

О.М. Дзігора, І.М. Трофимов, І.О. Гурін

## ПЕРСПЕКТИВНИЙ МЕТОД ФОРМУВАННЯ ЗОНДУВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СТАНЦІЙ.

**Анотація:** Розглядаються особливості цифроаналогового формування радіолокаційних зондувальних сигналів. Обговорюються можливості використання комбінованих цифроаналогових формувачів, побудованих на основі цифрових синтезаторів прямого цифрового синтезу та квадратурних модуляторів, в збудниках радіопередавальних пристроїв перспективних багатофункціональних радіолокаційних станцій. Пропонується удосконалена математична модель пристрою квадратурного цифроаналогового формування сигналів із складними законами модуляції параметрів.

**Ключові слова:** зондувальний сигнал, цифровий синтезатор сигналів, квадратурний модулятор, цифроаналоговий метод.

**Abstract:** The features of digital-analog forming a radar sounding signals are considered. Possibilities of using a combined digital-analog shapers based on digital synthesizers of direct digital synthesis and quadrature modulators in generators of radio transmitting devices of advanced multi-role radars are discussed. Improved mathematical model of quadrature digital-analog forming device of signals with complex modulation function parameters are proposed.

**Keywords:** sounding signal, digital signal synthesizer, quadrature modulator, digital-analog method.

Одним з перспективних шляхів підвищення ефективності радіолокаційних станцій (РЛС) є адаптація до умов радіолокаційного спостереження і оптимізація режимів зондування. Даний факт можна пояснити різноманіттям задач, розв'язуваних сучасними багатофункціональними РЛС, прагненням поєднувати корисні властивості зондувальних сигналів (ЗС), що мають різні інформаційні можливості, потребою комплексного вирішення питань підвищення інформативності, захисту від завад і прихованості роботи РЛС.

В радіопередавальних пристроях (РПП) сучасних РЛС широко використовуються пристрої цифрового формування сигналів – цифрові синтезатори (ЦСС) [1, 2]. Перевагами таких синтезаторів є: малий крок сітки частот, висока швидкість перебудови частоти, низький рівень фазових шумів, простий алгоритм формування складних сигналів, можливість незалежного керування амплітудою, фазою й частотою синтезованого сигналу, гарна повторюваність параметрів при тиражуванні, зручність управління за допомогою цифрового інтерфейсу, стабільність параметрів при впливі дестабілізуючих факторів. Однак, основним недоліком ЦСС є їх обмежена швидкодія. У даний час розробникам доступні інтегральні ЦСС, кращі зразки яких здатні функціонувати з тактовими частотами до 3,5 ГГц і, відповідно, забезпечують формування складних сигналів із керованими параметрами в діапазоні частот до 1...1,5 ГГц [1–3]. Ця обставина поки стримує широке застосування цифрових збудників у РПП перспективних РЛС, що працюють у верхній частині дециметрового й сантиметровому діапазонах довжин хвиль.

Недолік, пов'язаний з обмеженим частотним діапазоном ЦСС, в значній мірі усувається при використанні цифроаналогових методів формування складних сигналів надвисоких частот (НВЧ) [4–6]. Для перенесення ЧМ сигналів, що формується ЦСС, в діапазон НВЧ широко використовувалися комбіновані цифроаналогові формувачі (КЦАФ), побудовані на основі систем фазового автопідстроювання частоти та перетворення частоти за допомогою змішувачів.

Найбільш перспективними на даний час для формування складних зондувальних сигналів із адаптивно змінюваними параметрами є КЦАФ, побудовані на основі цифрових синтезаторів прямого цифрового синтезу і квадратурних модуляторів (КМ) [5, 6]. Характерною особливістю такої побудови є необхідність використання для формування сигналів із заданими амплітудно-частотно-часовими параметрами ЦСС, що має два ідентичні канали - синфазний та квадратурний. Квадратурні складові вихідного сигналу ЦСС після смугової фільтрації надходять на входи балансного КМ. На гетеродинний вхід КМ надходить опорне коливання, що формується зовнішнім НВЧ генератором. Спотворення часово-частотної структури вихідних сигналів такого

КЦАФ, по суті, визначаються спотвореннями вихідних сигналів ЦСС та стабільністю сигналу зовнішнього опорного генератора, в якості якого може використовуватися, наприклад, цифровий синтезатор частоти.

Використання квадратурних цифроаналогових формувачів у РПП багатofункціональних РЛС забезпечує можливість формування широкого ансамблю високостабільних простих і складних ЗС практично в будь-якому діапазоні частот з низьким рівнем небажаних комбінаційних складових, швидкого переходу (від імпульсу до імпульсу або від періоду до періоду) від одного виду сигналу до іншого та адаптивної зміни їх параметрів залежно від режиму бойової роботи і реальної цільової та завадової обстановки.

Запропоновано удосконалену математичну модель пристрою формування, що дозволяє оцінити спотворення часово-частотної структури вихідних НВЧ сигналів КЦАФ, рівень небажаних спектральних компонентів, що пов'язані з неідентичністю квадратурних каналів ЦСС, КМ та якістю сигналу опорного генератора.

Одержані з використанням запропонованої математичної моделі результати досліджень дозволяють оцінювати потенційні можливості пристроїв формування радіолокаційних ЗС із адаптивно змінюваними параметрами, проводити аналіз ефективності різних варіантів практичної реалізації формувачів радіолокаційних сигналів та конкретизувати технічні вимоги до передавальних пристроїв перспективних багатofункціональних РЛС.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белов Л.А. Устройства формирования СВЧ сигналов и их компоненты: учеб. пособ. / Л.А. Белов. – М: Издательский дом МЭИ. – 2010. – С. 242-266.
2. Кандырин Н. П. Современное состояние техники цифрового синтеза сложных частотно-модулированных сигналов / Н.П. Кандырин, А.М. Дзигора // Збірник наукових праць ХУ ПС. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вип. 6(6). – С. 20-25.
3. 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](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9914.pdf).
4. Лошаков В.А. Цифроаналоговый метод формирования сложных СВЧ сигналов с высокой чистотой спектра / В.А. Лошаков, И.В. Красношапка, А.В. Костянец // Збірник наукових праць ХВУ. – Х.: ХВУ. – 2001. – Вип. 7 (37). – С. 55-58.
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. Голуб В.С. Квадратурные модуляторы и демодуляторы в системах радиосвязи / В.С. Голуб // Электроника НТБ. – 2003. – № 3. – С. 28-32.

**Дзигора Олександр Михайлович** – науковий співробітник, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: rozenboss@gmail.com.

**Трофимов Іван Миколайович** – кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник науково-дослідного відділу, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: tininterpreter@ukr.net.

**Гурін Ігор Олександрович** – науковий співробітник, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: garri2014@ukr.net.

**Oleksandr Dzihora** – Research Associate, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: rozenboss@gmail.com.

**Ivan Trofymov** – PhD in Engineering, Senior Researcher, Chief of Scientific Research Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: tininterpreter@ukr.net.

**Ihor Hurin** – Research Associate, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: garri2014@ukr.net.