

УДК 621.385.69

НВЧ-синтезатор частоти з опорним генератором на об'ємно-акустичних хвилях

Терих В.В., Грамарчук Ю.О., к.т.н., доц. Кобак М.М.

Для генерації надвисоких частот зазвичай застосовується спосіб, побудований на принципі поєднання схеми синтезатора частоти з генератором, що керується напругою на кварцовому задавальному генераторі. Для реалізації даного задуму було винайдено (і продовжується пошук вирішення даного питання) безліч схем поєднання цих структурних компонентів, проте для стабілізації надвисоких частот необхідно застосувати діелектричні високочастотні резонатори [1].

В свою чергу не стоїть на місці і розвиток приймально-перетворювальних систем, який призвів до пошуку рішень вдосконалення НВЧ-пристроїв, а саме: зменшення габаритних розмірів; збільшення продуктивності та забезпечення енергоефективності пристроїв. Застосування традиційних підходів для реалізації схеми опорного генератора, таких як поверхнево-акустичні хвилі або кварцовий задавальний елемент, не забезпечує вимог стабільності, а також завдає проблеми при переналаштуванні частот, що призводить до обмеженого застосування радіопристроїв, як

наприклад обмеження в багатоканальності.

Пристрої на основі об'ємно-акустичних хвиль застосовуються для генерації та вибіркової сигналізації приймально-перетворювального обладнання та мають ряд наступних переваг над пристроями з використанням ПАХ, а саме:

- більша добротність;
- менший вплив зовнішніх полів;
- кращі властивості до «захоплення» акустичної енергії.

Для апаратури, що працює в діапазоні 2÷20 ГГц складно створити задовільні умови для роботи на основі ПАХ-хвиль та LC-компонент.

Одним із варіантів вирішення даної проблеми є необхідність використання при розробці НВЧ – акустоелектричних пристроїв тонкоплівочної п'єзокристалічної структури, товщина якої порівняно з довжиною акустичних хвиль, повинна бути в рази меншою.

На сьогоднішній день, представлення наступна класифікація опорних задавальних генераторів, а саме [2]:

1. ГKN – генератор керований напругою. Пристрій працює у діапазоні $1 \div 8$ ГГц, застосовуючи розв'язку на підсилювачі для польових транзисторах та діоди Ганна.
2. Даний вид генератора використовується з метою застосування в умовах перевантажень та можливого впливу високих температур.
3. Діелектричні резонатори – генератори що стабілізовані по частоті. Такий вид потребує застосування високо добротних матеріалів, а також подільників та помножувачів частоти, що при зменшенні габаритів пристрої призводить до збільшення відносної нестабільності.
4. Кварцова стабілізація гетеродинного типу. Застосовується в радіоелектронному обладнанні бортових та наземних систем зв'язку і вимагає додаткових мір для поліпшення якості сигналу (віброзахист тощо).
5. Генератор на поверхнево-акустичних хвилях - забезпечує зменшення масо-габаритних показників, але прямо пропорційно збільшуються шумові складові сигналу зі збільшенням його частоти, що в свою чергу, унеможливорює їх застосування в НВЧ – приладах.

Розглянемо пристрій, однією із складових якого є джерело опорних коливань, де застосовується резонатор

на об'ємно-акустичних хвилях (ОАХ). Даний вид високоінтенсивного джерела коливань не створює взаємного електромагнітного перекриття, що в свою чергу дозволяє створювати суцільні монолітні схеми малошумних опорних генераторів.

Існує декілька конструкцій плівкових резонаторів, проте найкращий серед них є резонатор з Бреґівським відбивачем (Рис. 1), який призначений для ізоляції тонко плівкового відбивача від підкладки. Такі резонатори переважно виконані на основі плівок молібдену та алюмінію, а в якості матеріалу п'єзоелектричного шару використовується оксид цинку. Електроди резонатору також виконуються з алюмінію. Зазвичай використовується 5 пар шарів молібдену та алюмінію. На добротність, в свою чергу, сильно впливає шорсткість поверхні плівок алюмінію, що є низькоімпедансним шаром резонатору і її підвищення небажане.



Рис. 1 Резонатор з Бреґівським відбивачем.

Наявність фазових шумів в синтезаторі частот окрім опорного генератора залежать і від принципу побудови самого синтезатора, тобто від кілець автоналаштування частоти

(ФАПЧ), або перетворювача частоти керуючого генератора в колі зворотного зв'язку. Це призводить до множення частоти опорного генератора для перетворення сигналу.

Фазові шуми генератора визначаються шумовими характеристиками підсилювача та добротністю резонатора. Важливим параметром таких компонентів є крутизна фазочастотної характеристики. Для цього застосовується схема увімкнення зі складанням фазових зсувів окремих резонаторів [3] (Рис. 2.).

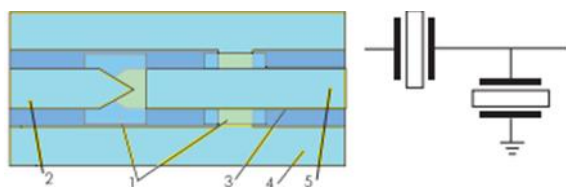


Рис. 2. Підвищена крутизна ФЧХ

де, 1 – плівка п'єзоелектрика, 2 – вхідна компланарна лінія, 3 – підкладка, 4 – екран, 5 – вихідна компланарна лінія

Модель НВЧ – синтезатора на ОАХ можна представити у такому вигляді (Рис. 3)

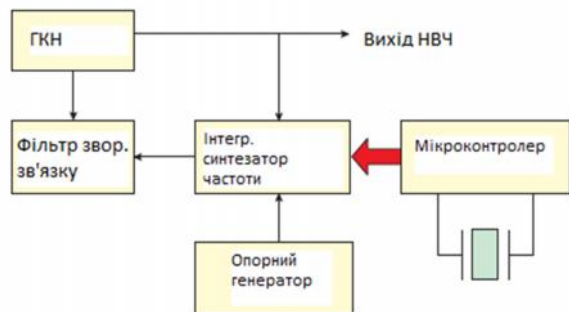


Рис. 3. НВЧ – синтезатор з ОАХ

Доцільно навести еквівалентну схему ОАХ опорного генератора на основі RLC-компонентів (Рис. 4).

