

УДК 621.317.7:621.391

**Манько Олександр Олексійович,**

доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікацій  
Одеської національної академії зв'язку ім. О.С.Попова,  
м. Київ, Україна

**Кунах Наталія Ігорівна,**

доктор технічних наук, професор, викладач вищої категорії,  
голова комісії електротехнічних дисциплін,  
Київський коледж зв'язку, м. Київ, Україна,  
ORCID ID 0000-0003-3740-3631

**Скубак Олександр Миколайович,**

кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікацій  
Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова,  
м. Київ, Україна,  
ORCID ID 0000-0003-0513-8925

**Сотніченко Юлія Олексіївна,**

викладач вищої категорії, Київський коледж зв'язку, м. Київ, Україна

**Харлай Людмила Олексіївна,**

кандидат технічних наук, викладач-методист вищої категорії,  
голова комісії інформаційних мереж зв'язку,  
Київський коледж зв'язку, м. Київ, Україна

## ЕФЕКТИВНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ У СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ

*На цей час проводяться інтенсивні дослідження щодо розробки та впровадження технології 5G на мережах зв'язку. Новітня технологія потребує розробки відповідних типів генераторів для передавальних та гетеродинних пристроїв, а також нових методів вимірювання їх важливих параметрів. Зокрема, такими параметрами є флуктуації частоти (частотні шуми) та час переключення частоти генераторів. Для вирішення цих питань в роботі запропоновано метод вимірювання флуктуацій частоти, який базується на включенні вимірюваного генератора, що керується напругою, у коло фазового автопідстроювання частоти. У якості параметра, який безпосередньо фіксується, використовується шумова напруга на виході керуючого елемента генератора, що вимірюється.*

**Ключові слова:** генератор НВЧ, флуктуації частоти, резонатор, час переключення частоти, опорний генератор.

*В настоящее время проводятся интенсивные исследования по разработке и внедрению технологии 5G на сетях связи. Новейшая технология требует разработки соответствующих типов генераторов для передающих и гетеродинных устройств, а также новых методов измерения их важных параметров. В частности, такими параметрами являются флуктуации частоты (частотные шумы)*

© Manko Oleksandr, Kunakh Nataliia, Skubak Oleksandr, Sotnichenko Yuliia, Kharlai Liudmyla, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).4](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).4)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

*и время переключения частоты генераторов. Для решения этих вопросов в работе предложен метод измерения флуктуаций частоты, основанный на включении измеряемого генератора, управляемого напряжением, в цепь фазовой автоподстройки частоты. В качестве параметра, который непосредственно фиксируется, используется шумовое напряжение на выходе управляющего элемента генератора.*

**Ключевые слова:** генератор СВЧ, флуктуации частоты, резонатор, время переключения частоты, опорный генератор.

### Вступ

На сучасному етапі розвитку мереж зв'язку проводяться інтенсивні дослідження щодо впровадження мереж зв'язку 5G [1, 2]. При цьому постійно триває освоєння міліметрового діапазону з використанням частот 28 GHz, 38 GHz [1], та 60 GHz [2]. Враховуючи роль в побудові систем зв'язку таких елементів як джерела генерації радіосигналів, необхідно контролювати з метою підтримання якості низку параметрів, а саме рівень частотних та амплітудних флуктуацій вихідного сигналу. Крім того, беручи до уваги наявність в системах передавання генераторів з електронним переналаштуванням частоти, необхідно з цією ж метою визначити час переключення частоти. Вимірювання частотних флуктуацій (частотних шумів) потребує застосування досить складної та недешевої апаратури, одним з елементів якої є високоякісний резонатор, що допускає переналаштування в широкому діапазоні вимірюваних частот та працює на одному типі коливань. Для міліметрового діапазону це також створює певні труднощі [3]. Завданням цієї роботи є розробка ефективного методу вимірювання частотних флуктуацій, який дозволяє спростити процес вимірювання та застосовувати типову апаратуру, що не включає стандартних вимірювачів частотних флуктуацій (частотних шумів). Крім того, у роботі запропоновано метод вимірювання часу переключення частоти генераторів з електронним переналаштуванням частоти.

