

УДК 621.3

СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТЫ С ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТЬЮ НАСТРОЙКИ**Н. А. Руденко, С. В. Ткаченко**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, 39600 г. Кременчуг, Украина. E-mail: wmaster@kdu.edu.ua

Рассмотрена разработка синтезатора частот с высокой точностью настройки. Основное внимание уделено получению малого шага сетки частот, уменьшению массогабаритных параметров и получению на выходе стабильного аналогового сигнала с низким уровнем фазовых шумов. В разработанном синтезаторе частот установлены три блока коммутаторов, позволяющих устанавливать режимы счетчиков частоты и коэффициент умножения частоты.

Ключевые слова: синтезатор частот, шаг сетки частот, диапазон частот.**FREQUENCY SYNTHESIZER WITH HIGH ACCURACY SETTINGS****N. A. Rudenko, S. V. Tkachenko**Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi national university
vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine. E-mail: wmaster@kdu.edu.ua

The article reviews the development of frequency synthesizer with high precision settings. The focus was on getting the small spacing of the grid frequency, reduced weight and size and to obtain the output of a stable analog signal with low phase noise. In the designed frequency synthesizer installed three power switches that allow you to set the mode frequency counters and frequency multiplication ratio.

Key words: frequency synthesizer, step frequency grid, the range of frequencies.**СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТ З ВИСОКОЮ ТОЧНІСТЮ НАСТРОЙКИ****М. А. Руденко, С. В. Ткаченко**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, 39600 м. Кременчук, Україна. E-mail: wmaster@kdu.edu.ua

Розглянута розробка синтезатора частот із високою точністю настройки. Основна увага приділялася отриманню малого кроку сітки частот, зменшенню масогабаритних параметрів та отриманню на виході стабільного аналогового сигналу з низьким рівнем фазових шумів. У розробленому синтезаторі частот установлені три блоки комутаторів, що дають змогу встановлювати режими лічильників частоти та коефіцієнт множення частоти.

Ключові слова: синтезатор частот, крок сітки частот, діапазон частот.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Останнім часом підвищився попит на синтезатори частоти з певним, зазвичай невеликим, робочим діапазоном частот, точним кроком налаштування, стабільним вихідним сигналом і можливістю отримання аналогового сигналу на виході. Це пояснюється тим, що сьогодні на ринку існують синтезатори з широким діапазоном частот, широким кроком дискретизації, від 10 Гц і вище. Крім того, в синтезаторах, які працюють у вузькому діапазоні, зазвичай важко досягти стабільного вихідного сигналу та незмінності вихідних параметрів синтезатора, протягом тривалого робочого часу. Також варто відзначити, що більшість існуючих синтезаторів не забезпечують перетворення цифрового сигналу в аналоговий.

В існуючих аналогах увага більше приділялася зменшенню рівня побічних складових у спектрі вихідного сигналу, підвищенню швидкодії, усуненню фазових шумів у широкому діапазоні частот. До таких аналогів можна віднести цифровий синтезатор частоти (рис. 1) [2], синтезатор частот (рис. 2) [3], синтезатор частоти із зниженим рівнем фазових шумів (рис. 3) [4].

Цифровий синтезатор частот [2] належить до електронно-обчислювальної техніки, призначений для синтезу сигналів із частотною модуляцією і може використовуватися у радіолокації, адаптивних широкополосних системах зв'язку [2].

Важливим є той факт, що позитивний ефект досягається за рахунок введення додаткової операції

підсумовування при обчисленні фази сигналу і виключення двох операцій підсумовування перед перемноженням вхідних кодів [2], тобто відбувається збільшення швидкості зміни частоти порівняно з існуючими синтезаторами частот.

На рис. 1 приведена структурна схема такого синтезатора частот, який містить: 1 – генератор тактових імпульсів; 2 – блок затримки; 3 – блок постійного запам'ятовування; 4 – лічильник з попередньою установкою; 5 – помножувач кодів; 6 – накопичувач; 7 – перетворювач кодів; 8 – цифроаналоговий перетворювач; 9 – фільтр нижніх частот; 10 – регістр пам'яті.

