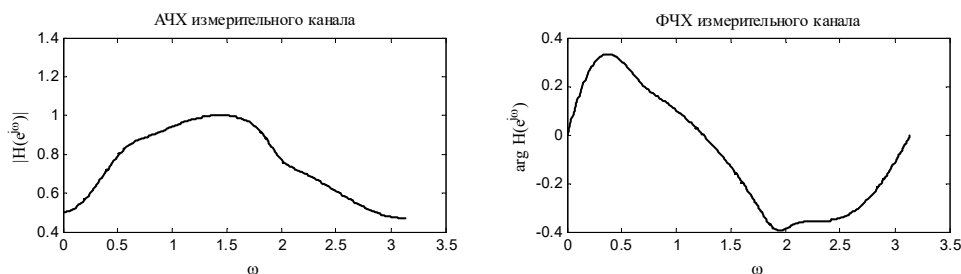


Рис. 4. Частотная характеристика измерительного канала до выравнивания

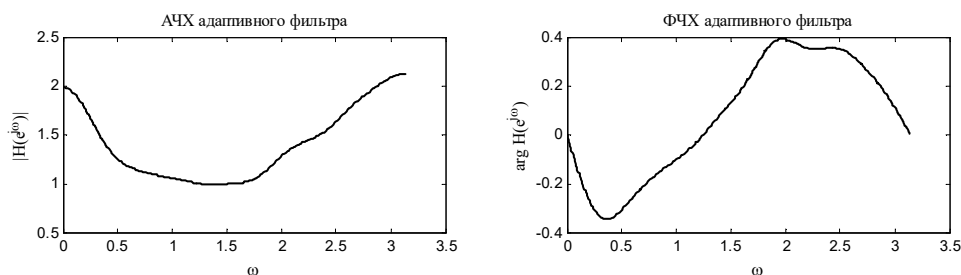


Рис.5. Частотная характеристика адаптивного фильтра

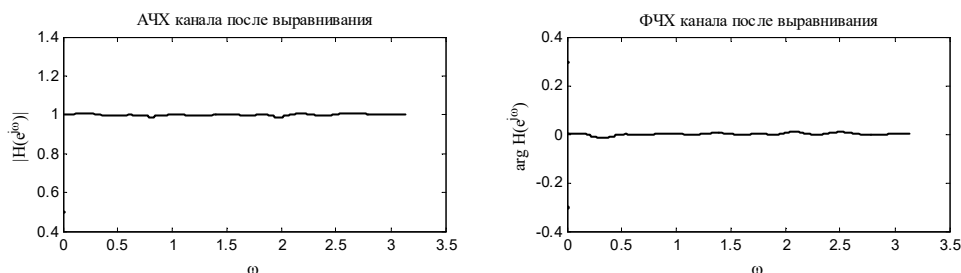


Рис. 6. Частотная характеристика измерительного канала после выравнивания

Вид входного калибровочного сигнала	Максимальное отклонение частотной характеристики от номинальной		Среднеквадратическое отклонение частотной характеристики от номинальной	
	Адаптация без учета собственных шумов	Адаптация с учетом собственных шумов	Адаптация без учета собственных шумов	Адаптация с учетом собственных шумов
1. Прямоугольные импульсы 	0,0133	0,0609	0,0054	0,0141
2. Пилообразный сигнал 	0,0128	0,0403	0,0053	0,0143
3. Случайный сигнал (белый гауссовский шум)	0,0091	0,0107	0,0032	0,0038
4. Частотно-модулированный сигнал	0,0080	0,0110	0,0031	0,0044

Выводы

Анализ результатов моделирования, представленных в таблице, позволяет сделать вывод о том, что для адаптивного выравнивания частотной характеристики измерительного канала более предпочтительными являются случайный и частотно-модулированный калибровочные сигналы, поскольку они обеспечивают лучшее качество выравнивания по сравнению с периодическими сигналами. Кроме того, для случайного и ЛЧМ-сигнала действие помех приводит лишь к незначительному увеличению максимальной и среднеквадратической погрешностей, в то время как для импульсных сигналов эти погрешности возрастают в несколько раз.

В целом результаты имитационного моделирования полностью подтверждают работоспособность рассмотренной адаптивной системы выравнивания частотной характеристики и согласуются с теоретическими выкладками.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что разработана обобщенная структура адаптивной системы выравнивания частотной характеристики измерительного канала и исследовано влияние вида входного калибровочного сигнала и внутренних шумов измерительного канала на качество выравнивания частотной характеристики, выполнен анализ результатов моделирования.

Практическая значимость работы состоит в том, что использование предлагаемого адаптивного корректора позволит существенно уменьшить систематическую погрешность динамических измерений, вызванную неравномерностью частотной характеристики измерительного канала.

Список литературы: 1. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. К.: Выща шк., 1983. 455 с. 2. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. Л.: Энергоатомиздат, 1990. 288 с. 3. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. М: Радио и связь, 1989. 440 с. 4. Льюнг Л. Идентификация систем: Теория для пользователя. М: Наука, 1991. 431 с. 5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб: Питер, 2006. 751 с.

Поступила в редколлегию 20.12.2007

Запорожец Олег Васильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры метрологии и измерительной техники ХНУРЭ. Научные интересы: адаптивные системы управления, искусственные нейронные сети, адаптивная цифровая обработка сигналов. Увлечения и хобби: рыбалка. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-331 (раб.), e-mail: oleg_zaporozhets@rambler.ru

УДК 621.373.826

А.В. ДЁГТЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОННЫХ ЗАПРЕЩЕННЫХ ЗОН ДВУМЕРНЫХ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

Исследуются параметры фотонных запрещенных зон фотонных кристаллов на основе материалов AlGaAs и GaAs. Фотонные кристаллы получены группированием отверстий в названных материалах (либо же стержней из этих же материалов в воздухе) с постоянной величиной решетки и размерами отверстий (стержней). Изучается дисперсия показателя преломления в GaAs в телекоммуникационном диапазоне длин волн. Предлагается метод расчета фотонных запрещенных зон фотонных кристаллов. Описываются геометрические области существования фотонных запрещенных зон, а также анализируется влияние геометрических параметров на параметры фотонной запрещенной зоны – ее ширину и центральную величину.

1. Введение

Фотонные кристаллы (ФК) являются одним из наиболее важных и перспективных строительных блоков для полностью оптических коммуникационных технологий. Прямое применение концепции фотонной запрещенной зоны (ФЗЗ) в общем требует использования трехмерных ФК, однако наибольший интерес в настоящее время представляют двумерные ФК, так как они являются более простыми в изготовлении и потенциально более