

1. M. Ibnkahla. Neural Network Modeling and Identification of Non-linear Channels with Memory: Algorithms, Applications and Analytic models / M. Ibnkahla, N. J. Bershad, J. Sombrin, F. Castanie // IEEE Trans. Signal Process. – May 1998. – pp.1208–1220.
2. M. Ibnkahla. Applications of Neural Networks to Digital Communication a Survey / M. Ibnkahla // IEEE Signal Processing Magazine. – November, 1997. – pp.1186-1215.
3. M. Ibnkahla. Neural Networks for Modeling Non-linear Memoryless Communication Channels / M. Ibnkahla, J. Sombrin, F. Castanie, N. J. Bershad // IEEE Trans. Commun. – 1997. – 7 July. – pp.768–771.
4. Reyneri L. M. A Comparison between Analog and Pulse Stream VLSI Hardware for Neural Networks and Fuzzy Systems / L. M. Reyneri, H. C. A. M. Withagen, J. A. Hegt, M. Chiaberge // Proc. of MICRONEURO 94, Int'l Conf. on Microelectronics for Neural Networks and Fuzzy Systems, Torino (I), September 1994. – IEEE Computer Society Press. – pp. 77–86.
5. Кичак В.М. Синтез частотно-імпульсних елементів цифрової техніки : [монографія] / Кичак В.М. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2005. – 266 с.
6. Бардаченко В.Ф. Основи теорії таймерних обчислювально-вимірювальних пристроїв / В.Ф. Бардаченко, В.М. Кичак. – Вінниця : ВДТУ. – 2003. – 106 с.
7. Reyneri L. M. Neuro-Fuzzy Hardware: Design, Development and Performance / L. M. Reyneri // Proc. of FEPCONN III, Skukuza (South Africa), 12-15 July 1998. – pp. 305-311.
8. Проектирование многофункциональных интегральных схем / [Молчанов А.А., Волкогон В.П., Лоза Ю.Х., Яловега Г.И.]. – К. : Техніка, 1984. – 143 с.

Надійшла 17.5.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Осадчук О.В.

УДК 621.3

О.І. ПОЛІКАРОВСЬКИХ

Хмельницький національний університет

АРХІТЕКТУРА ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТИ ДЛЯ РІШЕНЬ ЦИФРОВОГО РАДІО

Розглянуто принципи організації прямих цифрових синтезаторів частоти – DDS. Виконано математичний аналіз функціонування основних елементів такого синтезатора. Розглянуто можливості застосування синтезаторів прямого цифрового синтезу для побудови телекомунікаційних систем з різними видами модуляції. Застосування цифрових синтезаторів прямого синтезу DDS значно спрощує архітектуру радіоапаратури з точки зору спрощення побудови модуляторів, демодуляторів. Значно спрощується реалізація складних видів модуляції (QAM).

The principles of direct digital frequency synthesizers - DDS. A mathematical analysis of the functioning of key elements of the synthesizer. The possibilities of application of direct digital synthesizers synthesis for the construction of telecommunication systems with different types of modulation. Thus the use of digital synthesizers direct synthesis DDS greatly simplifies the architecture of radio in terms of simplification of construction modulators, demodulators. Simplify the implementation of complex types of modulation like QAM.

Ключові слова: Software Defined Radio (SDR), радіозв'язок з програмованими параметрами компонентів, АЦП, ЦАП, КАМ, прямий синтезатор частоти, Software Defined Radio (SDR), ADC, DAC, direct frequency synthesizer (DDS), QAM.

Постановка задачі

У розвинутих країнах світу активно ведуться розробки технології, що отримала загальну назву Software Defined Radio (SDR) - радіозв'язок з програмованими параметрами компонентів (РППК)[1]. Суть технології SDR (РППК) полягає у тому, що базові параметри приймально-передавальних пристроїв визначаються саме програмним забезпеченням, а не апаратною конфігурацією. Вихідним елементом радіопередавача у такій технології є, як правило, цифровий синтезатор частоти з можливістю модуляції усіх базових параметрів сигналу (фази, частоти, амплітуди). Параметри такого синтезатора визначають якість роботи систем побудованих за технологією SDR. У процесі роботи DDS синтезатора виникає цілий ряд джерел похибок і шумів синтезатора, що призводить до погіршення тактико-технічних характеристик такої апаратури. Завданням роботи є виявлення оптимальної побудови внутрішньої структури синтезатора з метою мінімізації шумів систем SDR.

