

Конфігурування фазового шуму в синтезаторах частоти

Порівняння методів побудови синтезаторів частоти за рівнем фазового шуму, складністю побудови, ширини смуги пропускання та стабільності частоти. Розробка методу побудови синтезаторів частоти для конфігурації фазового шуму.

Актуальність теми

Негативний вплив фазового шуму розповсюджується на:

- Спектр частотного сигналу.
- Стабільність та точність частоти.
- Динамічний діапазон.
- Стабільність фази.

Забезпечення низького рівня фазового шуму є важливим питанням у таких системах як: радіолокація, супутниковий зв'язок, високочастотні системи передачі та вимірювального обладнання. Це пов'язано зі збільшенням вимог до рівня фазового шуму цих систем, а саме стабільності та точності сигналу. Наприклад в радіолокації при високому рівні фазового шуму зменшується точність вимірювання дальності об'єкта та його швидкості.

Мета

Розробка методу побудови синтезатора частоти на базі існуючих, для компенсації та конфігурації рівня фазового шуму. Діапазон робочих частот такого синтезатора є X , тобто широкосмуговим. Рівень фазового шуму не більше -110 dBc/Hz при змещенні від несучого сигналу 100 кГц.

Дослідження методів побудови синтезаторів частоти

Три розповсюджені методи побудови синтезаторів частоти: PLL (Phase-Locked Loop), DDS (Direct Digital synthesis), діелектрично-резонансний (ДР) генератор.

PLL має високу стабільність частоти, але має у порівнянні з іншими методами має гірші значення фазового шуму через вплив фазових шумів VCO та опорного сигналу. Основною перевагою між іншими методами є широка частотна смуга.

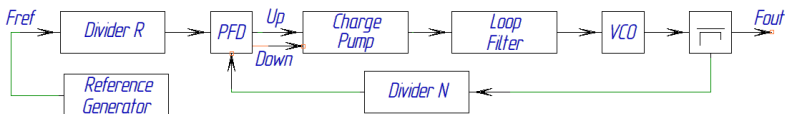


Рис. 1 Функціональна схема PLL

Divider R - подільник опорного сигналу,

Вихідний сигнал синтезатора частоти:

$$f_{out} = \frac{N}{R} * f_{ref} \quad (1)$$

f_{out} - вихідний сигнал, N - коефіцієнт ділення в петлі PLL, R коефіцієнт ділення опорного сигналу, f_{ref} - опорний сигнал.

Збільшенні коефіцієнта N сприяє збільшенню фазового шуму PLL. Відбувається масштабування фазового шуму опорного генератора пропорційно квадрату N .

$$\zeta(f) = \left(\frac{N}{R}\right)^2 \zeta_{ref}(f) \quad (2)$$

$\zeta(f)$ - фазовий шум PLL, $\zeta_{ref}(f)$ - фазовий шум опорного генератора.

По вертикальній осі Phase noise - фазовий шум, по горизонтальній осі Frequency - частота зміщення від несучого сигналу. Вихідний сигнал 8.77 ГГц, частотна полоса петлі 2 кГц.

DDS мають в перевагу в точності встановлення частоти, та є кращими у порівнянні з PLL за показниками фазового шуму, але також негативний вплив має на фазовий шум тактовий генератор. Але даний метод не дає можливості отримати широкосмуговий синтезатор частоти в X діапазоні.

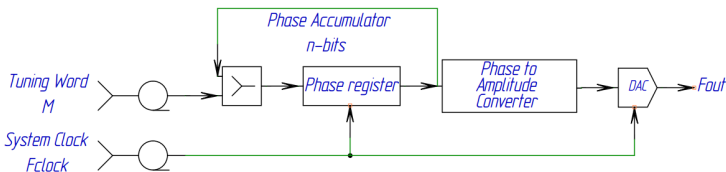


Рис. 2 Функціональна схема DDS

$$f_{out} = \frac{M}{2^n} * f_{clock} \quad (3)$$

f_{out} - вихідна частота, M - приріст фази, n - кількість бітів, у фазовому акумуляторі, f_{clock} - частота тактового генератора.

Значний вплив на фазовий шум має в DDS має якісь тактового генератора, та нелінійність цифрового перетворювача.

Фазовий шум тактового генератора потрапляє у вихідну частоту, якщо враховувати його, тоді

$$\zeta(f) = \zeta(f_{clock}) + 20 \log\left(\frac{f_{out}}{f_{clock}}\right) \quad (4)$$

$\zeta(f_{clock})$ - фазовий шум тактового генератора.

Нелінійність цифрового перетворювача формує вихідний сигнал і будь яка нелінійність (помилка перетворення) призводить до спотворення сигналу, а це в свою чергу збільшує фазовий шум DDS. Також це називається квантування фази, і виглядає наступним чином:

$$\zeta(f) = \zeta(f_{clock}) + 20 \log\left(\frac{f_{out}}{f_{clock}}\right) \quad (5)$$

ДР генератор, має найнижчі значення фазового шуму в порівнянні з іншими методами, та може працювати в X діапазоні. Але має вузьку частотну смугу пропускання.

