

УДК 621.317

И. В. БОРОХОВ, ассистент

Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗАТОРА С АДАПТИВНЫМ КОМПЕНСАТОРОМ ПОБОЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СПЕКТРА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА

Обоснован синтез квазиоптимального алгоритма решения задачи адаптивной компенсации синтезатора частоты, в качестве возбудителя рефлектометрической системы.

Обґрунтовано синтез квазиоптимального алгоритму розв'язання задачі адаптивної компенсації синтезатора частоти, в якості збудника рефлектометричної системи.

Постановка проблемы

Для измерения диэлектрической проницаемости биологических объектов дистанционным способом в широкой полосе частот возникает необходимость создания синтезатора частоты (СЧ) в качестве возбудителя рефлектометрической системы, с повышенной частотой выходного сигнала СЧ. Анализ показывает, что спектрально чистый выходной сигнал СЧ невозможно получить, используя известные способы, без ухудшения других показателей качества СЧ [1,2]. Достижение требуемых показателей СЧ возможно за счет применения метода адаптивной компенсации [3]. Однако, применение метода адаптивной компенсации в СЧ, требует проведения дополнительных исследований.

Анализ предшествующих исследований

Литературный анализ показывает, что анализу характеристик СЧ на основе фазовой автоподстройки частоты посвящено большое число публикаций [3, 4]. Основное внимание в этих работах уделено анализу зависимости полосы захвата и полосы удержания от вида статических характеристик и параметров элементов системы СЧ, зависимости времени переходных процессов от вида фильтра, точности слежения за частотой и фазой входного сигнала при наличии внутренних и внешних помех. Однако вопросы получения спектрально чистого выходного сигнала СЧ в настоящее время не имеют полного решения.

Цель статьи

Целью настоящей статьи является синтез квазиоптимального алгоритма решения задачи адаптивной компенсации синтезатора частоты, в качестве возбудителя рефлектометрической системы.

Основная часть

С практической точки зрения важно разработать такой алгоритм работы компенсатора, который бы обладал максимальной потенциальной точностью, повышенной надежностью и сравнительной простотой реализации.

Поставим задачу определения квазиоптимального решения, которое сравнительно просто реализуемо физически, обладало бы быстрой сходимостью во времени к оптимальному решению.

Очевидно, что оптимальное решение задачи адаптивной компенсации, как правило, физически нереализуемо, так как оно предполагает мгновенное измерение и усреднение во времени нескольких коэффициентов автокорреляции входных воздействий и взаимной корреляции их с эталонными сигналами, а также обращения матриц высокого порядка [1, 2].

Удобно для решения данной задачи привести ее условия к условиям классической постановки задачи адаптивной компенсации.

Представим выходной сигнал синтезатора частоты в виде усеченного ряда Вольтерра:

$$Y(p_1, \dots, p_m) \cong \sum_{n=1}^m H_n(p_1, \dots, p_n) \prod_{i=0}^n X(p_i) + N(p) \quad (1)$$

где $X(\cdot)$, $Y(\cdot)$ – преобразование Лапласа входного и выходного сигнала, соответственно;

$H_n(\cdot)$ – ядро Вольтерра или нелинейная передающая функции (НПФ) n -го порядка системы;

p_i – аргумент многомерного преобразования Лапласа;

$N(\cdot)$ – внутренние шумы системы;

$m \in [1, 2, \dots]$ – количество членов ряда, обеспечивающих требуемую для данной задачи точность исследования.

Условно представим выход и вход (со стороны КГ) СЧ соответственно в качестве «основного» и «опорного» входов адаптивного компенсатора побочных составляющих (АКПС). Тогда общая структурная схема АКПС эквивалентна схеме классического адаптивного компенсатора помех [1], так как входной сигнал $X(\cdot)$ статически связан только с выходным сигналом динамической системы и некоррелирован с ее внутренними шумами. При этом в соответствии с методом «нелинейных входных сигналов» [3] общий «опорный» вход АКПС для одномерных динамических систем разделяется на m опорных входов, на каждый из которых воздействует отдельный опорный сигнал вида:

$$X_k = X_k(p_1, \dots, p_k) = \prod_{j=1}^k X(p_j); \quad k = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

Можно показать [4] также, что опорный сигнал x_k достаточно сильно коррелирован только с составляющей k -го порядка выходного сигнала реальной ССЧ, т.е. с

$$Y_k(p_1, \dots, p_k) = H_k(p_1, \dots, p_k) \prod_{i=1}^k X(p_i), \quad (3)$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

и значительно слабее взаимосвязан в статическом смысле с остальными компонентами $Y_i (i \neq k)$.

