

ровых волн // Изд. "Вебер". Севастополь. 2006.

7 Олейник В.Ф., др. Электронные приборы миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов на основе нанотехнологий//Изд. ООО "ДВ.К.". Киев. 2004.

8 <http://www.ansoft.com/products/tools/ephysics/>.

**Ключові слова:** лавинно-пролітний діод, генератор міліметрового діапазону, техніка НВЧ діапазону

Гуцул А.В., Зоренко А.В.

Gutsul A.V., Zorenko O.V.

**Thermal conditions analyze of impat diodes in millimeter-wave pulse generators**

There is influence of generator design features and IMPATT diode supply mode on effective layer thermal conditions being examined in this article. Shown, that current pulse width and thermal properties of layers closest to effective are determinative factors given supply power.

Рассмотрено влияние конструктивных особенностей генератора и режима питания на тепловый режим активной области диода. Показано, что определяющими факторами являются длительность импульса тока питания диода и тепловые параметры слоев, близких к активной области.

УДК 621.373.12: 621.396.61

**МАЛОШУМЛЯЧИЙ СИНТЕЗАТОР ЧАСТОТИ ДІАПАЗОНУ 12 ГГц  
ДЛЯ ПРИЙМАЧ-ПЕРЕДАВАЧА ФАЗОМАНІПУЛЬОВАНИХ СИГНАЛІВ**

*Цвельх І.С., Омеляненко М.Ю., Коцержинський Б.О.*

*Розроблено синтезатор частоти з низьким рівнем фазового шуму, придатний до автоматизованих процесів виробництва вузлів на друкованих платах. Проведено аналіз ймовірності помилки для каналу передачі даних з 8-PSK модуляцією, що використовує розроблений синтезатор частоти, як гетеродин перетворювачів частоти.*

Використання сучасними системами зв'язку складних видів модуляції, підвищення вимог до ефективності використання частотних ресурсів, переміщення систем зв'язку на все більш високі частоти та їх комерціалізація робить актуальною задачу побудови недорогих малошумлячих джерел коливань, яка на сьогодні перетворилася на самостійну.

**Результати дослідження**

Проаналізуємо ступінь впливу фазових шумів гетеродинів перетворювачів частоти на

якість каналу передачі фазоманіпульованих сигналів. На рис.1 зображені основні компоненти системи цифрового зв'язку. Сигнал несучої проміжної частоти модулюється

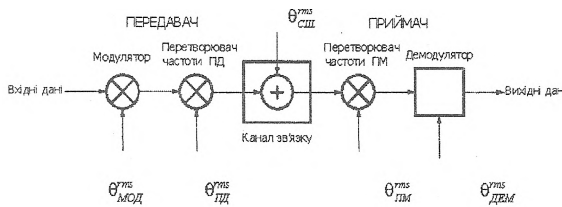


Рис. 1.

потоком вхідних даних і переноситься у діапазон частот вихідного сигналу передавача. Після проходження через канал, де підлягає впливу

аддитивного гаусівського білого шуму, сигнал потрапляє на вхід приймача і далі, після зворотнього перетворення частоти, на вхід демодулятора. Розглянемо положення векторів на  $I-Q$  діаграмі, що відповідають одному й тому ж символу на прийомному та передавальному кінцях каналу передачі фазоманіпульованих сигналів (рис. 2).

Положення вектора  $Tx$  кодує деякий символ на передавальному кінці. Завдяки впливу шумів у каналі передачі даних положення вектора  $Rx$  на приймальномому кінці для того ж символу не буде збігатися з  $Tx$ . Вектор  $A$  відповідає амплітуді сумарної напруги шумів деякої частоти, доданих до сигналу при проходженні через канал зв'язку. Можемо виділити кут фазової помилки  $\theta_{\Sigma\Pi}$ , який відповідає сумарній фазовій помилці, що вноситься джерелами шуму, зображеними на схемі (рис.1).

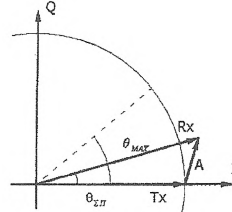


Рис. 1

Враховуючи аддитивну природу шумів в каналі (рис.1), можемо записати вираз для визначення середньоквадратичного значення сумарної фазової помилки  $\theta_{\Sigma\Pi}^{rms}$ :  $\theta_{\Sigma\Pi}^{rms} = \sqrt{(\theta_{МОД}^{rms})^2 + (\theta_{ПД}^{rms})^2 + (\theta_{СШ}^{rms})^2 + (\theta_{ПМ}^{rms})^2 + (\theta_{ДЕМ}^{rms})^2}$ , де  $\theta_{МОД}^{rms}$ ,  $\theta_{ДЕМ}^{rms}$  - середньоквадратичні значення фазової помилки, яка вноситься задаючими генераторами у вузлах модулятора та демодулятора, відповідно;  $\theta_{ПД}^{rms}$ ,  $\theta_{ПМ}^{rms}$  - середньоквадратичні значення фазової помилки, що вноситься задаючими генераторами у вузлах перетворювачів частоти передавача та приймача, відповідно;  $\theta_{СШ}^{rms}$  - середньоквадратичне значення фазової помилки, що вноситься адитивним гаусівським білим шумом у каналі зв'язку.

