

УДК 621. 396.6

Д.Б. Кучер¹, В.П. Макогон²

¹Севастопольский национальный технический университет, Севастополь

²Конструкторское бюро «Радиосвязь» ООО «Телекарт – Прибор», Севастополь

ВОССТАНОВЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ ПРИ КОГЕРЕНТНОЙ ДЕМОДУЛЯЦИИ СИГНАЛА С НЕПРЕРЫВНОЙ ФАЗОЙ СРЕДСТВ СВЯЗИ

В работе показаны особенности реализации системы восстановления несущей при когерентной демодуляции сигнала с непрерывной фазой. Исследуются вопросы практической реализации системы фазовой автоподстройки частоты на современной элементной базе.

Ключевые слова: демодуляция, сигнал, средства связи.

Введение

Постановка задачи. Выполнение требований, предъявляемых к современным средствам радиосвязи УКВ диапазона ставит задачу повышения скорости передачи данных за счет практической реализации сигналов с непрерывной фазой.

С целью эффективного использования мощности и полосы частот в современных системах выделение опорного колебания таких сигналов производится непосредственно из принимаемого сигнала. Как правило, его спектр не содержит на частоте несущей дискретной компоненты, и задача состоит в восстановлении несущей (ВН). Выделение несущей производится нелинейным преобразованием сигнала с последующей фильтрацией системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). На сегодняшний день многие функции выполняемые аналоговыми средствами реализуются при помощи цифровой обработки сигнала на специальных сигнальных процессорах или процессорах общего назначения.

Таким образом, в настоящее время существует актуальная научно-техническая задача, направленная на реализацию систем ФАПЧ, при помощи математического аппарата, на специализированных сигнальных процессорах.

Анализ литературы, проведенный в работах [1 – 3], показывает, что общие принципы, понятия и реализация системы ФАПЧ основывалась на аналоговых либо программируемых интегральных схемах.

Целью данной работы является проведение исследования, направленных на систематизированный анализ существующих систем ФАПЧ и выбор оптимальной схемы для практической реализации ВН сигнала с непрерывной фазой.

Основной материал

Для реализации демодуляции сигнала с относительной фазовой модуляцией с непрерывной фазой величина ошибки при ВН должна быть минимизирована. Восстановление несущего колебания рассматривается как задача оптимального оценивания

фазы сигнала, при воздействии помехи на интервале длительности символа критерием максимального правдоподобия.

Форма входного сигнала описывается выражением [2]:

$$x_i(t) = \sqrt{2}A \cos(\omega_0 t + \theta_i + \varphi) + n(t). \quad (1)$$

Фаза θ_i в процессе модуляции принимает равновероятно одно из возможных значений $\theta_i = i2\pi/M$ ($i = 0, 1, 2, \dots, M-1$), φ – начальная фаза, подлежащая оценке, M – число позиций сигнала, $n(t)$ – помеха, A – амплитуда входного сигнала.

На сегодняшний день существует множество схем ФАПЧ (схема Костаса, системы ВН с ремодуляцией и с регенерацией и др.). Данные схемы отличаются степенью решаемых задач и возможностью практической реализации, однако далеки от оптимальных схем [4].

Оптимальная схема устройства формирующего оценку фазы φ показана на рис. 1. [1]

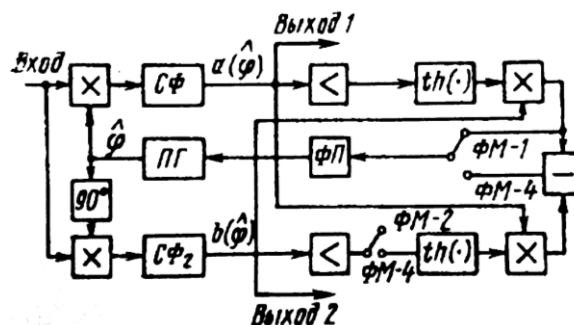


Рис. 1. Оптимальная система восстановления несущей

Значение $a(\varphi)$ и $b(\varphi)$ формируются согласованными фильтрами $СФ_1$ и $СФ_2$. Далее, сигналы перемножаются и через инерционный фильтр петли (ФП) подаются на вход подстраемого генератора (ПГ). Данные системы считаются оптимальными и по критерию минимума дисперсии фазы выделенной несущей. Максимально правдоподобная оценка φ , в данном случае, формируется с учетом M возможных гипотез о посылаемых сигналах $x_i(t)$. Такая оценка должна обеспечивать максимум выражения [5]:

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial \varphi} = C \left[\begin{array}{l} \left[\operatorname{th} \left[\sqrt{2} / (2N_0) \right] a(\varphi) \right] \frac{da(\varphi)}{d\varphi} + \\ + \left[\operatorname{th} \left[\sqrt{2} / (2N_0) \right] b(\varphi) \right] \frac{db(\varphi)}{d\varphi} \end{array} \right] = 0,$$

где: Λ – максимально правдоподобная оценка, $a(\varphi)$ и $b(\varphi)$ – сигналы на выходах когерентных согласованных фильтров $СФ_1$ и $СФ_2$, C – биномиальный коэффициент, N_0 – спектральная плотность шума.