### Спосіб вимірювання частотних флуктуацій генераторів НВЧ з електронним переналаштуванням частоти

Як уже було зазначено вище, при вимірюванні частотних та фазових флуктуацій генераторів НВЧ діапазону в якості дискримінатора використовують пасивний елемент – високоякісний резонатор [3]. Вимірювальний резонатор повинен працювати на одному типі коливань та переналаштуватись в досить широкому діапазоні частот. Такий спосіб не можна застосувати при вимірюванні флуктуацій генераторів НВЧ з порівняно низькою стабільністю частоти, наприклад, генераторів, що керуються напругою (ГКН), у яких технічні зміни частоти, як правило, перевищують смугу пропускання резонатора вимірювального обладнання. Вимірювання шумів таких генераторів доцільно проводити з активним еталоном – високостабільним НВЧ генератором, під який системою фазового автопідстроювання частоти підлаштовується генератор, що досліджується. У цьому разі шумовий сигнал в петлі фазового автопідлаштування частоти (ФАПЧ) є пропорційним перевищенню частотних шумів генератора, що досліджується, над шумами еталону, і вимірювання зводяться до вимірювань низькочастотної (НЧ) шумової напруги  $U_{ш}$  на керуючому

© Manko Oleksandr, Kunakh Nataliia, Skubak Oleksandr, Sotnichenko Yuliia, Kharlai Liudmyla, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).4](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).4)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

елементі ГКН. Середньоквадратичне відхилення частоти  $\sigma(F)$  на частоті аналізу  $F$  у смузі вимірювання  $\Delta F$  описується виразом:

$$\sigma(F) = U_u \cdot S_f$$

де  $S_f$  – крутизна переналаштування ГКН на частоті  $f$ . За відомого значення  $\sigma(F)$  перерахунок рівня флуктуацій частоти у спектральну щільність потужності шумів в смузі аналізу  $\Delta F$  здійснюється за співвідношенням [4]:

$$\gamma_f (\text{дБ/Гц}) = 20 \lg \left\{ \frac{\sigma(F)}{\sqrt{2} \cdot F \Delta F} \right\}.$$

Максимальна частота аналізу при таких вимірах обмежується смугою пропускання підсилювача постійного струму системи ФАПЧ. Якщо рівень ЧМ-шумів опорного сигналу на 10–20 дБ нижчий за рівень шумів генератора, що досліджується, отриманий результат вимірювань практично збігається з рівнем ЧМ-шумів генератора, що досліджується. У роботі [5] було проведено дослідження шумових характеристик ГКН на діоді Гана (ДГ) за допомогою запропонованого методу та з використанням серійного вимірювача флуктуацій типу СКЗ-36. Схему вимірювання наведено на рис.1.

Згідно з цією схемою вимірюваний генератор 1 та опорний генератор 3 під'єднуються до фазового детектора 2 для утворення схеми фазового автопідлаштування частоти сигналу вимірювального генератора до опорного сигналу. До виходу фазового детектора з цією метою підключено підсилювач постійного струму (ППС) 4, до виходу якого під'єднано вимірювач постійної напруги 5 та аналізатор спектра 6 або ж селективний мікровольтметр. Крім того, вихідна напруга ППС подається на суматор 7, де відбувається процес її підсумовування з постійною напругою джерела 8, що подається для перелаштування генератора 1 в межах діапазону.

Пристрій працює таким чином. За допомогою регульованого джерела постійної напруги 8 генератор з електронним перелаштуванням частоти 1 переналаштовується до околу опорної частоти, яку забезпечує генератор 3. Фазовий детектор 2 разом з ППС 4, підключені через суматор 7 до генератора 1, утворюють петлю ФАПЧ та забезпечують режим синхронізації генератора 1 сигналом опорної частоти генератора 3. Вимірювач постійної напруги 5 контролює налаштування частоти коливальника генератора 1 в центр смуги синхронізації, при цьому постійна складова напруги на виході ППС дорівнює нулю або має близьке до нього значення. Результати вимірювань, проведених у двох крайніх і середній точці діапазону переналаштування ГКН на частотах аналізу, що лежать в межах 2–50 кГц, відрізняються від даних, отриманих за допомогою серійного вимірювача флуктуацій типу СКЗ-36, на 0–2 дБ.