На рис. 2 стриховою лінією показано межу розділу областей на  $I-Q$  діаграмі, які відповідають різним символам. Очевидно, що при накопиченні такого значення кута фазової помилки  $\theta_{\Sigma\Pi}^{rms}$ , що перевищить  $\theta_{МАХ}$ , символ буде невірно інтерпретовано на прийомному кінці, і виникне помилка. Знаючи сумарну фазову помилку в каналі зв'язку, що визначається розглядуваними джерелами, а також максимально допустимому для заданого виду маніпуляції, можемо для нормального розподілення шуму визначити найважливіший параметр, який характеризує канал передачі даних – ймовірність бітової помилки [1]:

$$P = 1 - 2 \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\theta_{МАХ}}{\theta_{\Sigma\Pi}^{rms}}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right)$$

Проаналізуємо залежність досяжних значень ймовірності бітової помилки від значення сигнал/шум при передачі сигналу у каналі з модуляцією 8-PSK. Вважатимемо, що передача відбувається без завадостійкого кодуван-

ня, а фазові помилки  $\theta_{МОД}^{rms}$  і  $\theta_{ДЕМ}^{rms}$  приймаємо рівними  $1.5^\circ$ , що є типовими значеннями для цих вузлів. На рис.3 наведені розраховані характеристики для трьох значень  $\theta_{ПД}^{rms} = \theta_{ПМ}^{rms} : 0^\circ, 1.6^\circ, \text{ та } 4^\circ$ .

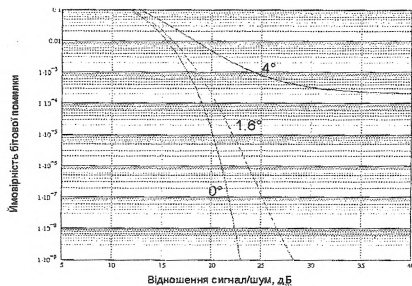


Рис. 3

Із порівняння характеристик для фазових помилок гетеродинів навколо точки, що відповідає відношенню сигнал/шум 20 дБ, видно, що збільшення рівня фазового шуму гетеродинів від  $0^\circ$  до  $1.6^\circ$  призводить до необхідності збільшення відношення сигнал/шум на 2 дБ для збереження значення ймовірності помилки. Це суттєва зміна, особливо, якщо порівняти  $\theta_{ПД}^{rms}$  і  $\theta_{ПМ}^{rms}$  з максимально допустимим для 8-PSK значенням  $\theta_{МАХ} = 22.5^\circ$ . А збільшення середньоквадратичних фазових помилок  $\theta_{ПД}^{rms}$  і  $\theta_{ПМ}^{rms}$  до  $4^\circ$  здатне істотно погіршити роботу каналу

лише завдяки фазовому шуму гетеродинів перетворювачів частоти. З наведених міркувань видно важливість застосування генераторів з малим рівнем фазового шуму у складі перетворювачів частоти передачі сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією.

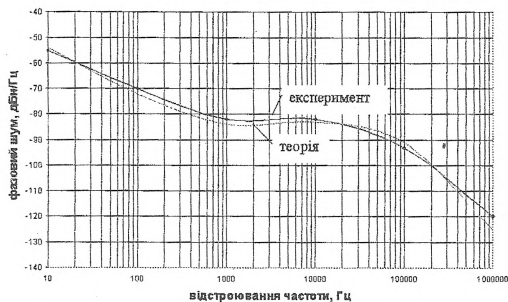


Рис. 4.

Представлений синтезатор частоти має розподілення спектральної щільності потужності фазового шуму, яке наведене на рис.4. Дві криві відповідають теоретично розрахованим та експериментально отриманим значенням рівня фазового шуму при різних значеннях відстроювання частоти від несучої 11.295 ГГц. Розрахунок середньоквадратичної фазової помилки  $\theta^{rms}$  для інтервала відстроювань від несучої 10 Гц - 1 МГц дає результат  $1.6^\circ$ . Отримані характеристики наближаються до аналогів, побудованих за суттєво складнішими схемами [2].

Синтезатор частоти побудовано на основі двопетлевої схеми з ФАПЧ з помножувачем частоти на два. На рис. 5 зображена структурна схема розробленого синтезатора частоти. Головним вузлом є генератор, керований

напругою, виконаний у мініатюрному корпусі для поверхневого монтажу, НМС431 фірми Hittite Microwave. Для отримання номінального значення частоти вихідного сигналу  $f = 11.295$  ГГц використаний транзисторний помножувач частоти на два. Застосування такого підходу пояснюється наявністю комерційно доступних синтезаторів частоти в інтегральному виконанні, що працюють на частотах до 8 ГГц. В якості синтезаторів частоти використані мікросхеми фірми Analog Devices ADF4106 (у петлі з вихідним сигналом на частоті  $f = 5.6475$  ГГц) та ADF4001 (у петлі з сигналом  $f_1 = 162$  МГц). У петлі ФАПЧ на ADF4001 в якості керованого напругою генератора виступає генератор фірми АСТ з частотою вихідного сигналу 162 МГц.

