

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ГЕТЕРОДИНУ SDR НА ОСНОВІ ПРОГРАМНОЇ ФАПЧ

Зюмін С.А., магістрант

(Донецький національний технічний університет, м. Донецьк, Україна)

Сучасне телекомунікаційне обладнання, зокрема приймачі, конструюються за комбінованою схемою (рис. 1), що складається з апаратної частини (front end з полосовим фільтром (ПФ), аналого-цифрового перетворювача (АЦП)) та програмної частини – Software Defined Radio (SDR). Більш детально різні структури SDR приймачів описані в джерелі [1]. Програмна реалізація основних функцій приймача дозволяє впроваджувати нові алгоритми цифрової обробки сигналів (ЦОС) та розширювати функціональні можливості SDR приймачів. Сучасні телекомунікаційні стандарти висувають жорсткі вимоги до стабільності частоти, тому вимоги до гетеродинів SDR приймачів, які працюють в умовах атмосферних завад, багатопроменевого поширення та ефекту Допплера, теж жорсткі.

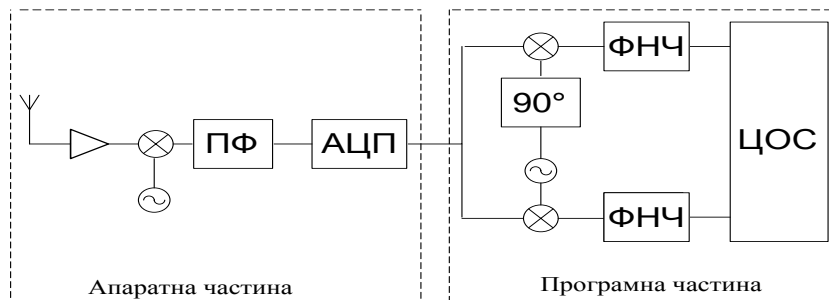


Рисунок 1 – Спрощена структурна схема SDR приймача

Для подолання проблеми нестабільності частоти несучого коливання в роботі запропоновано використовувати систему фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) (рис. 2) в якості гетеродина програмної частини SDR. ФАПЧ складається з трьох основних елементів: фазового детектору (ФД), фільтра нижніх частот (ФНЧ) та генератора керованого напругою (ГКН), які необхідно реалізувати програмно.

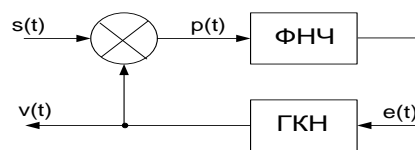


Рисунок 2 – Структурна схема контуру ФАПЧ

На вхід помножувача надходять періодичні вхідний $s(t)$ та синхронізований сигнал $v(t)$. На виході фазового детектору формується сигнал різниці фаз між вхідним сигналом та сигналом ГКН $p(t)$, за допомогою ФНЧ він перетворюється на керуючий сигнал ГКН $e(t)$, миттєва частота сигналу на виході якого залежить від керуючої напруги, а повна фаза $\Phi(t)$ дорівнює:

$$\Phi(t) = \omega \cdot t + K_0 \cdot \int_0^t e(t) dt \quad (1)$$

де K_0 – коефіцієнт пропорційності ГКН,
 ω – опорна частота ГКН.

На практиці до гетеродина SDR висуваються вимоги не тільки по стабільності частоти, але й по стабільності фази, адже фазова ознака використовується для синхронізації та демодуляції прийнятого сигналу. Забезпечити стабільність фази контур управління ФАПЧ може, якщо його порядок астатизму не менше двох. ГКН є інтегруючим елементом і має перший порядок астатизму, отже потрібен ФНЧ теж з першим порядком, щоб контур в цілому мав необхідний порядок астатизму. [2] В джерелах [2, 3] наведено формулу для розрахунку коефіцієнтів (K_i та K_p) фільтру першого порядку, що призначений спеціально для ФАПЧ, та методику перевірки системи ФАПЧ на стійкість. Програмна реалізація ФНЧ на кроці n має вигляд:

$$e(n) = K_p \cdot p(n) + K_i \cdot p(n - 1) + e(n - 1) - K_p \cdot p(n - 1) \quad (2)$$

Запропонована схема (рис. 1) містить фазообертач у програмній частині, що дозволяє отримувати синфазну (I) та квадратурну (Q) складові аналітичного сигналу. Це забезпечує можливість використовувати ФД, який не має на виході сумарних частотних компонент. Його реалізація має вигляд:

$$p(t) = Q_1(t) \cdot I_2(t) - I_1(t) \cdot Q_2(t) = \sin(\Phi_1(t) - \Phi_2(t)) \quad (3)$$

де індекси '1' та '2' означають належність змінної до вхідного сигналу та сигналу з виходу ГКН відповідно.

