

М. П. Кандирін, О. М. Дзігора

ПРОЄКТУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ СИНТЕЗАТОРІВ СИГНАЛІВ І ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ ШУМОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Анотація: розглядаються можливості використання комбінованих цифроаналогових формувачів для синтезу радіолокаційних гетеродинних і зондувальних сигналів. Обговорюються особливості побудови комбінованого синтезатора частот і сигналів, що виконаний на основі однокільцевої системи фазового автопідстроювання частоти із цифровим синтезатором сигналів у якості джерела опорного сигналу. Для проєктування таких пристроїв і дослідження їх шумових характеристик пропонується використовувати програмний комплекс. Наведено результати математичного моделювання шумових характеристик комбінованого синтезатора та його окремих функціональних елементів при формуванні простих і складних радіолокаційних сигналів.

Ключові слова: цифровий синтезатор сигналів, комбінований синтезатор, програмний комплекс, спектральна густина потужності, фазовий шум.

Abstract: The possibilities of using combined digital-analog shapers for the synthesis of radar heterodyne and sounding signals are considered. The features of the construction of a combined frequency and signal synthesizer based on a single-ring phase-locked loop system with a digital signal synthesizer as a reference signal source are discussed. To design such devices and research their noise characteristics, it is proposed to use a software complex. The results of mathematical modeling of the noise characteristics of a combined synthesizer and its individual functional elements during the formation of simple and complex radar signals are presented.

Keywords: digital signal synthesizer, combined synthesizer, software complex, power spectral density, phase noise.

У сучасних радіолокаційних системах для формування високостабільних гетеродинних і зондувальних сигналів застосовуються синтезатори частот і сигналів. Останнім часом широко використовуються цифрові синтезатори сигналів (ЦСС), що засновані на методі прямого цифрового синтезу [1, 2]. Такі пристрої формування забезпечують високу роздільну здатність по частоті й фазі, швидкий перехід на іншу частоту (фазу) та перебудову по частоті без розриву фази, але основним їх недоліком є обмежений частотний діапазон формованих сигналів (при максимальній тактовій частоті 3,5 ГГц вихідна частота не перевищує 1,6 ГГц) і високий рівень паразитних спектральних складових [2–4]. Для розширення частотного діапазону ЦСС використовують різні способи, такі як: перенесення сигналів ЦСС в діапазон надвисоких частот (НВЧ) за допомогою змішувачів, квадратурних модуляторів, систем фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ) і нарешті, використання бічних високочастотних складових спектру сигналу цифрових синтезаторів [5–7].

Одними з найбільш перспективних на сьогоднішній день для формування НВЧ сигналів із змінюваними параметрами є комбіновані синтезатори (КС), що побудовані на основі непрямого аналогового і прямого цифрового методів синтезу. Розглянуто основні варіанти побудови КС з використанням систем ФАПЧ і ЦСС. Показано, що серед комбінованих синтезаторів на основі однокільцевих систем ФАПЧ з ЦСС найбільш широким попитом при розробці сучасної радіолокаційної апаратури користуються КС з ЦСС у якості генератора опорного сигналу системи ФАПЧ [8]. Такі пристрої забезпечують формування у широкій смузі частот не тільки гармонійних сигналів, але й більш складних сигналів із частотною модуляцією (лінійною (ЛЧМ) та нелінійною), практично вільних від паразитних складових спектру.

Для проєктування таких КС і дослідження їх шумових характеристик був розроблений програмний комплекс. Використання програмного комплексу дозволяє розробнику суттєво спростити та значно прискорити процес частотного планування й структурного проєктування пристроїв формування сигналів на основі комбінованих цифроаналогових синтезаторів, а також провести порівняльний аналіз їх шумових характеристик. Для розрахунку шумових характеристик КС використовуються математичні моделі спектральної густини потужності фазового шуму (ФШ) основних функціональних ланок синтезатора [8].

Зручний і простий у використанні графічний інтерфейс при роботі з програмним комплексом не вимагає від користувача володіння навичками програмування із застосуванням сучасних пакетів прикладних програм, а все обмежується лише простим рівнем користувача персональної електронної обчислювальної машини.

Програмний комплекс надає користувачеві можливість вибрати сучасні інтегральні мікросхеми ЦСС і ФАПЧ, тип фільтра нижніх частот, параметри яких будуть використовуватися при моделюванні. Результати моделювання й порівняння виводяться на екран, а також зберігаються в різних форматах векторної або растрової графіки для подальшого аналізу. Застосування програмного комплексу дозволяє візуалізувати та спростити розрахунок шумових характеристик синтезатора та його функціональних ланок, дослідити вплив окремих ланок КС на результуючий рівень ФШ, а також вибрати найбільш відповідні значення параметрів системи з точки зору отримання мінімального рівня фазового шуму на виході.

Наведено результати математичного моделювання шумових характеристик КС та його окремих функціональних елементів при синтезі різних фіксованих частот та ЛЧМ сигналів.

Список використаних джерел:

1. Kroupa V. F. Direct Digital Frequency Synthesizers. John Wiley & Sons, Inc. 1998. 396 p.
2. Белов Л.А. Устройства формирования СВЧ сигналов и их компоненты: учеб. пособ. / Л.А. Белов. – М: Издательский дом МЭИ. – 2010. – С. 242-266.
3. 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.
4. 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.
5. Cushing R. Single Sideband Upconversion of Quadrature DDS Signals to the 800 to 2500 MHz Band / R. Cushing – Analog Dialogue. – 2000. – 34-3.
6. Kroupa V. F. Phase Lock Loops and Frequency Synthesis. John Wiley & Sons, Inc. 2003. 320 p.
7. Кандырин Н. П. Исследование шумовых характеристик формирователя сигналов на основе ЦСС при использовании ВЧ боковых составляющих и специальных видов интерполирующих функций для расширения частотного диапазона. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2015. № 1(18). С. 101-108.
8. Кандирін М. П., Дзігора 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>

Дзігора 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 Kandyrin, 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>