

ГЕНЕРАТОРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЕВИАЦИИ ФАЗЫ ПОВЫШЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

© 2006 В. В. Иванов¹, В. К. Шакурский²

¹Тольяттинская государственная академия сервиса

²Тольяттинский государственный университет

Рассматривается генераторный усилитель девиации фазы периодического сигнала. Используется комбинационный генератор в режиме сверхчувствительности. Исследуются динамические и статические характеристики с помощью компьютерной модели. Приводятся результаты исследований.

Использование автоколебательной системы с комбинационным взаимодействием сигналов трех некрайних частот в режиме сверхчувствительности позволило разработать преобразователь девиации фазы с возможностью плавного изменения коэффициента преобразования [1, 2]. Эффект сверхчувствительности автоколебательных систем рассмотрен в [3]. Структурная схема преобразователя приведена на рис. 1.

Структурная схема содержит полосные усилители 1, 3, 5, 7 и смесители 2, 4, 6. Контур автоколебательной системы состоит из полосных усилителей 1, 3 и смесителей 2, 4. Входные сигналы одинаковой частоты являются сигналами синхронизации автоколебательной системы. Преобразуемым параметром является девиация фазы одного сигнала относительно другого. Значение частоты сигналов синхронизации должно быть равно сумме или разности резонансных (средних) частот полосных усилителей 1 и 3. При этом условие баланса амплитуд в пределах полос пропускания усилителей будем считать выполненным.

Установившийся режим работы автоколебательной системы определяется уравнениями

$$\begin{cases} f_0 = f_1 \pm f_2; \\ j(f_1) = \pm j(f_2) + j, \end{cases} \quad (1)$$

где $j(f_1)$ и $j(f_2)$ – фазовые сдвиги в полосных усилителях 1 и 3.

Выходной сигнал преобразователя формируется с помощью смесителя 6 и полосного усилителя 7. Частота выходного сигнала должна быть равной частоте сигнала синхронизации

$$f_3 = f_1 \pm f_2. \quad (2)$$

Полосный усилитель 7 должен иметь нулевую ФЧХ. Для коррекции погрешности из-за некоторого фазового сдвига в усилителе 7 вводится идентичный ему полосный усилитель 5.

Режим повышенной чувствительности предъявляет высокие требования к параметрам элементов преобразователей, поэтому следует использовать цифровые фильтры, имеющие линейные ФЧХ. В этом случае при

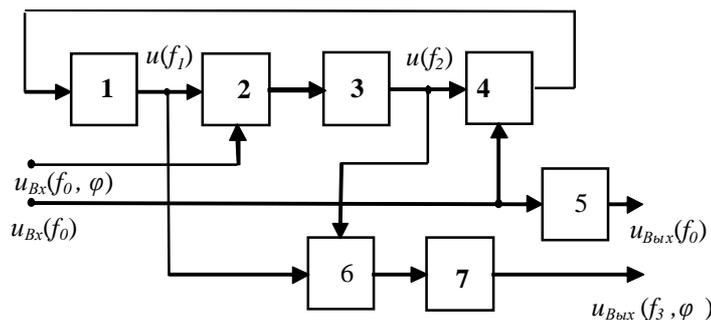


Рисунок 1

использовании в полосном усилителе 1 фильтра с инвертированной линейной ФЧХ уравнение баланса фаз принимает вид:

$$S_1(f_{01} - f_1) \pm S_2(f_{02} - f_2) - j = 0, \quad (3)$$

где f_{01} и f_{02} - средние частоты цифровых полосных фильтров; S_1 и S_2 - размерные коэффициенты, характеризующие крутизну ФЧХ.

Решение (1) с учетом (2) и (3) позволяет определить частоты генерируемых сигналов и фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами одинаковой частоты. С учетом баланса фаз фазовый сдвиг выходного сигнала относительно входного будет равен удвоенному фазовому сдвигу сигнала в любом из усилителей. Поэтому достаточно определить одну из частот, например f_1 :

$$f_1(j) = \frac{S_1 f_{01} \pm S_2 f_{02} - S_2 f_0 - j}{S_1 - S_2}. \quad (4)$$

При этом фазовый сдвиг между сигналами на выходе усилителей 5 и 7 будет определяться выражением

$$j^*(j) = \frac{2S_1 S_2 (f_{01} \pm f_{02} - f_0) - 2S_1 j}{S_1 - S_2}. \quad (5)$$

Значение коэффициента преобразования найдем из выражения для абсолютной чувствительности преобразователя

$$Dj^* = \frac{-2S_1}{S_1 - S_2} Dj = K_{np} Dj. \quad (6)$$

Видно, что изменяя крутизну ФЧХ усилителей, можно плавно изменять значение коэффициента преобразования, причем значения коэффициента преобразования в рассматриваемом режиме могут быть во много раз больше по сравнению с обычным режимом работы автоколебательной системы.

Исследование преобразователя в режиме повышенной чувствительности выполнено численным методом на компьютерных моделях в среде SIMULINK компьютерной математической системы MATLAB. Компьютерная модель преобразователя приведена на рис. 2.

