

УДК 621.373

Володимир Кругльов - аспірант, Михайло Паламар - д.т.н. проф., Андрій Чайковський - к.т.н.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

АНАЛІЗ ЦИФРОВОГО СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТИ ДЛЯ РАДІОСТАНЦІЇ З ППРЧ

**Volodymyr Kruhlov, Mykhailo Palamar Dr., Prof., Andrii Chaikovskiy
ANALYSIS OF DIGITAL FREQUENCY SYNTHESIZER FOR A HOP MODE
RADIO STATION**

Вступ. При проектуванні синтезаторів сигналів важливим завданням що потребує детального аналізу, є задача частотного планування синтезатора. Для синтезаторів сигналів у системах зв'язку пред'являються високі вимоги щодо стійкості та спектрального складу, рівня фазового шуму та тривалості перехідних процесів.

З розвитком сучасної цифрової елементної бази при формуванні сигналів все більше застосовуються інтегровані цифрові синтезатори (DDS), що базуються на методі прямого цифрового синтезу і володіють низкою істотних переваг перед системами на базі ФАПЧ та широкими функціональними можливостями. Також відомий метод непрямого синтезу на основі фазового автоматичного підстроювання частоти (PLL) при якому вихідна частота формується за допомогою додаткового генератора (найчастіше це генератор, керований напругою - VCO), охопленого петлею ФАПЧ;

В роботі приведено результати проектування і дослідження елементів цифрового синтезатора частоти на основі VCO та DDS синтезаторів, розглянуто способи побудови та реалізації цифрового синтезатора для радіостанції Оріон Р-173 з ППРЧ. Запропоновано структуру радіостанції з ППРЧ з використанням генератора керованого напругою VCO та DDS прямого цифрового синтезу, розроблено структурну схему і алгоритм роботи цифрового синтезатора. Дослідження методів і засобів синтезу елементів цифрової радіостанції спрямовано на оптимізацію параметрів та підвищення технічних характеристик проектованої радіостанції.

Результати роботи. Для зменшення фактичного часу роботи на одній частоті та миттєвого переналаштування частоти, з низьким рівнем фазового шуму, гармонік та інтермодуляційних складових можна застосовувати синтезатор з прямим цифровим синтезом DDS, який володіє хорошими характеристиками з точки зору спектру вихідного сигналу і високою роздільною здатністю за частотою.

Схема DDS генерує синусоїдальний сигнал із заданою частотою. Частота вихідного сигналу визначається двома параметрами: частотою тактового сигналу і двійковим числом, записаним в регістр частоти. Це двійкове число, записане в регістр частоти, подається на вхід акумулятора фази. Якщо використовується ПЗУ з табличними значеннями синуса, то акумулятор фази обчислює адресу (відповідний миттєвому значенню фази) і подає його на вхід ПЗУ, при цьому на виході ПЗУ ми отримуємо поточне значення амплітуди в цифровому вигляді. Далі ЦАП перетворює це цифрове значення у відповідне значення напруги або струму. Для генерації синусоїди з фіксованою частотою постійна величина (приріст фази, яке визначається двійковим числом, записаним в регістр частоти) буде додано до величини, що зберігається в акумуляторі фази, з кожним імпульсом тактового сигналу. Якщо значення приросту велике, акумулятор фази буде швидко проходити всю таблицю синуса, що зберігається в ПЗУ, і частота сигналу при цьому буде висока. Якщо значення приросту фази мале, акумулятору фази знадобиться більше кроків, щоб пройти всю таблицю ПЗУ, і відповідно частота сигналу на виході буде низькою.

Управління та перезавантаження регістра частоти відбувається по послідовній шині. Тому швидкість перебудови DDS по частоті визначається в основному швидкістю його цифрового інтерфейсу. Для генерації вихідного синусоїдального сигналу потрібно тільки тактовий сигнал.

Джерело тактового сигналу DDS є головним джерелом фазових шумів, навіть незважаючи на ефект їх зменшення в процесі ділення частоти в DDS. Фазовий шум вихідного сигналу DDS теоретично менше фазового шуму тактового сигналу на $20 \log (F_{CLK} / F_{OUT})$ dB, де F_{OUT} - вихідна частота; F_{CLK} - тактова частота. На практиці це поліпшення обмежена шумовим порогом схем DDS. Типовим для власного фазового шуму DDS є значення -130 dBc/Hz при розладі на 1 кГц від вихідної частоти. Якщо джерело тактового сигналу має менші фазові шуми, на виході DDS не може бути меншого значення. Тому цю величину називають «залишковий фазовий шум».

Відносне відхилення частоти на виході DDS одно відносного відхилення частоти тактового сигналу. Відносний джітер при розподілі частоти стає менше, хоча його абсолютне значення не покращується. DDS працює на високих тактових частотах, має вбудований помножувач частоти на основі PLL дозволяє використовувати менш високочастотний опорний генератор. Проте використання множення тактової частоти не завжди бажано, так як при цьому фазовий шум тактового сигналу збільшується в стільки ж разів, у скільки разів збільшується частота. Більш того, вище частоти зрізу фільтру PLL може спостерігатися пік фазових шумів. Для отримання високочастотного сигналу з низькими фазовим шумом потрібно тактувати DDS від високоякісного джерела. В якості такого джерела запропоновано використовувати VCO синтезатор.

Синтез частот з використанням системи фазового автоматичного підстроювання частоти (ФАПЧ) є добре відомим методом генерування одного з багатьох пов'язаних сигналів за допомогою керованої напруги генератора VCO. Вихідний сигнал від VCO подається на програмований дільник частоти, який забезпечує розподіл на вбрання ціле число, видаючи сигнал поділений частоти на фазовий детектор. Фазовий детектор порівнює сигнал поділеної частоти з сигналом опорної частоти від іншого генератора фіксованої частоти. Будь-яка різниця фаз між сигналом поділеної частоти і опорним сигналом видається з фазового детектора через мережевий фільтр і прикладається до VCO. Цей сигнал різниці фаз змушує вихідний сигнал VCO змінювати частоту таким чином, щоб фазова помилка між частотою поділеного сигналу і частотою опорного сигналу була мінімальною. Так як програмований дільник частоти ділить в ціле число раз, розмір кроку вихідний частоти обмежений до значення, рівного частоті опорного сигналу.

Джерело опорного сигналу для VCO повинен мати низький рівень фазового шуму і гармонік, тому використовується термокомпенсований кварцовий генератор з частотою 10 МГц та температурна нестабільність частоти $\pm 2,5$ ppm. Розроблено макет цифрового синтезатора та досліджено параметри синтезатора на основі VCO та DDS.

Висновок. Отже використання VCO, DDS проектуванні синтезаторів сигналів у системах зв'язку дає низку переваг, зокрема, це мале енергоспоживання, низька вартість та невеликі габарити у поєднанні з відмінною якістю сигналу і можливістю цифрового управління з високою роздільною здатністю, роблять синтезатори VCO та DDS надзвичайно привабливими приладами в порівнянні із менш гнучкими схемами на дискретних елементах. В результаті реалізації тактування DDS від VCO генератора дало змогу підняти вихідну частоту синтезатора з низьким рівнем фазових шумів, гармонік та інтермодуляційними спотвореннями. Результати макетування покладено в основу програмного забезпечення та алгоритму роботи для цифрової радіостанції Оріон Р-173 з ППРЧ.