В ході даного дослідження було розроблено програмне забезпечення (ПЗ) (алгоритм на рис. 3), що дозволяє простежити поведінку програмного гетеродина на основі ФАПЧ при подачі на його вхід різних сигналів. ПЗ було розроблене в середовищі Microsoft Visual C++ 2010 з використанням стандартних бібліотек та бібліотеки швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Генерація аналітичного сигналу відбувалася за допомогою фільтра Гільберта.

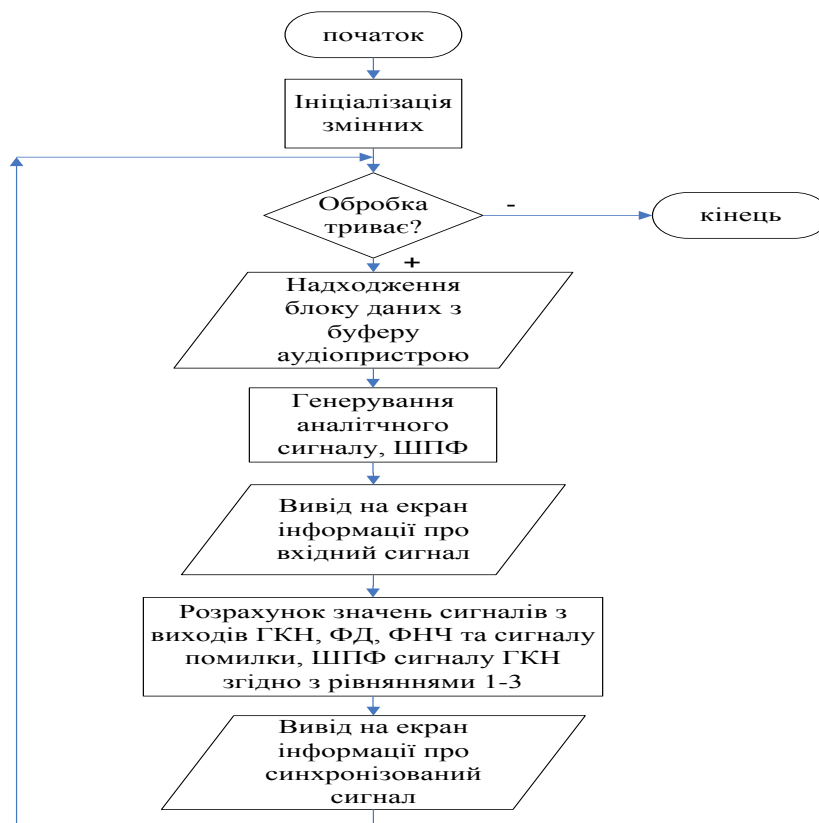


Рисунок 3 – Алгоритм роботи ПЗ

В ході експериментальних досліджень на комп'ютері було відкрито розроблену програму, сигнали з генератора гармонічних сигналів подавалися на мікрофонний вхід звукової карти комп'ютера, яка виступала у ролі аналого-цифрового перетворювача (АЦП). У головному вікні програми (рис. 4) відображається форма вхідного сигналу (I та Q компоненти) та його спектру (ліворуч), форма вихідного сигналу та його спектру (праворуч).