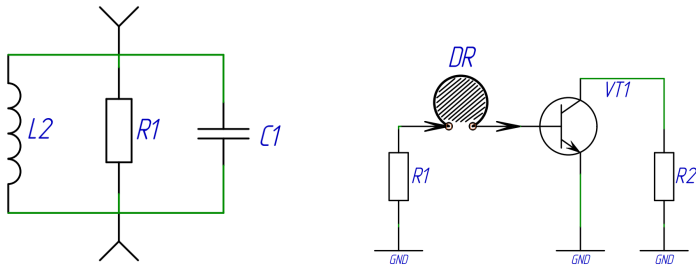


Рис. 3 Схема ДР генератора.

$$f_{res} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} * \frac{1}{\sqrt{\mu_0\mu_r\epsilon_r\epsilon_0}}$$

f_{res} - резонансна частота, c - швидкість світла, $\mu_0\mu_r$ - магнітна проникність вакууму і матеріалу відповідно, $\epsilon_r\epsilon_0$ - діелектрична проникність матеріалу і вакууму відповідно.

Рівняння загального рівня фазового шуму:

$$\zeta(f) = \frac{F * kT}{2P_{in} Q}$$

F - фазовий фактор підсилувача, k - постійна Больцмана, T - температура, P_{in} - вхідна потужність сигналу, Q - добротність резонатора.

Результати дослідження:

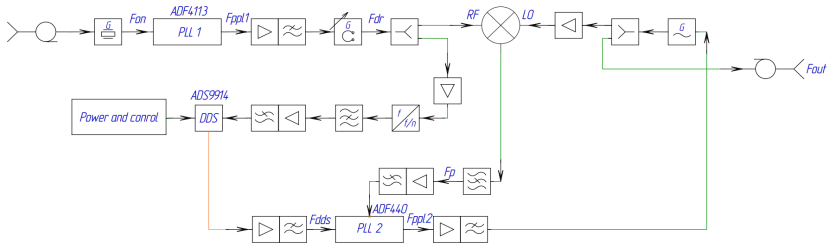


Рис. 4 Схема розробленого методу синтезатора частоти

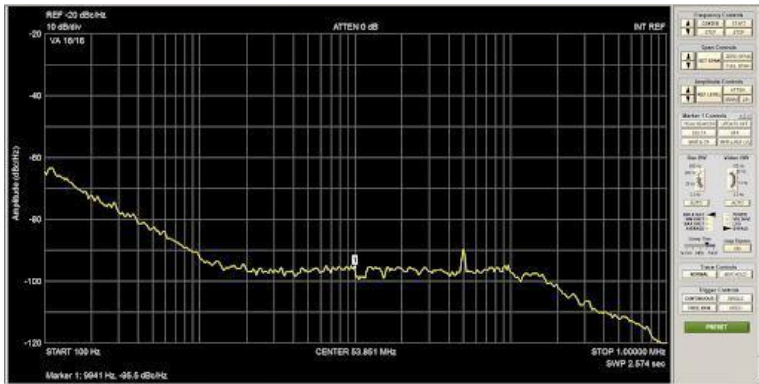


Рис. 5 Результати вимірювань фазового шуму розробленого методу.

Так як PLL може працювати в X діапазоні, та при цьому зберігати широку частотну смугу, на його базі розроблено метод синтезатора частоти. Але для конфігурування фазового шуму було використано інші методи. ДР генератор, використовується для забезпечення опорного сигналу PLL, так як він має найкращі значення фазового шуму, що є чинником який впливає на фазовий шум PLL, і при цьому подати вищу частоту порівняння, яка буде близькою до вихідної частоти, що в свою чергу забезпечить зниження фазового шуму. Також використовуючи DDS, забезпечується широкосмуговість та точність встановлення частоти.

Висновки

В результаті дослідження найбільш поширених методів побудови синтезаторів частоти, таких як PLL, DDS та ДР генератори, було розроблено новий метод, який допоможе побудувати широкосмуговий синтезатор частоти, який працює в X діапазоні та має низький рівень фазового шуму. Даний

результат вдалося отримати при поєднанні декількох методів, де ДР генератор використовується як опорний сигнал для PLL, та DDS забезпечує широкосмуговість та точність встановлення вихідної частоти сигналу.

Список літератури

1. Rohde, U. L., & Poddar, A. K. (2012). *RF/Microwave Circuit Design for Wireless Applications*. John Wiley & Sons.
2. Floyd, M. (2008). *Phase Noise and Frequency Stability in Oscillators*. Cambridge University Press.
3. Banerjee, D. (2006). *PLL Performance, Simulation, and Design*. Dog Ear Publishing.
4. Wolaver, D. H. (1991). *Phase-Locked Loop Circuit Design*. Prentice Hall.
5. Leeson, D. B. (1966). *A Simple Model of Feedback Oscillator Noise Spectrum*. *Proceedings of the IEEE*, 54(2), 329-330.