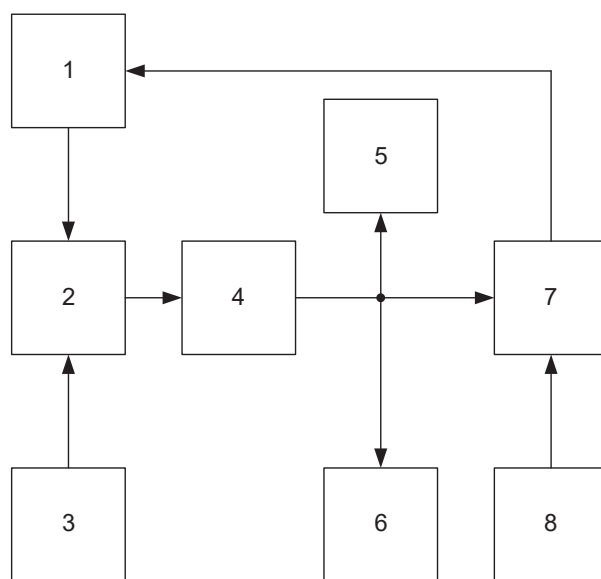


Рис.1. Блок-схема вимірювання частотних флуктуацій НВЧ генератора керованого напругою:

1 – НВЧ генератор з електронним перестроюванням частоти; 2 – фазовий детектор; 3 – генератор опорного сигналу; 4 – підсилювач постійного струму; 5 – вимірювач постійної напруги; 6 – аналізатор спектра (селективний мікрровольтметр); 7 – суматор напруги; 8 – регульоване джерело постійної напруги.

Запропонований спосіб зручний для проведення автоматизованих вимірів, особливо за наявності в діапазоні переналаштування ГКН сітки високостабільних частот, отриманої, наприклад, за рахунок принципів змішування частоти кварцевого генератора з частотою високостабільного НВЧ генератора [6]. На відміну від стандартних вимірювальних приладів, які вирізняються досить високою вартістю, запропонований метод потребує наявності поширених вимірювальних пристроїв з порівняно невеликою вартістю.

#### **Метод та пристрій вимірювання тривалості переключення частоти і дрейфу частоти після переключення генератора НВЧ**

Як відомо, одними з найважливіших характеристик генераторів, керованих напругою, є тривалість переключення частоти і дрейф частоти після переключення [7]. Тривалість переключення частоти визначається як час, необхідний для досягнення після переключення кінцевого значення частоти, із заданою точністю. Дрейф частоти після переключення являє собою зміну частоти протягом заданого інтервалу часу після переключення [7].

У зв'язку з важливістю зазначених параметрів, становлять інтерес методи та пристрої для їх вимірювання, а також конкретні значення цих параметрів для типових ГКН. З огляду на це, у [8] розроблено метод вимірювання тривалості переключення частоти та дрейфу частоти після переключення генераторів НВЧ, а також пристрій, що його реалізує. За основу принципової побудови пристрою та розробки методу було взято перенесення частоти сигналу НВЧ генератора в область проміжних частот з подальшою подачею його на широкопasmовий частотний дискримінатор. Вказане технічне рішення надає можливість застосування пристрою

© Manko Oleksandr, Kunakh Nataliia, Skubak Oleksandr, Sotnichenko Yuliia, Kharlai Liudmyla, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).4](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).4)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

в різних діапазонах частот за рахунок переносу частоти сигналу на проміжну частоту. При цьому єдине, що необхідно зробити при зміні діапазону, – це замінити вузол змішувача на такий, що відповідає конкретному діапазону частот. Розроблений пристрій, описаний у [9], дозволяє вимірювати тривалість переключення частоти генератора з електронним переналаштуванням, а також спостерігати процес переключення частоти і дрейф після переключення. Цей пристрій наведений на рис. 2.

Пристрій працює таким чином. Блок керування 3 по черзі видає на керуючий вхід досліджуваного генератора 1 керуючі напруги  $U_1$  і  $U_2$ . При цьому відбувається переключення частоти генератора 1, що по чергово набуває сталих значень  $f_1$  і  $f_2$ . Після переключення частоти має місце зміна частоти вихідного сигналу  $f_c$ , зумовлена перехідними процесами. Вихідний сигнал генератора 1 подається на вхід змішувача 4, на другий вхід якого надходить сигнал гетеродина 2 з частотою  $f_{gem}$ . Вихідний сигнал змішувача 4 надходить на вхід підсилювача 5, налаштованого на центральну частоту  $f_{nc}$  ( $f_{nc}$  – проміжна частота). Сигнал на виході підсилювача 5 з'являється за виконання умови:

$$f_{nc} - \left( \Delta F_{унч} / 2 \right) < |f_c - f_{gem}| < f_{nc} + \left( \Delta F_{унч} / 2 \right), \quad (1)$$