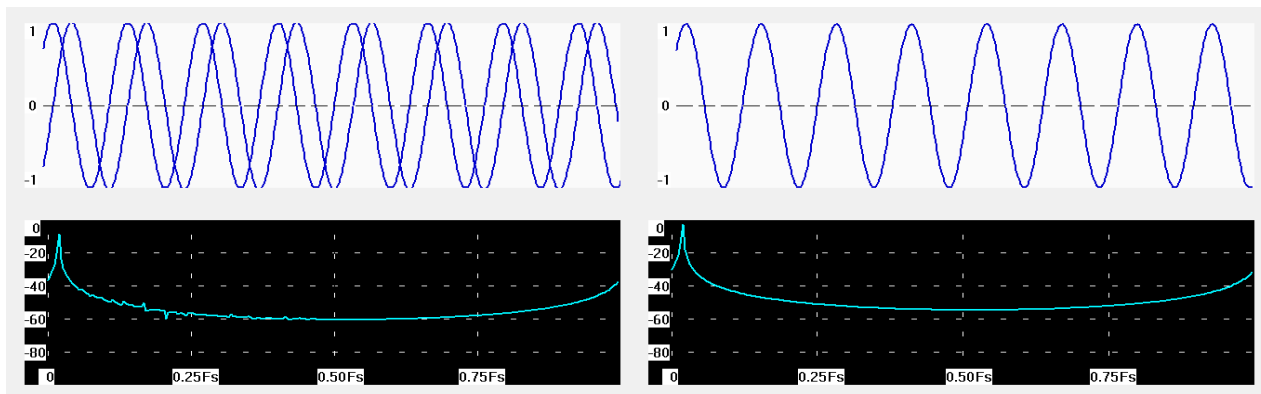


Рисунок 4 – Вигляд головного вікна програми

Окрім того, що програмний гетеродин добре слідкує за повільною зміною частоти вхідного сигналу, система ще й проявляє хороші фільтруючі властивості при слідкуванні за сигналом з низьким рівнем відношення сигнал/шум (рис. 5).

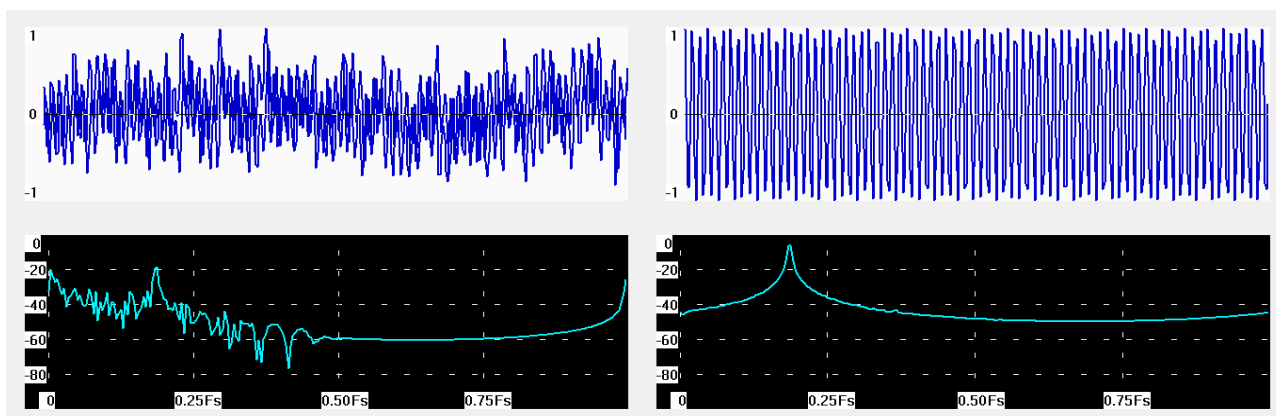


Рисунок 5 – Вигляд головного вікна програми

В результаті дослідження було запропоновано використання програмної ФАПЧ в якості гетеродина SDR приймача та обрано структуру системи, що дозволить поліпшити якість прийому сигналу в умовах завад та нестабільності несучого колювання. У порівнянні із класичною схемою ФАПЧ, запропонований програмний гетеродин працює з аналітичним сигналом, це дозволяє використовувати поліпшений ФД. Розроблено ПЗ, яке в умовах обробки реального сигналу підтвердило можливість використання системи на практиці.

Перелік посилань

1. Mike DeSimone, Software-Defined Radio: An Overview and Tutorial, 2009. – 54 с.
2. Теория и практика цифровой обработки сигналов [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dsplib.ru/>
3. Mohamed K. Nezami, RF Architectures & Digital Signal Processing Aspects of Digital Wireless Transceivers, 2003.– 513с.