Аналіз досліджень та публікацій

DDS (Direct Digital Synthesizer – Прямий цифровий синтезатор) у спрощеному вигляді представлено на рисунку 1. DDS має у своєму складі такі основні функціональні блоки: фазовий акумулятор, перетворювач фаза – амплітуда (зазвичай це блок постійної пам'яті з записаними у неї значеннями функції синус – косинус), цифро-аналоговий перетворювач та фільтр.

Зазвичай фазовий акумулятор складається з регістра частоти розрядністю j , який зберігає значення частоти, що потрапляє на повний суматор результат роботи котрого заноситься у регістр фази. З кожним тактом f_{clk} опорної тактової частоти значення слова фази додається до даних, що зберігаються у регістрі фази. Значення P являє собою кут фази, який додається до попереднього значення кожні $1/f_{clk}$ секунди, та формує лінійно зростаючу цифрову послідовність. Значення фази формується у результаті переповнення фазового акумулятора розрядністю j -біт. Частота переповнення фазового акумулятора визначає вихідну частоту синтезатора відповідно до виразу:

$$f_{вих} = \frac{\Delta P f_{clk}}{2^j}, \quad (1)$$

де ΔP – слово приросту фази, j – кількість біт акумулятора фази, f_{clk} – опорна тактова частота, $f_{вих}$ – вихідна частота синтезатора. При цьому завжди виконується:

$$f_{вих} \leq \frac{f_{clk}}{2}, \quad (2)$$

у відповідності до теореми Котельникова [2]. У випадку повного фазового циклу $\Delta P = 1$, вираз 1 дає розрізнювальну здатність синтезатора:

$$\Delta f = \frac{f_{clk}}{2^j}. \quad (3)$$

У блоці перетворення фази на амплітуду (постійному запам'ятовуючому пристрої ROM) з таблиці синусу приріст значення фази перетворюється у цифрові значення амплітуди синусоїдального коливання. У ідеальному випадку вихідна секвентність з таблиці може бути представлена у виді:

$$\sin\left(2\pi \frac{P(n)}{2^j}\right), \quad (4)$$

де $P(n)$ – це значення фазового регістру розрядністю j на n -му такті вхідної частоти. Період повторення фазового акумулятора визначається як мінімальне значення P_e для яких $P(n) = P(n + P_e)$ для всіх n . А період повторення вихідної послідовності фазового акумулятора визначається:

$$P_e = \frac{2^j}{НСД(\Delta P, 2^j)}, \quad (5)$$

де $НСД(\Delta P, 2^j)$ є найбільший спільний дільник від ΔP та 2^j .