де  $\Delta F_{унч}$  – смуга пропускання підсилювача 5. З виходу частотного дискримінатора 7 напруга, пропорційна величині  $|f_c - f_{gem}| - f_{nc}$ , подається на перший вхід двопробеневого осцилографа 9, запуск якого здійснюється синхро-сигналом із другого виходу блоку 3. Одночасно вихідний сигнал підсилювача 5 подається на перші входи змішувача 6 і змішувача 12. На другий вхід змішувача 6 з виходу гетеродина 10 через модулятор 11 надходить опорний сигнал з частотою  $f_q = f_{nc}$ .

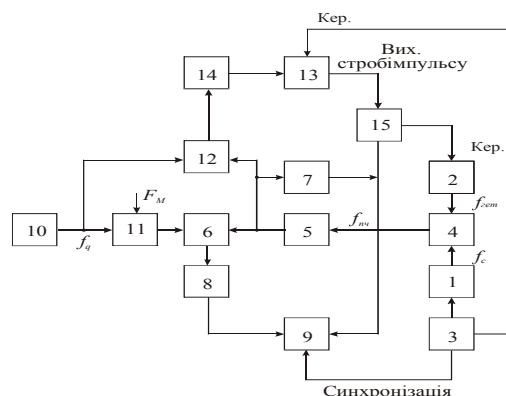


Рис. 2. Пристрій для вимірювання тривалості переключення частоти:

1 – генератор з електронним перестроюванням частоти; 2, 10 – гетеродини; 3 – блок управління; 4, 6, 12 – змішувачі; 5 – підсилювач ПЧ; 7 – частотний дискримінатор; 8 – ФНЧ, що переключається; 9 – реєструючий блок; 11 – модулятор; 13 – індикаторний блок; 14 – ФНЧ; 15 – блок вибірки та запам'ятовування.

Сигнал гетеродина 10 також надходить на другий вхід змішувача 12. Для індикації попадання встановленого значення сигналу  $f_c$ , перенесеного на проміжну частоту, до центру смуги пропускання підсилювача 5 і центр смуги частотного

© Manko Oleksandr, Kunakh Nataliia, Skubak Oleksandr, Sotnichenko Yuliia, Kharlai Liudmyla, 2020

дискримінатора 7 служать такі блоки: фільтр 14, індикаторний блок 13. Блок 15 вибірки і запам'ятовування служить для підлаштування частоти гетеродина 2. За необхідності система АПЧ може відключатися, у цьому випадку підлаштування частоти гетеродина 2 здійснюється вручну. Вихід змішувача 6 через фільтр, що переключається, 8, зі смугою пропускання  $\Delta F$ , підключено до другого входу блоку 9. При цьому на екрані осцилографа (блок 9) по другому променю можуть спостерігатися мітки у вигляді сплесків, що відзначають моменти часу, у які значення частоти досліджуваного сигналу розрізняються на величину частоти модуляції (рис. 3). Таким чином, вимірювання часових характеристик може здійснюватися за допомогою частотних міток, створюваних шляхом подачі на другий вхід змішувача 6 сітки еквідистантних частот, сформованих шляхом імпульсної модуляції сигналу  $f_q$  короткими імпульсами з частотою надходження  $F_M \ll f_q$ , що визначається модулюючим сигналом зовнішнього генератора. Вимірявши на екрані блоку, що реєструє, 9 по другому променю число міток в

інтервалі часу  $|t_1 - t_2|$  (рис. 6) і знаючи частотний інтервал між мітками  $\Delta f = F_M$ ,

можна визначити тривалість переключення частоти. Крім того, пристрій дозволяє визначити тривалість переключення, починаючи з якої зміна частоти не перевищує  $2\Delta F$ , де  $\Delta F$  – смуга пропускання фільтра, що переключається, 8 (рис. 4). У цьому режимі на другий вхід блоку 9 подається сигнал з виходу фільтра 8, що переключається, зі смугою пропускання  $\Delta F$ . Відгук на екрані блоку 9 спостерігається за виконання умови

