

СПОСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ЧАСТОТИ ВИХІДНИХ КОЛИВАНЬ ІНТЕГРОВАНІХ СИНТЕЗАТОРІВ ПРЯМОГО ЦИФРОВОГО СИНТЕЗУ

*Коцержинський Б. О., д.т.н., професор
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Генерування коливань за методом прямого цифрового синтезу (ПЦС) забезпечує унікальну роздільність частоти коливань, безперервність фази, швидке перемикавання частоти і фази, зручність цифрового керування. Частота гармонічних коливань до 40% тактової частоти. Інтегровані синтезатори ПЦС (ІСПЦС) використовуються для створення складних частотно-модульованих коливань при зовнішньому керуванні і спроможні забезпечити широку смугу перестроювання частоти, 40% і більше. Провідні світові фірми досягли значних результатів у розробці та виробництві ІСПЦС. Фірма *Analog Devices* виробляє синтезатори, тактова частота синхронізації яких досягає 3.5 ГГц. Фірма *EUVIS* створила синтезатори з тактовою частотою 2.2 – 3 ГГц, на їх базі розробила генераторні модулі. Описаний у [1] ПЦС діапазону 12 ГГц, створений за 0.18 мк *SiGe BiCMOS* технологією, забезпечує генерування гармонічних сигналів до 5.93 ГГц.

Таким чином, найвища частота вихідних коливань ІСПЦС не перевищує 1.4 ГГц і тому виникає актуальна задача перенесення унікальних властивостей ІСПЦС на більш високі частоти, у діапазон НВЧ.

Можливі такі способи підвищення частоти вихідних коливань ІСПЦС: використання гармонік вихідних коливань, змішувачів частот, помноження частоти, ІСПЦС як опорного генератора синтезатора з ФАПЧ.

На виході ЦАП синтезатора ПЦС спектр сигналу складається із багатьох частотних складових. Як правило, за допомогою фільтра низьких частот використовуються частотні складові нижче частоти Найквіста. Наприклад, частота вихідного сигналу 5 МГц, а тактова частота ІСПЦС $f_s = 25$ МГц. У спектрі сигналу присутні також частотні складові із частотами 20, 30, 45, 55 МГц та вище. За допомогою смугового фільтра можна отримати, наприклад, сигнал із частотою 30 або 45 МГц. Але їх інтенсивність невелика. Відносне зменшення амплітуди складової пропорційно відносному збільшенню частоти. При перенесенні частотно-модульованого сигналу у ліву смугу зображення спектру відбувається перевертання його спектру. Для реалізації потрібні смуговий фільтр та підсилювач.

Змішування коливань ІСПЦС із високочастотним сигналом гетеродину приводить до частотного спектру з багатьма складовими. Нема помітного збільшення фазового шуму, амплітуд гармонік. Зберігаються роздільна здатність частоти та час перестроювання частоти. Труднощі: дві бокові смуги та пряме проходження сигналу несучої частоти потребують вузько-

смугових фільтрів. Цей спосіб використаний у синтезаторі *SMS-DU* фірми *Spinnaker Microwave* [2] діапазону 1...40 ГГц. Чим вища частота, тим більше треба перетворювачів. Частотна модуляція в межах 10% ПЦС. Квадратурне перетворення полегшує роботу вихідних фільтрів.

Помножувачі частоти збільшують фазовий шум частотно-модульованого сигналу та рівень частотних спурів на $20 \cdot \lg N$, тому діодні помножувачі краще транзисторних. Для відновлення рівнів сигналів потрібні підсилювачі. У розробках синтезаторів частіше використовується багаторазове множення. Помноження на 3 задіяне у синтезаторі із виходом у діапазон 7.7...8.2 ГГц. Двічі на 2 сигнал був помножений у синтезаторі на 8.35 ГГц [3]. Типовий блок подвоювача складається із підсилювача, подвоювача, смугового фільтру. Пропонується синтезатор на 1.8 – 2.4 ГГц помножити тричі на 2 для перенесення у діапазон 14 – 20 ГГц [4]. Якщо продовжити множення на 4, то можна досягти 57 – 77 ГГц. Можливо поєднання змішування та помноження, як це зроблено у синтезаторі *SMS-DA* фірми *Spinnaker Microwave* діапазону 1...40 ГГц.

ІСПЦС виконує роль опорного генератора синтезатора з ФАПЧ. Частота вихідних коливань ІСПЦС збільшується у N разів, але у смузі ФАПЧ зростає фазовий шум та рівень спурів на $20 \cdot \lg N$, також зменшуються швидкість та смуга перестроювання частоти. Малодослідний спосіб.

Виконаний аналіз способів підвищення частоти вихідних коливань ІСПЦС показує, перші три способи знаходять застосування, але на рівні «*know-how*» фірм, смуга перестроювання частоти до 10...20%. Потрібні дослідження з метою збільшення смуги перестроювання для генерування складних частотно-модульованих коливань та створення нових ефективних способів.

Література

1. Xuefeng Yu. A. 12 GHz 1.9 W Direct Digital Synthesizer MMIC Implemented in 0.18 μm SiGe BiCMOS Technology/ Dai F. F., Irwin J.D., Jaeger, R. C. // *IEEE Journal of Solid-State Circuits* — 2008, — v.43, — №6, — pp.1384-1393.
2. Browne J. Synthesizer / Converter Brings DDS Benefits To 40 GHz. // *Microwave and RF* — Jan.23, — 2008.
3. Attaran A. Fabricate An 8.35-GHz Frequency Synthesizer / Ameri H., Moghavvemi M. // *Microwaves and RF* — Sep.15, — 2011.
4. Moghavvemi M. Design A Stable 14-To-20-GHz Source / Attaran A., Ameri H. // *Microwaves and RF* — Dec.20, — 2010.