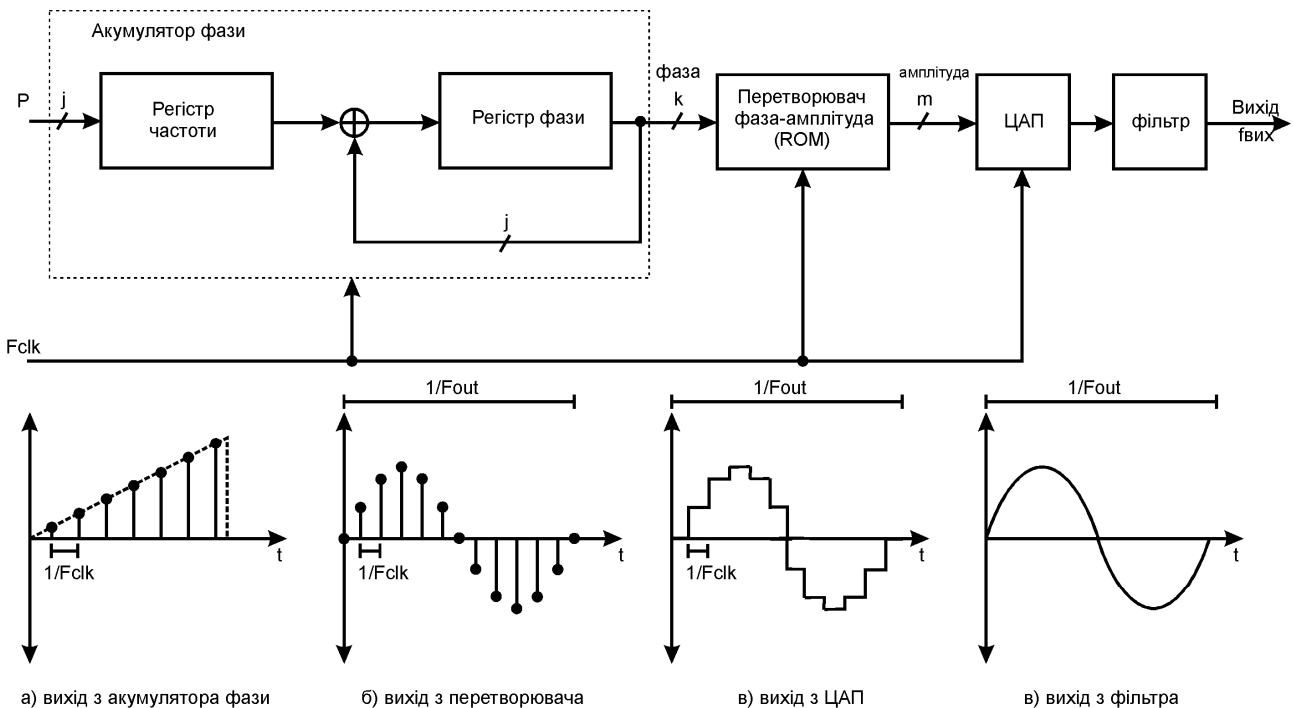


Рис. 1. Структурна схема DDS, та перетворення сигналів у ньому

Таким чином спектр вихідного сигналу DDS залежить від параметрів цифро-аналогового перетворення і характеризується дискретним спектром, що містить у своєму складі набори частот

$nf_{clk} \pm f_{out}$, де $n = 1, 2, \dots$

Амплітуди цих компонент можуть бути оцінені за допомогою функції

$$\sin c \frac{f}{f_{clk}} \tag{6}$$

Цей ефект може бути подоланий за допомогою оберненого $\sin c f / f_{clk}$ фільтра. Якщо DDS формує частоту близьку до $f_{clk}/2$ то першу паразитну гармоніку ($f_{clk} - f_{out}$) неможливо відфільтрувати. Це ще додатково знижує максимально синтезовану частоту. На практиці використовують не більше 40% від тактової частоти.

Застосування DDS не обмежується формування частоти або сітки частот. Основне застосування DDS знаходять у системах зв'язку із різними видами модуляції. У DDS можливо цифровим способом модулювати усі три параметри базового сигналу:

$$s(n) = A(n) \sin[2\pi(\Delta P(n) + P(n))], \tag{7}$$

де $A(n)$ це амплітудна модуляція, $\Delta P(n)$ – частотна модуляція, $P(n)$ – фазова модуляція. Отже будь яка форма сигналу може бути синтезована на основі цих трьох видів модуляції з врахуванням теореми Котельникова. На рис. 2 представлено архітектуру синтезатора із трьома видами модуляції.