$|f_c - f_{zem} - f_q| < \Delta F$ . При цьому імпульсна модуляція

сигналу гетеродина 10 модулятором 11 не здійснюється. За необхідності підвищення точності відліку, а також автоматизації процесу вимірювань, до складу реєструючого блоку 9 доцільно ввести, наприклад, цифровий лічильник часового інтервалу. Пристрій для вимірювання тривалості переключення частоти забезпечує не тільки вимірювання інтервалу часу від моменту переключення керуючого сигналу до моменту, коли частота генератора 1 з електронним перестроюванням частоти досягає значення, яке відрізняється від заданого на визначену величину, але й дозволяє спостерігати та вимірювати часову залежність відхилення частоти від сталого значення. Крім того, візуальне спостереження цієї залежності дозволяє оператору виключити помилковість показів і тим самим забезпечує достовірність

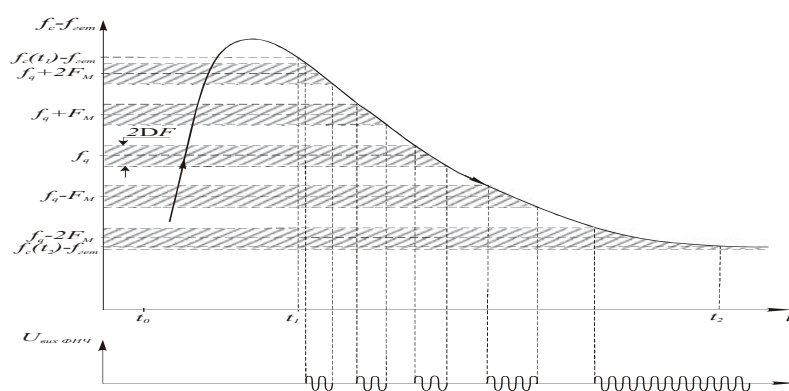


Рис. 3. Вимірювання тривалості переключення частоти за допомогою частотних міток

© Manko Oleksandr, Kunakh Nataliia, Skubak Oleksandr, Sotnichenko Yuliia, Kharlai Liudmyla, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).4](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).4)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

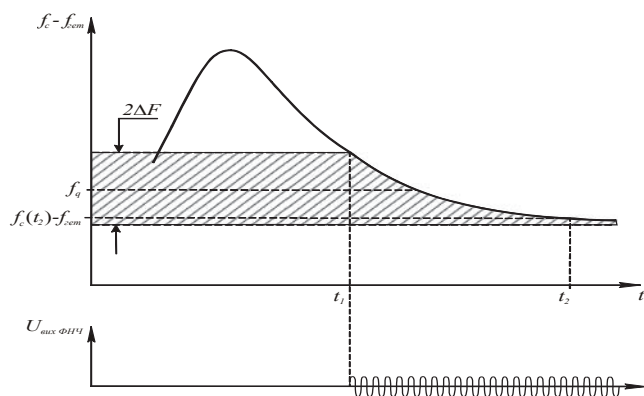


Рис. 4. Вимірювання тривалості переключення частоти за допомогою фільтра з регульованою смугою пропускання

За допомогою пристрою, описаного вище, був експериментально досліджений процес дрейфу частоти після переключення генератора Ганна, що переналаштовується кремнієвим варікапом, а також проведені розрахунки дрейфу після переключення ємності кремнієвого варікапу, зумовленого інерційністю процесу релаксації заряду на домішкових центрах золота у кремнії [10]. Відзначено узгодження результатів вимірювань з теоретичними даними.

Запропоновано спосіб вимірювання ЧМ-шумів генераторів з електронним перестроюванням частоти шляхом включення їх до системи фазового автопідлаштування частоти, на яку в якості опорного сигналу подається сітка високостабільних частот. При цьому досягається можливість вимірювання флуктуаційних характеристик ГКН з низькою стабільністю частоти, зменшується тривалість вимірювань та відпадає потреба в спеціальних вимірювальних приладах, тому що точність вимірювань знаходиться в межах їхніх паспортних значень.