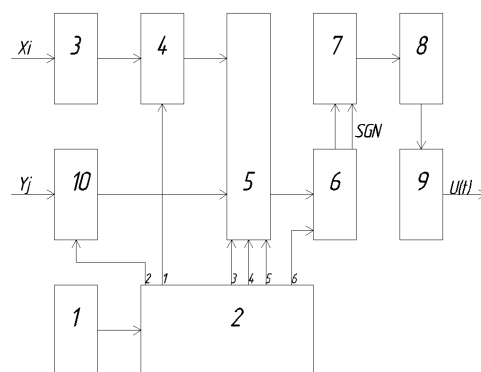


Рисунок 1 – Структурна схема цифрового синтезатора частот

Синтезатор частот [3] – винахід, що належить до радіотехніки і може використовуватися в радіопри-

ймальних і радіопередавальних пристроях у ролі гетеродина. Технічний результат, що досягається, – зменшення рівня побічних складових у спектрі вихідного сигналу [3].

Структурна схема синтезатора, що наведена на рис. 2, містить побудований на основі накопичувального суматора цифровий синтезатор 1, що має вхід точного регулювання частоти 2, який є інформаційним входом накопичувального суматора, і вхід синхронізуючих сигналів для прийому відповідно зовнішніх фазових даних і зовнішніх синхронізуючих сигналів 3, вихід 4. Фільтр 5, що має вхід, з'єднаний з виходом цифрового синтезатора 1, вихід 6. Схему ФАПЧ 7, що складається з послідовно з'єднаних у кільце переналаштувального генератора 7.1, дільника частоти зі змінним коефіцієнтом ділення 7.2, частотно-фазового детектора 7.3 і ФНЧ 7.4, та має вхід, з'єднаний з виходом 6 фільтра 5, вхід 8 грубого регулювання частоти для прийому коду, відповідного коефіцієнту поділу N дільника частоти із змінним коефіцієнтом ділення, і вихід 9, на якому утворюється сигнал синтезатора. Обчислювальний пристрій (ОП) 10, що має два входи і два виходи. Цифровий суматор 11 з двома входами і одним виходом. Перший - для прийому кодових даних грубого регулювання частоти, другий - для зміни вихідного коду, який надходить на вхід дільника частоти із змінним коефіцієнтом ділення. Крім того, перший і другий входи ОП підключені відповідно до входів 12 точного і 13 грубого регулювання частоти, перший вихід з'єднаний зі входом точного регулювання частоти цифрового синтезатора 1, а другий вихід підключений до другого входу цифрового суматора 11 [3].

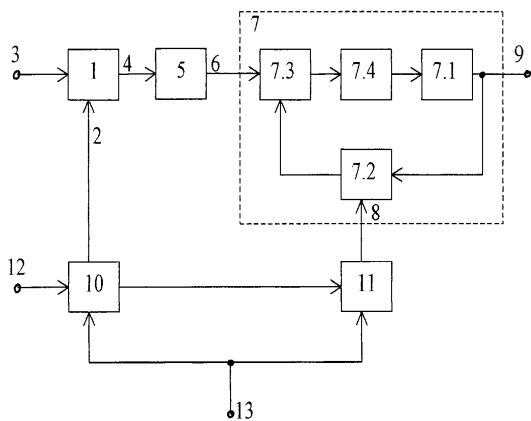


Рисунок 2 – Структурна схема синтезатора частот

Синтезатор частоти зі зниженим рівнем фазових шумів [4] – радіотехнічний винахід, що може використовуватися в техніці синтезу частот. Технічний результат, що досягається – зменшення фазових шумів при збереженні широкого діапазону зміни частоти [4].

Схема синтезатора частоти наведена на рис. 3, де 1 – опорний генератор (ОГ); 2 – дільник частоти

опорного генератора (ДЧ1); 3 – фазовий детектор (ФД1); 4 – схема накачування заряду (СН1); 5 – фільтр низької частоти (ФНЧ1); 6 – керований генератор (КГ); 7 – дільник частоти керованого генератора (ДЧ2); 8 – додатковий фазовий детектор (ФД2); 9 – додаткова схема накачування заряду (СН2); 10 – додатковий фільтр низької частоти (ФНЧ2); 11 – логічна схема управління ключами (ЛСУ); 12 – ключі К1, К2...Сп; 13 – набір конденсаторів С1, С2...Сп.