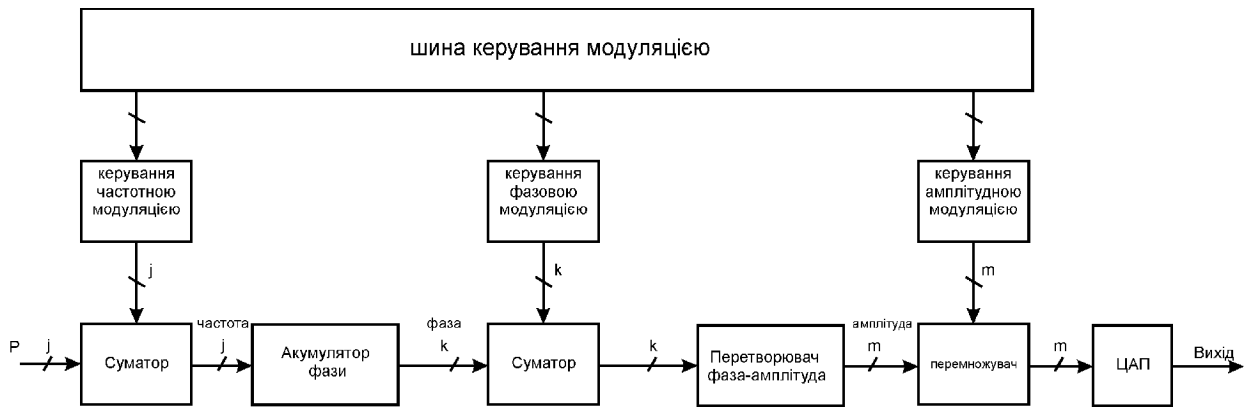


Рис. 2. Архітектура DDS з можливістю модуляції

Завданням, що часто виникає у сучасних засобах зв'язку, є реалізація квадратурного модулятора (КАМ (QAM) - модулятор), розглянемо методи його реалізації за допомогою цифрового синтезатора частоти.

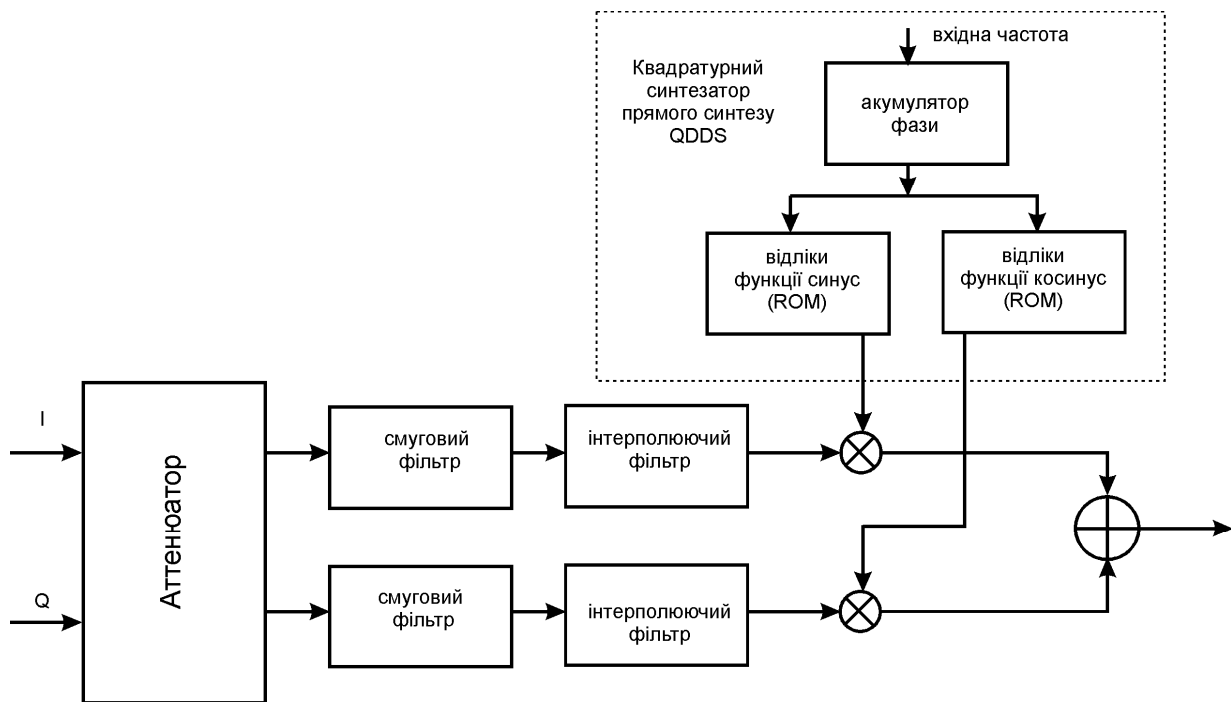


Рис. 3. QAM модулятор на основі квадратурного QDDS

Вихід такого модулятора має дві квадратурні складові:

$$\begin{aligned} I_{out}(n) &= I(n)\cos(w_{QDDS}n) + Q(n)\sin(w_{QDDS}n), \\ Q_{out}(n) &= Q(n)\cos(w_{QDDS}n) - I(n)\sin(w_{QDDS}n), \end{aligned} \quad (8)$$