Розроблено конструкцію пристрою для вимірювання з підвищеною точністю тривалості переключення частоти генераторів, керованих напругою, яка також дозволяє проводити вимір дрейфу частоти після переключення, тобто вимірювання часової залежності відхилення частоти від стаціонарного значення, яке досягається після закінчення перехідних процесів в результаті переключення. Пристрій забезпечує також візуальне спостереження процесу дрейфу частоти. Проведено вимірювання дрейфу частоти ГДГ з кремнієвим варікапом після її переключення, порівняння результатів з теоретичними розрахунками залежностей нерівноважної ємності варікапу від часу після переключення напруги на ньому та зроблено висновок про їх узгодженість.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Theodore S., Rappaport, Shu Sun, R. Mayzus, Hang Zhao, Y. Azar, K. Wang, George N. Wong, Jocelyn K. Shulz, Mathew Samimi, F. Gutierrez. Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work. IEEE Access journal. Volume 1. May, 2013. P. 335–349.
2. A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. Akhil Gupta, Rakesh Kumar Jha. IEEE Access journal. Vol. 3. July, 2015. pp. 1206–1232.

© Manko Oleksandr, Kunakh Nataliia, Skubak Oleksandr, Sotnichenko Yuliia, Kharlai Liudmyla, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).4](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).4)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

3. *Кравцов И.А., Малышев В.М., Мещеряков А.В.* Экспериментальное исследование низкочастотных шумов генераторов на диодах Ганна миллиметрового диапазона. Изв. Вуз. Радиофизика. 1989. Т. 32. № 7. С. 897–904.

4. *Корнилов С. А., Савшинский В. А., Уман С. Д.* Шумы клистронных генераторов малой мощности. М.: Сов. радио, 1972. 198 с.

5. *Вывовой С.И., Манько А.А.* Особенности измерения частотных флуктуаций генераторов КВЧ с малой стабильностью частоты. XII Всесоюзная научно-техническая конференция по твердотельной электронике СВЧ. Киев. 1990. С. 134.

6. *Кременецкая Я.А., Манько А.А., Чайка В.Е.* Синтезатор частот на основе генератора, управляемого напряжением, с низким уровнем шумов выходного сигнала. Проблемы телекоммуникаций (ПТ-07): Перша наук.-техн. конф., 25–27 квіт. 2007 р.: тези доп. К., 2007. С. 154–155.

7. *Boyd D.* Design Considerations for Post Tuning Drift (PTD) Reduction in Modern VCO Subsystems. Microwave Journal. 1986. № 12. P. 121–130.

8. *Каток В.Б., Манько А.А., Соловьев Д.А.* Устройство для измерения времени переключения частоты СВЧ генераторов. Труды 11-й Международной крымской микроволновой конференции “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии”. КрыМиКо 2000. Севастополь: СГТУ (Украина). 2001. С. 559–560.

9. *Манько А.А.* Измерение времени переключения частоты СВЧ-генераторов. Радиотехника. 2002. Вып. 127. С. 197–201.

10. *Гончарук Н.М., Манько А.А., Чайка В.Е.* Влияние глубоких примесных центров в кремниевом варакторе на инерционность перестройки частоты генератора Ганна. Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы. 1990. Вып. 2. С. 8–13.

## REFERENCES

1. *Theodore, S., Rappaport, Shu Sun, R. Mayzus, Hang Zhao, Y. Azar, K. Wang, George N. Wong, Jocelyn K. Shulz, Mathew Samimi, F. Gutierrez* (2013) Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work. IEEE Access journal. Volume 1. May. P. 335–349 [in English].

2. A Survey of 5G Network: Architecture and Emerging Technologies. *Akhil Gupta, Rakesh Kumar Jha*. IEEE Access Journal. Vol. 3. July, 2015. P. 1206–1232 [in English].

3. *Kravtsov, I.A., Malyshev, V.M., Meshcheriakov, A.V.* (1989) Eksperimentalnoe isledovanie nizkochastotnykh шумов generatorov na diodakh Ganna millimetrovogo diapozona. “An Experimental Study of the Low-Frequency Noise of Millimeter-Wave Gunn Diodes”. Bulletin. Radiofizika. Vol. 32. No 7. P. 897–904 [in Russian].

4. *Kornilov, S.A., Savshynsy, V.A., Uman, S.D.* (1972) Shumy klystronnykh generatorov maloi moshchnost. “Noise of Low Power Klystron Generators”. М.: Sov. Radio. 198 p. [in Russian].