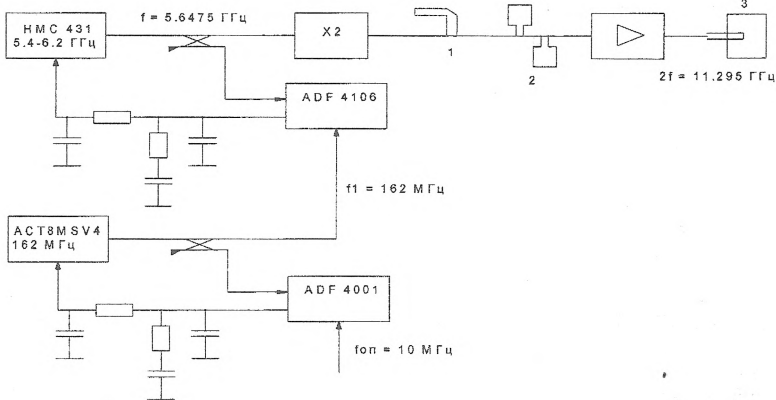


Рис.5

Побудова синтезатора за двопетлевою схемою з височастотним кварцовим генератором у опорній петлі дозволяє суттєво зменшити рівень фазового шуму вихідного сигналу в межах смуги частот основної петлі ФАПЧ. Задаючий сигнал для системи забезпечує опорний термостатований кварцевий генератор з частотою вихідного сигналу 10 МГц. Для отримання на виході синтезатора сигналу з потужністю 20 мВт, що не містить паразитних комбінаційних складових, використаний наступний вихідний тракт. Шлейф 1 забезпечує необхідний режим роботи транзисторного помножувача частоти на частоті  $f = 5.6475$  ГГц, дворезонаторний фільтр 2 використовується для придушення складових  $3f$  та  $4f$ . Вихід синтезатора реалізований у вигляді поперечного переходу з мікросмужкової лінії передачі на хвилевід 3, чим досягається ефективне придушення основної частоти та гарантовано низьке значення КСХ з боку виходу синтезатора. Аналіз фазових шумів петлі проведений на основній частоті [3]. На частоті 11.295 ГГц теоретична характеристика отримана для ідеального помножувача частоти. Результати експерименту показують, що застосована методика роз-

рахунку забезпечує високу точність (рис. 4).

Синтезатор побудований за технологією поверхневого монтажу на основі недорогого полімерного матеріалу *Neltec NH9338* і придатний до автоматизованих процесів виробництва друкованих плат.

### Висновки

Розроблений синтезатор частоти побудований на комерційно доступних інтегральних вузлах для застосування в якості гетеродина приймач-передавач абонентського блоку системи багатостанційного доступу. Конструкція синтезатора дозволяє застосовувати процеси масового виробництва для його виготовлення. Фазовий шум у боковій полосі вихідного сигналу синтезатора на частоті 11.295 ГГц складає -56, -82 та -120 дБн/Гц при відстроюваннях частоти 10 Гц, 1 кГц та 1 МГц, відповідно. Аналіз ймовірності бітової помилки для каналу передачі даних із застосуванням розробленого синтезатора в якості гетеродина перетворювачів частоти показує, що він може ефективно використовуватись для передачі сигналів з багаторівневою фазовою маніпуляцією 8-PSK навіть без застосування вадостійкого кодування даних.

### Література

1. Беллами Д.К. Цифровая телефония // М.: Эко-Трендз, 2004. – 640с.
2. Tanygin V., A Practical Design of a Low Phase Noise Airborne X-band Frequency Synthesizer//Microwave Journal, Vol. 49, No. 10, October 2006, p. 92.
3. Best R.E. Phase locked loops design, simulation, and applications//5<sup>th</sup> ed. New York.: McGraw Hill, 2003. – 421p.

<b>Ключові слова:</b> НВЧ генератор, синтезатор частот, бітова помилка, фазовий шум	
Гвельды И.С., Омеляненко М.Ю., Копержинский Б.А.	Tsvelykh I.S., Omeljanenko M.Ju., Kotsergunskiy B.A.
Малошумящий синтезатор частоты диапазона 12 ГГц для приёмо-передатчика фазоманипулированных сигналов	The low-noise frequency 12 GGH synthesizer of the phase maniple receiver-transmitter sygnal
Разработан синтезатор частоты с низким уровнем фазового шума, пригодный для автоматизированных процессов производства узлов на печатных платах. Проведен анализ вероятности ошибки для канала передачи данных с 8-PSK модуляцией, в котором используется разработанный синтезатор частоты в качестве гетеродина преобразователей частоты.	A frequency synthesizer with low phase noise level was designed. Synthesizer is applicable to automated printed circuit boards manufacturing process. An analysis of error probability is presented for a communication channel with 8-PSK modulations, that use synthesizer developed as a local oscillator for frequency converters.