де w_{QDDS} частота виходу квадратурного прямого цифрового синтезатора частоти QDDS, а $I_{out}(n), Q_{out}(n)$ відповідно модулюючі сигнали [3]. Архітектуру такого модулятора наведемо на рис.3. Атенуатор використовується для компенсації спадання форми вихідного спектру у вигляді функції $\sin(x)/x$, та часткової компенсації спотворень фази та амплітуди в вихідних аналогових фільтрах.

Смуговий фільтр обмежує смугу випромінюваного сигналу, результатом чого є обмеження кількості каналів, що можуть бути використані, а в той самий час зменшує міжканальну інтерференцію. Інтерполюючий фільтр подавляє дзеркальні складові у сигналі спектру вихідного сигналу. Квадратурний синтезатор прямого синтезу за допомогою комплексного перемноження та додавання переносить квадратурні сигнали з основної смуги частот на проміжну частоту.

Архітектура такого модулятора значно простіша за аналогові рішення, і може використовуватись у портативній апаратурі [4, 5].

Висновки

Розглянуто принципи організації прямих цифрових синтезаторів частоти – DDS. Виконано математичний аналіз функціонування основних елементів такого синтезатора. Розглянуто можливості застосування синтезаторів прямого цифрового синтезу для побудови телекомунікаційних систем з різними видами модуляції. Отже застосування цифрових синтезаторів прямого синтезу DDS значно спрощує архітектуру радіоапаратури з точки зору спрощення побудови модуляторів, демодуляторів і наближає апаратуру до концепції SDR. Значно спрощується реалізація складних видів модуляції (QAM). Завданням подальших досліджень є аналіз впливу похибок прямого цифрового синтезу на характеристики вихідного сигналу QAM модулятора та методи зменшення впливу на якість спектру вихідного модульованого сигналу.

Література

1. Силян А. Технология Software Defined Radio. Теория, принципы и примеры аппаратных платформ / А. Силян // Технологии и стандарты. – 2007. – № 2. – С. 22 – 27.
2. Vankka J. Direct Digital Synthesizers: Theory, Design and Applications/ J.Vankka // Helsinki University of Technology. – 2000. – С. 192.
3. Манасевич В. Синтезаторы частот. Теория и проектирование / Манасевич В. ; Под ред. А.С. Галина ; [пер. с англ.]. – М. : Связь, 1979.
4. Побережский Е.С. Цифровые радиоприемные устройства / Побережский Е.С. – М. : Радио и связь, 1987.

Надійшла 6.5.2012 р.
Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.

УДК 681.518:681.326.7

Д.Е. ИВАНОВ

Институт прикладной математики и механики НАН Украины, г.Донецк

АЛГОРИТМЫ ДОСТИЖЕНИЯ СОСТОЯНИЙ В ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВАХ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ДИАГНОСТИКИ

В статье рассматривается задача достижения заданного состояния в синхронных последовательностных цифровых устройствах. Предлагается два метода решения данной задачи, которые основаны на применении R- и S-последовательностей и генетического алгоритма соответственно. Описываются возможные схемы применения метода в задачах идентификации цифровых устройств.

In paper the algorithms of achieving a given state in a synchronous sequential digital devices are considered. Two methods for solving this problem are proposed. The first method is based on the use of R- and S-sequences. Second method is based on genetic algorithm. The possible applications of this methods in problems of identification of digital devices are described.

Ключевые слова: синхронные последовательностные цифровые устройства, идентификация, достижение состояния, генетический алгоритм, генерация тестов.

Введение

Задача достижения заданного состояния в цифровых устройствах (ЦУ) (подтверждения состояния, в англ. терминологии state justification) часто возникает в задачах их диагностирования. Впервые она возникла при построении диагностических экспериментов с автоматами [1]. В настоящее время развивается