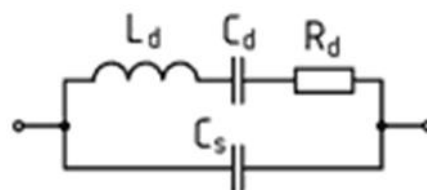


Рис. 4. Еквівалентна схема ОАХ-генератору

де, L_d - динамічна індуктивність резонатора, C_d – динамічна ємність резонатора, R_d – опір резонатора, C_s - статична ємність резонатора.

Значення параметрів можливо розрахувати за формулами [4, 5].

$$C_m = C_0 \frac{f_p^2 - f_s^2}{f_s^2}, \quad (1)$$

$$L_m = \frac{1}{4\pi^2 f_s^2 C_m}, \quad (2)$$

$$R_m = \frac{1}{G_{\max}}$$

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_d \times C_d}}$$

$$f_p = f_s \times \sqrt{1 + \frac{C_d}{C_s}}$$

$$F_0 = f_p - f_s,$$

$$Q = \frac{\sqrt{L_d}}{R_d} \sqrt{C_d}$$

де, f_s и f_p – частоти відповідно послідовного і паралельного резонансів; G_{\max} – значення активної провідності на частоті послідовного резонансу, F_0 – частотний інтервал, Q – добротність резонатора

Еквівалентну схему доцільно розглядати як систему, що володіє ступенями свободи, що коливаються з амплітудою механічних коливань, при яких не проявляються нелінійні резонансні властивості, тобто резонатор можна розглядати як лінійну систему з симетричною резонансною кривою.

До спектру вихідних коливань синтезатора частот входять суцільні бокові полоси, що проявляються в результаті дії амплітудного і фазового шумів ГКН. Основний вклад у шумовий спектр синтезатора вносить фазовий шум, спектральна щільність дисперсії якого приблизно на 20 дБ вище, ніж спектральна щільність амплітудного. На вид вихідного спектру впливають всі елементи синтезатора, але найбільш суттєвим є шум опорного генератора.

Полоса пропускання системи ФАПЧ є одним з найважливіших параметрів синтезатора, і визначає діапазон частот фазових флуктуацій опорного генератора, що передаються на вихід синтезатора.

Від полоси пропускання залежать параметри і характеристики синтезатора, такі як:

- Вид шумового спектру;
- Рівень паразитних дискретних складових спектру, обумовлених модуляцією основних коливань частотами від ГКН;
- Стабільністю системи ФАПЧ;
- Часу перехідних процесів при налаштуванні частоти.

В електричній схемі резонатор збуджується на одній з обраних вищих гармонік. Можливе незначне пере налаштування частоти за рахунок зміни ємності, послідовно увімкненої у коло, у якому присутній резонатор, таким чином компенсується зсув частоти, точного під налаштування та синхронізації частоти НВЧ – генератора.

При побудові НВЧ – пристроїв, важливими є реальні значення коефіцієнту поглинання та швидкості поширення коливань в кристалічних пластинках та матеріалів тонких плівок. Це пов'язано з залежністю акустичних властивостей від умов осадження та товщини плівок, а також від матеріалу підкладки. Надзвичайно висока добротність генераторів об'ємно – акустичних хвиль практично співпадає з акустичною добротністю матеріалу підкладки.

Висновки

НВЧ - пристрої на ОАХ мають ряд потенційних переваг перед аналогічними НВЧ – пристроями, побудованих на інших принципах, а саме:

- більша добротність;
- менший вплив зовнішніх полів;
- кращі властивості до «захоплення» акустичної енергії.

Для побудови таких пристроїв доцільно створити високо добротні тонко плівкові акустичні резонатори та фільтрів, провести роботу в сфері пошуку більш придатних акустичних матеріалів та молекулярних структур, що будуть характеризуватися малими

втратами при поширенні акустичних хвиль НВЧ, не зупиняти досліджень акустоелектронної не лінійності та знаходити умови генерації вузьких спектральних ліній в резонаторах на основі тонких плівок напівпровідників.

Література

1. Диэлектрические резонаторы/ М.Е. Ильченко, В.Ф. Взятыйшев, Л.Г. Гассанов и др.; Под ред. М.Е. Ильченко. – М.: Радио и связь, 1989. – 328 с.
2. Твердотільні нвч генератори малої потужності, 2012 р. мальцев В. А., Мякинчиков В. Ю., Рудый Ю. Б., Горюнов И. В., Гусев А. П. Лебедев В. Н., Тыртышников А. В. Чугуй А. П.

ФГУП «НПП «ИСТОК» 191120, Россия, Московская обл., г. Фрязино, ул. Вокзальная, д. 2а

3. Монолитный генераторы свч-диапазона, электроника: наука, технология, бизнес, А. Галдецкий, 4/2005
4. Глюкман Л.И. Пьезоэлектрические кварцевые резонаторы. – Л.: Энергия, 1969. – 260 с.
5. Soluch W. Scattering matrix approach to one-port SAW resonators // IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control Society. – 2000. – Vol. 47, no. 6. – P. 1615-1618.