Первый полосный усилитель структурной схемы преобразователя (рис. 1) моделируется Subsystem 1 (рис. 2), второй полосный усилитель моделируется Subsystem 2. Развернутая модель Subsystem 1 усилителя с инвертированной ФЧХ приведена на рис. 3. Инвертирование ФЧХ достигается двухканальным преобразованием сигнала на кратных частотах

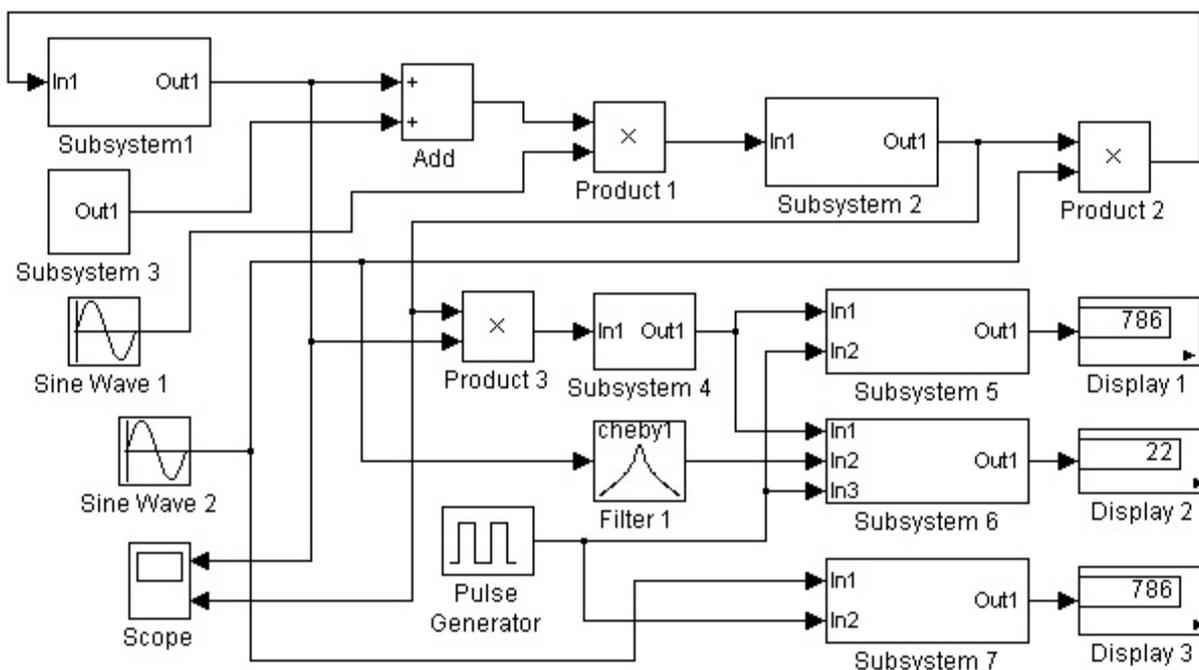


Рисунок 2

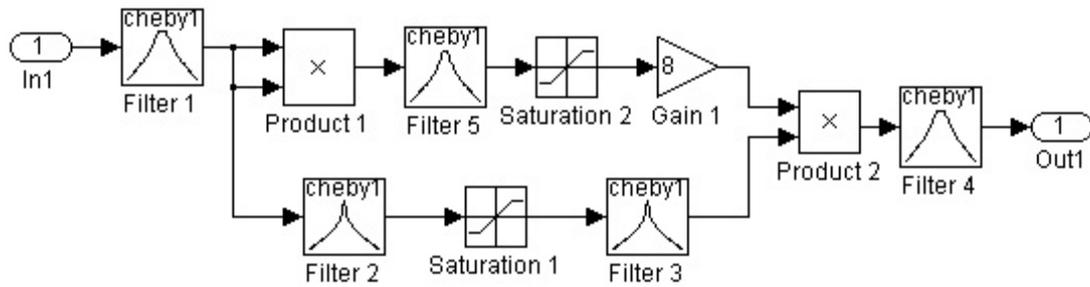


Рисунок 3

тах. Данный способ инвертирования ФЧХ подробно рассмотрен в [4, 5].

В моделях усилителей использованы фильтры Чебышева второго порядка. Усилители и ограничители необходимы для выполнения условия баланса амплитуд в установившемся режиме. Модель автоколебательной системы обладает жестким возбуждением из-за наличия перемножителей. Поэтому введен блок раскачки Subsystem 3, который вырабатывает на начальном интервале времени гармонический сигнал с частотой, примерно равной. Входные сигналы формируются двумя синусоидальными генераторами. Генерируемый выходной сигнал формируется третьим перемножителем и полосным усилителем Subsystem 4. Фильтр 1 для второго выходного сигнала введен для коррекции фазовой погрешности, возникающей в Subsystem 4. Период и фазовый сдвиг измеряются с помощью моделей соответствующих измерителей (Subsystem 5, 6, 7). Промежуточный результат выводится на дисплей, а затем пересчитывается с учетом частоты тактового генератора. Визуальный контроль генерируемых сигналов осуществляется с помощью модели двухканального осциллографа.