Для определения квазиоптимального решения представим выходной сигнал адаптивной схемы АКПС в виде параметрического ряда Вольтерра:

$$\sum_{k=1}^m W_k(t, p_1, \dots, p_k) \prod_{i=1}^k X(p_i) = \sum_{k=1}^m W_k(t) X_k, \quad (4)$$

где $W_k(\cdot)$ – параметрическая НПФ адаптивной схемы АКПС.

На выходе АКПС образуется сигнал ошибки $\varepsilon(\cdot)$, который в предположении от относительной малости внутренних шумов динамической системы равен

$$\varepsilon(t, p_1, \dots, p_m) Y - \sum_{k=1}^m W_k(t) X_k \cong \sum_{k=1}^m [H_k - W_k(t)] X_k. \quad (5)$$

Используя один из наиболее эффективных квазиоптимальных адаптивных методов – метод минимума среднего квадрата ошибки (МСКО) [1], а также учитывая комплексный характер входящих в выражение (5) величин, получим алгоритм регулировки k -го ($k=1, 2, \dots, m$) адаптивного фильтра АКПС. При этом комплексная дифференциальная форма записи данного алгоритма для аналоговых динамических систем имеет следующий вид [4]:

$$\frac{dW_k(t, p_1, \dots, p_k)}{dt} = 2\ell_k \mu \varepsilon(t, p_1, \dots, p_m) X_k^*; \quad (6)$$

$$\forall k \in [1, 2, \dots, m],$$

где * (звездочка) – означает комплексно-сопряженную величину;

μ – положительная постоянная (коэффициент передачи цепи обратной связи);

ℓ_k – коэффициент пропорциональности, численно равный единице;

\forall – квантор общности.

Обобщая полученный выше алгоритм можно синтезировать АКПС и для многомерных динамических систем, структура которого и его формирователя опорных сигналов также однозначно определяется методом «нелинейных входных сигналов» [3]. Аналогичным образом может быть найден дискретный вариант адаптивного алгоритма компенсации побочных составляющих по критерию МСКО, комплексная дифференциальная форма записи которого для одномерных динамических систем имеет вид:

$$W_k(j+1, Z, \dots, Z_k) = W_k(j, Z, \dots, Z_k) + 2\ell_k \mu \varepsilon(j, Z, \dots, Z_m) X_k^*, \quad (7)$$

где j – дискретное время;

$Z = (i = 1, 2, \dots, n)$ – аргументы многомерного Z преобразования.

Для исследования эффективности найденного алгоритма подавления побочных составляющих в СЧ определим погрешность компенсации АКПС в следующем виде

$$\nu_k(t, p_1, \dots, p_m) \cong H_k(p_1 \dots p_m) - W_k(t, p_1 \dots p_k), \quad (8)$$

$$K \in [1, 2, \dots, m]$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \nu_k(t, p_1 \dots p_k) = 0 \quad \forall K \in [1, 2, \dots, m]. \quad (9)$$

В свою очередь это означает, что:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} W_k(t, p_1 \dots p_k) = H_k(p_1 \dots p_k), \quad \forall K \in [1, 2, \dots, m]. \quad (10)$$

Выводы

Таким образом, передаточные функции адаптивных фильтров АКПС сходятся к НПФ соответствующих порядков динамической системы. Эффективная сходимость наблюдается и при наличии внутренних шумов по крайней мере до тех пор, пока они не превысят по уровню компенсируемые помехи. Компенсатор, в этом случае, ведет себя как линейная, инвариантная во времени динамическая система с адаптивным фильтром.

Список литературы

1. Зарецкий М. М. Синтезаторы частоты с кольцом цифровой автоподстройки / М. М. Зарецкий, М. Е. Мовшович – Л.: Энергия, 1974. – 256 с.
2. Левин В. А. Стабилизация дискретного множества частот / Левин В. А. – М.: «Энергия», 1970. – 328 с.
3. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации / [Шахгильдян В. В., Ляховкин А. А., Карякин В. Л. и др.]; Под ред. В. В. Шагельдяна [2-е изд.]. – М.: Радиосвязь 1989. – 320 с.
4. Левин В. А. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. / В. А. Левин, В. Н. Малиновский, С. К. Романов – М.: Радио и связь, 1989. – 232 с.

ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF SYNTHESIZER WITH ADAPTIVE COMPENSATOR BY INGREDIENTS OUTPUT SIGNAL SPECTRUM

I. V. BORONOV, assistant

Grounded synthesis of quasi-optimal algorithm for solving the problem of adaptive compensation frequency synthesizer, as the causative agent OTDR system.

Поступила в редакцию 23.07 2011 г.