

Кандирін М. П., Дзігора О. М.

ФАЗОВІ ШУМИ КОМБІНОВАНИХ ЦИФРО-АНАЛОГОВИХ СИНТЕЗАТОРІВ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

Анотація: Розглядаються особливості побудови комбінованих цифро-аналогових формувачів, що виконані на основі цифрових синтезаторів сигналів і балансних квадратурних модуляторів. Обговорюються можливості використання таких пристроїв для синтезу радіолокаційних гетеродинних і зондувальних сигналів. Для дослідження шумових характеристик комбінованого синтезатора у роботі використовуються математичні моделі спектральної густини потужності фазових шумів його основних функціональних ланок. Наведено вирази для розрахунку і результати математичного моделювання шумових характеристик комбінованого синтезатора, а також проведено аналіз внесків окремих функціональних компонентів синтезатора у загальний рівень його фазових шумів.

Ключові слова: комбінований синтезатор, цифровий синтезатор сигналів, квадратурний модулятор, спектральна густина потужності, фазовий шум.

Abstract: The features of the construction of combined digital-analogue shapers based on digital signal synthesizers and balanced quadrature modulators are considered. The possibilities of using such devices for the synthesis of radar heterodyne and sounding signals are discussed. To study the noise characteristics of a combined synthesizer, mathematical models of the spectral power density of phase noise of its main functional units are used in this work. Expressions for calculating and results of mathematical modeling of noise characteristics of a combined synthesizer are presented, and the contributions of individual functional components of the synthesizer to its overall phase noise level are analyzed.

Keywords: combined synthesizer, digital signal synthesizer, quadrature modulator, power spectral density, phase noise.

Різноманіття розв'язуваних інформаційних задач, прагнення поєднувати корисні властивості різних видів зондувальних сигналів (ЗС), потреба комплексного вирішення питань підвищення інформативності, захисту від завад і прихованості роботи сучасних багатофункціональних й спеціалізованих радіолокаційних станцій висуває жорсткі вимоги до використовуваних в них пристроїв синтезу гетеродинних і зондувальних сигналів. Такі пристрої повинні забезпечувати можливість формування широкого ансамблю високостабільних простих і складних одиночних, складених (за часом) і квазішумових сигналів; швидкого переходу (від імпульсу до імпульсу або від періоду до періоду) від одного виду сигналу до іншого; гнучкої зміни амплітудно-частотно-часових параметрів формованих сигналів залежно від етапу бойової роботи й реальної цільової і завадової обстановки [1].

Одними з найбільш перспективних на сьогоднішній день для формування складних радіолокаційних сигналів діапазону надвисоких частот (НВЧ) із змінюваними параметрами є комбіновані цифро-аналогові синтезатори (КС), що побудовані на основі пристроїв прямого цифрового синтезу (Direct Digital Synthesizer – DDS) і балансних квадратурних модуляторів. При такій побудові DDS, що має два квадратурні виходи (I/Q), забезпечує малий крок сітки частот, невеликий час перебудови, високу точність і повторюваність параметрів синтезованих сигналів, швидкий перехід на іншу частоту або фазу без розриву фази та інших паразитних перехідних процесів [2–6]. Квадратурний модулятор при цьому використовується для ефективного перенесення формованих DDS-синтезатором сигналів в НВЧ діапазон [7–9].

Для дослідження шумових характеристик КС у роботі використовувалися математичні моделі спектральної густини потужності фазових шумів його основних функціональних ланок [10]. Важливе практичне значення такого моделювання полягає у можливості виявлення окремих функціональних ланок, що вносять найбільший вклад у сумарний рівень шуму синтезатора і підлягають заміні. Особливої актуальності такий підхід набуває при розробці нових комбінованих синтезаторів частот і сигналів, дозволяє проводити дослідження шумових властивостей пристроїв синтезу сигналів без використання їх дороговартісних фізичних моделей та комплексу складної вимірювальної апаратури.

Розглянуто основні джерела фазових шумів КС та їх вплив на характеристики РЛС.

Наведено вирази для розрахунку, результати математичного моделювання шумових характеристик КС та його окремих функціональних елементів, проведено порівняльний аналіз внесків окремих ланок у результуючий рівень фазових шумів синтезатора.

Обговорюються можливі шляхи зменшення рівня фазових шумів КС.

Список використаних джерел:

1. Гомозов В.И. Целесообразность унификации возбудителей простых и сложных сигналов при адаптации и оптимизации режима зондирования РЛС / В.И. Гомозов // *Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова*. – 2007. – № 2. – С. 10-15.
2. Kroupa V. F. Direct Digital Frequency Synthesizers. John Wiley & Sons, Inc. 1998. 396 p.
3. Белов Л.А. Устройства формирования СВЧ сигналов и их компоненты: учеб. пособ. / Л.А. Белов. – М: Издательский дом МЭИ. – 2010. – С. 242-266.
4. Кандырин Н. П., Дзигора А.М. Современное состояние техники цифрового синтеза сложных частотно-модулированных сигналов. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2005. № 6(6). С. 20-25.
5. Analog Devices, Inc. Data Sheet AD9914: 3.5 GSPS Direct Digital Synthesizer with 12-bit DAC DDS – [Електр. ресурс]. – Режим доступу: www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9914.pdf.
6. Analog Devices, Inc. Data Sheet AD9854: CMOS 300 MSPS Quadrature Complete DDS [Electronic resource]. – Режим доступу: www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9854.pdf.
7. Cushing R. Single Sideband Upconversion of Quadrature DDS Signals to the 800 to 2500 MHz Band / R. Cushing – Analog Dialogue. – 2000. – 34-3.
8. Дзигора О.М., Таршин В.А., Залевський Г.С. Цифроаналоговий метод формування сигналів із адаптивно змінюваними параметрами. *Системи обробки інформації*. 2020. № 2(161). С. 7-15. <https://doi.org/10.30748/soi.2020.161.01>.
9. AD8346: 0.8 GHz to 2.5 GHz Quadrature Modulator Data Sheet (Rev. A) [Electronic resource]. – Режим доступу: www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8346.pdf.
10. Кандирін М. П., Дзигора О. М. Внески фазових шумів ланками комбінованого синтезатора з цифровим синтезатором сигналів у якості опорного генератора системи фазового автопідстроювання частоти. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2023. № 2 (51). С. 78-84. <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.51.10>.

Кандирін Микола Павлович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: kandyrin.family@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0831-4384>

Дзигора Олександр Михайлович – доцент кафедри фізики та радіоелектроніки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: rozenboss@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6614-4694>.

Mykola Kandyryn – PhD in Engineering, Senior Researcher, Senior Researcher of scientific research department of Air Force science center, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: kandyrin.family@gmail.com

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0831-4384>

Oleksandr Dzihora – Associate Professor of the Department of Physics and Radioelectronics, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: rozenboss@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6614-4694>