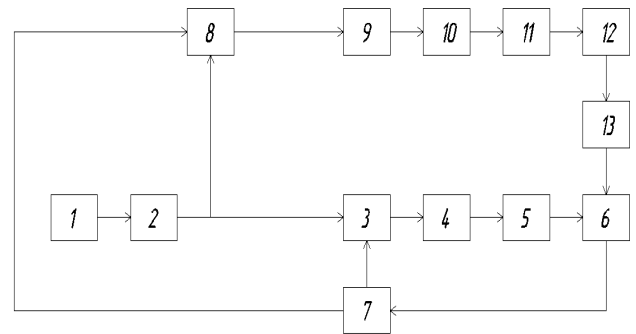


Рисунок 3 – Структурна схема синтезатора частоти із зниженим рівнем фазових шумів

Основною проблемою розробки і проектування синтезаторів частот на основі систем ФАПЧ є неминуче збільшення вихідного рівня фазових шумів при розширенні діапазону зміни частот. Проте, в спектрі вихідного сигналу також можуть бути присутні шуми і паразитні гармоніки, кратні частоті порівняння, причиною яких є недосконалість структури синтезатора і неідеальність логічних схем, що входять до його складу, зокрема, частотно-фазового детектора [1].

Серед розглянутих вище аналогів не має схеми, яка поєднувала б у собі малий крок сітки частот, високу стабільність частоти, значний динамічний діапазон бічних спектральних складових, низький рівень фазового шуму, швидкодію, широкий температурний діапазон, мінімальні масогабаритні характеристики.

У зв'язку із цим метою даної роботи є розробка синтезатора частоти з високою точністю настройки для апаратури зв'язку, біомедичної апаратури, метрологічних та діагностичних досліджень.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для вирішення поставленої мети було обрано розробку синтезатора частот з робочим діапазоном частот до 1,5625 МГц; лічильники-дільники забезпечують крок сітки частот в 1 Гц; генератор секундних імпульсів забезпечує високу стабільність частоти; цифровий синтез забезпечує: низький рівень фазового шуму, швидкодію, великий динамічний діапазон бічних спектральних складових, мінімальні масогабаритні характеристики; мікропотужна цифрова мікросхема ФАП безпосередньо дозволяє синтезувати частоти у межах зазначених вище за допомогою опорної частоти (рис. 4).

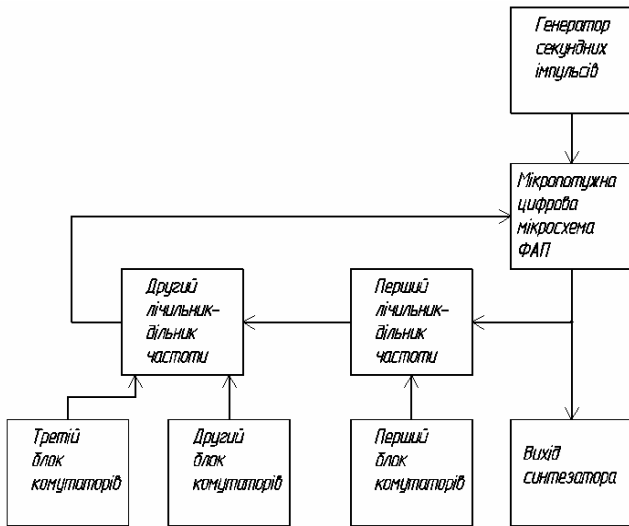


Рисунок 4 – Структурна схема синтезатора частоти

Як було вже сказано вище, основними вузлами проектуемого синтезатора частот є генератор секундних імпульсів, мікропотужна цифрова мікросхема ФАП і два лічильника-дільника. Як мікропотужну цифрову мікросхему ФАП застосовують багатофункціональну мікросхему K564ГГ1, генератор секундних імпульсів – мікросхема K176ИЕ5, лічильник-дільник – мікросхема K564ИЕ15.

Багато-функціональна цифрова мікросхема з ФАП K564ГГ1 (еквівалентна заміна – C04046В) містить наступні внутрішні вузли: генератор, керуваний напругою (ГКН); два фазових компаратора: ФК1 – «виключне АБО» і ФК2 – тригерна схема; підсилювач - формувач ПФ; вихідний істотковий повторювач ІП. Для зручності застосування на кристалі мікросхеми виготовлено джерело опорної напруги – стабілітрон з напругою 5,2 В [5].