При использовании фильтров Чебышева второго порядка, параметры моделей которых задаются полосой пропускания, эквивалентные ФЧХ первого и второго полосных усилителей приводятся к виду:

$$\begin{aligned} j(f_1) &= \operatorname{arctg} \left(2 \frac{f_1 - f_{10}}{\Pi_1} \right), \\ j(f_2) &= \operatorname{arctg} \left(2 \frac{f_2 - f_{20}}{\Pi_2} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

где Π – полоса пропускания фильтров.

Характеристика преобразователя в этом случае становится нелинейной, однако погрешность от нелинейности характеристики меньше, чем у функций (7), так как второе нелинейное преобразование

$$j^*(j) = \operatorname{arctg} \left(2 \frac{f_1 - f_{10}}{\Pi_1} \right)$$

частично корректирует первое $f_1(j)$.

Линеаризуем (7) в области полосы пропускания и преобразуем (4) и (5):

$$f_1(j) = \frac{\Pi_2 f_{01} \pm \Pi_1 f_{02} - \Pi_1 f_0 - k^{-1} \Pi_2 j}{\Pi_2 - \Pi_1}, \quad (8)$$

$$j^*(j) = \frac{2k(f_{01} \pm f_{02} - f_0) - 2\Pi_2 j}{\Pi_2 - \Pi_1}. \quad (9)$$

При исследовании модели были выполнены условия устойчивой генерации автоколебательной системы, полученные в [5]. В рассматриваемой модели при выполнении условия баланса амплитуд для устойчивой генерации необходимо, чтобы полоса пропускания усилителя 2 была уже полосы пропускания усилителя 1 (рис. 1). В этом случае эквивалентная ФЧХ разомкнутого контура автоколебательной системы будет иметь типичный характер. Увеличение полосы пропускания усилителя 2 приводит к увеличению крутизны характеристики преобразования.

В качестве примера на рис. 4 приведены две характеристики $f_1(f_0)$ и $f_2(f_0)$ преобразования девиации фазы, полученные с помощью компьютерной модели при разных

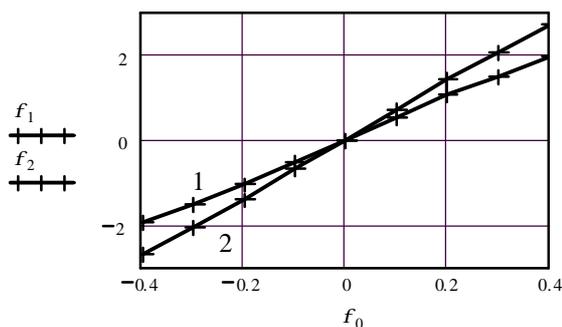


Рисунок 4

полосах пропускания второго полосного усилителя. Это зависимости фазового сдвига между выходными сигналами от фазового сдвига между входными сигналами (в радианах). Первая характеристика получена при меньшей полосе пропускания второго усилителя.

Нелинейность характеристик проявляется с увеличением фазового сдвига. Видно, что происходит усиление глубины угловой модуляции. При этом существует возможность вариации коэффициента преобразования.

Результаты компьютерного моделирования упростили макетирование преобразователей.

Список литературы

1. Пат. 2224354 РФ. 7 Н 03 D 7/16, Н 03 L 7/06. Способ преобразования девиации фазы периодического сигнала / Тольят. гос. у-т. Шакурский В. К., Иванов В. В.

№2002108171; Заявлено 01.04.2002; Опубл. 20.02.2004, Бюл. № 5, ч. 4. – С. 962.

2. Пат. 2231211 РФ. 7 Н 03 D 7/16, Н 03 L 7/06. Устройство для преобразования девиации фазы периодического сигнала / Тольят. гос. у-т. Шакурский В. К., Иванов В. В. №2002108170; Заявлено 01.04.2002; Опубл. 20.06.2004, Бюл. № 17, ч. 2. – С. 620.

3. Иванов В. В., Глушенков М. С., Шлыков С. В. Явление сверхчувствительности автоколебательных систем. // Вестник СГАУ. Серия Актуальные проблемы радиоэлектроники. - Вып. 6, 2002. – С. 42-46.

4. Иванов В. В., Шакурский В. К. Анализ свойств управляемого генератора в режиме повышенной чувствительности // Электросвязь. – 2004. № 7. - С. 43-51.

5. Иванов В. В., Шакурский В. К. Эффект преобразования в комбинационном генераторе девиации частоты сигнала синхронизации // Радиотехника. – 2004. № 4. – С. 37-40.

GENERATOR TRANSDUCER OF ENHANCED SENSITIVITY PHASE DEVIATION

© 2006 V. V. Ivanov¹, V. K. Shakursky²

¹Togliatti State Service Academy

²Togliatti State University

The paper presents a generator transducer of enhanced sensitivity phase deviation. A combinatory generator is used in the supersensitivity mode. Dynamic and statistical characteristics are analysed using a computer model. The results of the analyses are presented.