

УДК 537.87

Технологические аспекты разработки малошумящих формирователей частот для систем космической связи

Королёв Алексей Владимирович¹

korolev.a@bmstu.ru

SPIN-код: 1674-0576

Гудков Григорий Александрович²

SPIN-код: 1677-7654

Шашурин Василий Дмитриевич¹

Schashurin@bmstu.ru

SPIN-код: 3646-3970

Куимов Евгений Владимирович¹

ekjmo@mail.ru

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия² ООО «НПИ ФИРМА «ГИПЕРИОН», Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены вопросы проектирования малошумящих формирователей частот и сигналов для систем связи и радиолокации. Рассмотрена зависимость фазовых шумов и регулярных составляющих от режима работы радиочастотных цифроаналоговых преобразователей (РЧ ЦАП) для систем связи. Выполнен анализ случайных флуктуаций фазы синтезатора импульсного ЛЧМ сигнала при изменении времени распространения сигнала и периода следования ЛЧМ импульсов. Представлены результаты математического моделирования фазовых шумов, регулярных составляющих и дисперсии флуктуаций фазы синтезируемого сигнала, и сравнение с результатами эксперимента.

Ключевые слова: малошумящий синтезатор частот, фазовые шумы, регулярные составляющие, импульсный ЛЧМ сигнал, дисперсия флуктуаций фазы

Введение. Эффективность работы космических систем связи и радиолокации во многом зависит от спектральных характеристик формируемых синтезаторами сигналов и гетеродинных колебаний. Определяющим параметром здесь является спектральная плотность мощности фазовых шумов и уровень паразитных регулярных (гармонических) составляющих, порождаемых элементами синтезатора. Избыточный уровень шумов может приводить к появлению ложных лепестков диаграммы направленности (ДН) АФАР, используемых для радиолокационной съемки [1] и снижать качество радиолокационного изображения в случае недостаточной стабильности амплитуды и фазы радиолокационного сигнала за время синтеза ДН [2]. В радиолиниях космической связи также предъявляются жесткие требования к стабильности частоты, фазы и амплитуды сигнала [3].

Методы и материалы; результаты. Современные РЧ ЦАП, предназначенные для работы режимах NRZ, RZ, RF [4], позволяют расширить частотный диапазон синтезируемых сигналов за пределы первой зоны Найквиста. При этом они позволяют получить расширенный динамический диапазон за счет высокой линейности характеристики преобразования.

Использование встроенного генератора с цифровым управлением (ТСЦ) и аккумулятора фазы большой емкости обеспечивает простое управление па-

раметрами синтезируемого сигнала и низкий уровень регулярных составляющих за счет оптимального выбора тактовой частоты и частоты синтезируемого сигнала.

В режиме формирования ЛЧМ сигнала уровень спектральной плотности мощности фазовых шумов зависит от характеристик тракта преобразования частоты синтезатора сигналов и фазовых шумов опорного генератора и генераторов гетеродинных колебаний.

Заключение. Моделирование фазовых шумов радиочастотных ЦАП как в области малых отстроек от несущей частоты, так и на отстройках, где преобладает белый шум, необходимо выполнять с учетом внутренней структуры ЦАП. Расчет фазовых шумов импульсного ЛЧМ сигнала должен проводиться с учетом составляющих спектра в высших зонах Найквиста, при этом фазовые шумы определяются полной девиацией частоты и периодом следования ЛЧМ импульсов. Дисперсия флуктуаций фазы синтезируемого ЛЧМ сигнала зависит от структуры радиочастотного тракта радиолокатора.

Список источников

- [1] Храмов К.К., Костров В.В. Оценка предельных параметров РСА X-диапазона на базе малых космических аппаратов. Армандовские чтения. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн. Всерос. открытая науч. конф. Муром, 2023, № 1, с. 294–304. <https://doi.org/10.24412/2304-0297-2023-1-294-304>
- [2] Занин К.А. Оценка влияния фазового шума элементов информационного тракта на показатели качества радиолокационного изображения (на примере опорного генератора). Вестник НПО им. С.А. Лавочкина, 2021, № 1, с. 4–11.
- [3] Старовойтов Е., Скиба Е., Недашковский Л. СВЧ-микросхемы для бортовой аппаратуры ДЗЗ и систем космической связи. Часть 1. Электроника: Наука, технология, бизнес, 2024, № 3 (234), с. 148–152.
- [4] Glascott-Jones A. et al. Direct conversion techniques using high speed data converters for SAR. IEEE 5th Asia-Pacific Conference on Synthetic Aperture Radar (APSAR), IEEE, 2015, pp. 267–271.