На рис. 5 наведена функціональна схема мікросхеми K564ГГ1.

Виходячи з опису основних вузлів синтезатора, необхідно пояснити сам принцип його роботи. Сигнал із частотою у 2 Гц, що виходить з генератора секундних імпульсів, надходить до мікросхеми K564ГГ1. Далі сигнал із цією ж частотою йде до першого лічильника-дільника, де його частота множується на визначиний коефіцієнт – в нашому випадку цей коефіцієнт має встановлене значення $N1 = 6250$, після чого сигнал уже з помноженою на перший коефіцієнт частотою надходить до другого лічильника-дільника, де частота сигналу ще раз множується на коефіцієнт, значення якого можна встановити в межах $N2 = 100...111$. Далі сигнал з остаточною частотою надходить до мікросхеми K564ГГ1 і подається до виходу синтезатора.

Комутація лічильників-дільників була здійснена для частот від 1,25 до 1,5625 МГц. Тому коефіцієнт у першому лічильнику-дільнику був обраний $N1 = 6250$, а в другому – $N2 = 100...111$, але максимальне значення коефіцієнта в кожному лічильнику-дільнику складає $N = 16665$, а мінімальне – $N = 1$. За допомогою першого та третього блоків комута-

торів можна встановлювати режими для мікросхем K564ИЕ15, наприклад режим установки в початковий стан, коли $K2 = K3 = 0$, який потребує не менше трьох повних періодів тактової частоти. Другий блок комутаторів слугує для встановлення коефіцієнту множення для другого лічильника-дільника в межах $N2 = 100...111$. Отже, процес множення частоти можна виразити через наступну формулу:

$$F = N1 \times N2 \times f_{cp} = 6250 \times (100...111) \times 2 = 1,25...1,5625 \text{ МГц}, \quad (1)$$

де F – робочий діапазон частот синтезатора; f_{cp} – частота сигналу.

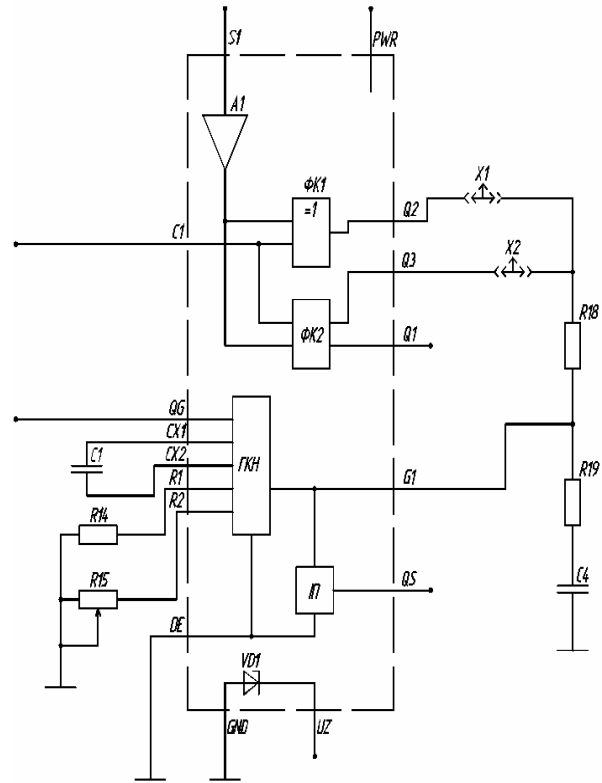


Рисунок 5 – Функціональна схема мікросхеми

Таким чином, дана схема синтезатора частот дозволяє генерувати сітку частот із кроком 1 Гц у межах від 1,25 до 1,5625 МГц, а також значно знизити фазовий шум сигналу, отримати високу стабільність частоти, нормовану вихідну потужність, швидкодію, широкий динамічний діапазон щодо бічних спектральних складових, мінімальні масогабаритні характеристики, цифровий спосіб синтезу сигналу і аналоговий сигнал на виході.