Наличие нелинейного преобразования типа гиперболического тангенса до недавнего времени затрудняло реализацию оптимальных устройств, что приводило к противоречию между фильтрующей способностью системы и возможностью работы при больших нестабильностях несущих частот сигнала и подстраиваемого генератора (схема Костаса, системы ВН с ремодуляцией и с регенерацией и др.) [1, 2, 4].

На современном этапе развития техники, применение цифровой обработки сигнала дало возможность реализации оптимальных систем восстановления несущей при помощи математического аппарата в специализированных сигнальных процессорах (DSP). Схема устройства ВН выполненного на DSP представлено на рис. 2.

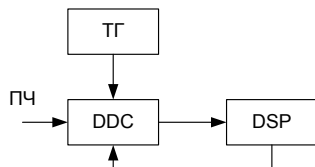


Рис. 2. Система ФАПЧ на сигнальном процессоре

Высокочастотный сигнал промежуточной частоты (ПЧ) подается на вход квадратурного преобразователя с понижением частоты (DDC). Тактовый генератор ТГ формирует импульсы установленной частоты для цифровой обработки сигнала в DDC. С выхода DDC сигнал в цифровом виде с пониженной частотой поступает на вход DSP. В высокоскоростных системах связи для уменьшения степени обработки сигнала операции возведения в степень в DSP производятся на видеочастоте.

Система обратной связи позволяет корректировать частоту опорного генератора DDC на требуемую величину без изменения тактовой частоты.

Однако реализация данной схемы в цифровом виде ставит серьезные требования и фундаментальных знаний разработчиков в области математики и цифровой техники. При этом величина выигрыша

построения оптимальной схемы при оценке фазы составляет: для систем использующих упрощенный алгоритм оценки – 2 дБ, с регенерацией фазы сигнала – 5,6 дБ, для схемы Костаса до 3 дБ. Преимуществом реализации системы ВН на DSP следует отнести:

- высокую эффективность (устойчивость к помехам, к уходу частоты следования символов от номинальной, к снижению частоты дискретизации и др.);
- способность точно восстанавливать моменты смены символов во входном сигнале при длинных (до N-1 включительно) сериях «нулей» и «единиц», причем в конце серии отсутствует переходный процесс (направленный на устранение накопленной ошибки), что характерно для аналоговых устройств с использованием ФАПЧ.

Выводы

Таким образом, применение в качестве систем ВН математического аппарата реализованного на базе DSP процессоров позволяет реализовать требуемые характеристики сигналов с непрерывной фазой близкие к оптимальным. Из приведенных результатов видно, что затраты на реализацию математического аппарата оптимальных схем решения оправданы, и позволяют в дальнейшем эффективно производить реализацию демодуляции сигналов с непрерывной фазой по когерентной схеме.

Список литературы

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: пер. с англ. / Б. Скляр. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Вильямс, 2003. – 622 с.
2. Радиоприемные устройства: учебник для вузов / Н.Н. Фомина, Н.Н. Буга, О.В. Головин [и др.] ; под ред. Н. Н. Фомина. – М.: Горячая линия–Телеком, 2007.
3. Прокис Дж. Цифровая связь / Дж. Прокис; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 2000. – 348 с.
4. Kay S. Accurate Single Frequency Estimator / S. Kay, A. Fast // IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing. – ASSP-37, 1987-1990, Dec. 1989.
5. Стиффлер Дж. Ж. Теория синхронной связи / Дж. Ж. Стиффлер; пер. с англ.– М.: Связь, 1975. – 256 с.

Поступила в редколлегию 19.03.2013

Рецензент: д-р техн. наук проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

ВІДНОВЛЕННЯ НЕСУЧОЇ ПРИ КОГЕРЕНТНОЇ ДЕМОДУЛЯЦІЇ СИГНАЛУ З БЕЗПЕРЕРВНОЇ ФАЗОЮ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ

Д.Б. Кучер, В.П. Макогон

У роботі показано особливості реалізації системи відновлення несучої при когерентній демодуляції сигналу з безперервною фазою. Досліджується питання практичної реалізації системи фазового автопідстроювання частоти на сучасній елементній базі.

Ключові слова: демодуляція, сигнал, средства связи.

CARRIER RECOVERY FOR COHERENT DEMODULATION WITH A CONTINUOUS PHASE MODULATION NAVY COMMUNICATIONS

D.B. Kucher, V.P. Makogon

The paper shows the features of the system of the carrier recovery for coherent demodulation of the signal with the continuous phase. We study the practical implementation of the phase-locked loop using modern components.

Keywords: demodulating, signal, communication means.