ВИСНОВКИ. Встановлено, що до особливостей прямого застосування синтезатора частоти можна віднести можливість його застосування як невід'ємної складової функціонального вузла, наприклад, радіолокаційних станцій або радіонавігаційних систем.

Легка вага і малі габарити дозволяють застосовувати прилад в авіації як бортове обладнання, в цьому випадку для авіаційної техніки мінімізація ваги дуже важлива.

Альтернативне застосування СЧ полягає у його використанні у медичному обладнанні, у кардіогра-

фах і томографах для дискретизації сигналу або як генератор частоти, а також для настроювання та тестування кардіостимуляторів і т.д. Крім того, синтезатор частоти може застосовуватися для лікування та діагностики онкологічних захворювань на основі активного впливу електромагнітним полем, збору та аналізу отриманої інформації.

У машинобудуванні СЧ буде застосовуватися для роботи у складі електродвигунів і мініелектростанцій.

У верстатобудуванні СЧ може знайти застосування, як елемент синхронізації для підвищення точності механічної обробки при виготовленні деталей [6].

Таким чином, проєктований синтезатор значно випереджає аналоги за такими параметрами: малий крок сітки частот, висока стабільність частоти, великий динамічний діапазон по бічним спектральним складовим (БСС), низький рівень фазового шуму, швидкодія, стабільний сигнал, мінімальні масогабаритні характеристики.

Завдяки своїм параметрам проєктований синтезатор частот може використовуватися у будь-якій техніці, зокрема у тих галузях які потребують мінімальних розмірів, ваги, точності настройки, стабільного вихідного сигналу.

ЛІТЕРАТУРА

1. <http://masters.donntu.edu.ua/2008/kita/kharchenko/library/art2.htm>.
2. Рябов И.В., Рябов В.И. Цифровой синтезатор частот. Патент РФ 2143173, кл. H03L7/18, H03B19/00, 1999.
3. Кеслер С.Х., Пронин А.В., Ершов В.Е. Синтезатор частот. Патент РФ 2214043, кл. H03L7/18, H03L7/197, 2003.
4. Панов С.И., Симонов Л.А., Морозов В.Н. Синтезатор частоты с пониженным уровнем фазовых шумов. Патент РФ 2370885, кл. H03L7/087, 2008.
5. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник. – М.: Металлургия, 1988. – 352 с.

6. <http://www.allventure.ru/investment/project/1.html>.

7. Бирюков С.А. Цифровые устройства на МОП-интегральных микросхемах. – М.: Радио и связь, 1990. – 128 с.

8. Справочник по конструированию радиоэлектронной аппаратуры (печатные узлы)/А.И. Горобец, А.И. Степаненко, В.М. Коронкевич. – К.: Техніка, 1985. – 312 с.

9. <http://rf.atnn.ru/s4/sy-te.html>.

REFERENCE

1. <http://masters.donntu.edu.ua/2008/kita/kharchenko/library/art2.htm>.
2. Ryabov I.V., Ryabov V.I. Digital synthesizer of frequencies. Patent RF 2143173, cl. H0317/18, H03b19/00, 1999 [in Russian].
3. Kesler S.H., Pronin A.V., Ershov V.E. Synthesizer of frequencies. Patent RF 2214043, kl. H0317/18, H0317/197, 2003 [in Russian].
4. Panov S.I., Simonov L.A., Morozov V.N. Synthesizer of frequencies with the lowered level of phase noises. Patent RF 2370885, kl. H0317/087, 2008 [in Russian].
5. Shilo V.L. Popular Digital Products: A Handbook. – М.: Metallurgy, 1988. – 352 p. [in Russian].
6. <http://www.allventure.ru/investment/project/1.html> [internet resource]
7. Biryukov S.A. Digital devices for MOS integrated circuits. - М.: Radio and Communications, 1990. – 128 p. [in Russian].
8. Handbook on designing electronic equipment (hard knots) / A.I. Gorobets, A.I. Stepanenko, V.M. Koronkevich. – К.: Technique, 1985. – 312 p. [in Russian].
9. <http://rf.atnn.ru/s4/sy-te.html> [internet resource].

Стаття надійшла 21.02.2011 р.
Рекомендована до друку
к.т.н., доц. Мосьпаном В.О.