5. *Vyrovoy, S.I., Manko, A.A.* (1990) Osobennosti izmereniia chastotnykh fluktuatsyi generatorov KVCh s maloi stabilnostiu chastity. “Features of Measuring the Frequency Fluctuations of EHF Generators with Low Frequency Stability”. XII All-Union Scientific and Technical Conference on Solid-State Electronics Microwave. Kyiv. P. 134 [in Russian].

6. *Manko, A.A., Kremenetska, Ya.A., Chaika, V.Ye.* (2007) Sintezator chastot na osnove generatora, upravliaemogo napriazheniem, s nizkim urovnev шумов vykhodnogo signala. “A Frequency Synthesizer Based on a Voltage-Controlled Generator with a Low Noise Output Signal”. Problems of Telecommunications (PT-07): the first scientific-technical. conf., 25–27 Apr. 2007. P. 154–155 [in Russian].

7. *Boyd, D.* (1986) Design Considerations for Post Tuning Drift (PTD) Reduction in Modern VCO Subsystems. Microwave Journal 12, 121–130 [in English].

8. *Katok, V.B., Manko, A.A., Soloviev, D.A.* (2001) Ustroistvo dlia izmereniia vremeni perekliucheniia chastoty SVCh generatorov. Proceedings of the 11th International Crimean Microwave Conference “Microwave Technology and Telecommunication Technologies”. KryMiKo 2000. Sevastopol: SSTU (Ukraine). P. 559–560 [in Russian].

9. *Manko, A.A.* (2002) Izmerenie vremeni perekliucheniya chastoty SVCh- generatorov. “Measurement of Switching Frequency of Microwave Generators”. Radio Engineering 127, 197–201 [in Russian].

10. *Goncharuk, N.M., Manko, A.A., Chaika, V.Ye.* (1990) Vlyjanye glubokikh prymesykh tse ntrov v kremnievom varaktore na inertsionnost perestroiki chastoty generatora Ganna. “The Influence of

© Manko Oleksandr, Kunakh Nataliia, Skubak Oleksandr, Sotnichenko Yuliia, Kharlai Liudmyla, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).4](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).4)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>



Deep Impurity Centers in a Silicon Varactor on the Inertia of the Frequency Tuning of the Gunn Generator". Electronic Equipment. Ser. 2. Semiconductor devices 2, 8–13 [in Russian].

UDC 621.317.7:621.391

**Manko Oleksandr,**

Doct. Sci. (Engineering), Professor of the Department of Telecommunications of Odessa National Academy of Communications named after O.S. Popov, Kyiv, Ukraine, ORCID ID 0000-0002-2131-3597

**Kunakh Nataliia,**

Doct. Sci. (Engineering), Professor, teacher of the highest rank, Chairman of the Commission of the Electrotechnical Disciplines, Kyiv College of Communication, Kyiv, Ukraine

**Skubak Oleksandr,**

PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Telecommunications of Odessa National Academy of Communications named after O.S. Popov, Kyiv, Ukraine

**Sotnichenko Yuliia,**

PhD (Engineering), teacher of the highest rank, Kyiv College of Communication, Kyiv, Ukraine, ORCID ID 0000-0002-1281-9238

**Kharlai Liudmyla,**

PhD (Engineering), teacher-methodologist of the highest rank, Head of the Information Communication Networks Department, Kyiv College of Communication, Kyiv, Ukraine

## EFFECTIVE METHODS OF MEASURING IN FIFTH GENERATION COMMUNICATION SYSTEMS

Currently, intensive research is being conducted on the development and implementation of 5G technology on communication networks. The latest technology requires the development of appropriate types of generators for transmitting and heterodyne devices, as well as new methods for measuring their important parameters. In particular, such parameters are frequency fluctuations (frequency noise) and the switching time of the frequency of the generators. To address these issues, a method for measuring frequency fluctuations based on the inclusion of a measured voltage controlled oscillator in a phase-locked loop is proposed. As a parameter that is directly fixed, the noise voltage at the output of the generator control element is used. This is enough to calculate the level of frequency fluctuations (frequency noise) of the measured generator with the known steepness of the generator tuning. As for measuring the frequency switching time, the basis for constructing the device and developing the method was the transfer of the frequency of the voltage-controlled generator signal to the region of intermediate frequencies, followed by its transmission to the broadband

© Manko Oleksandr, Kunakh Nataliia, Skubak Oleksandr, Sotnichenko Yuliia, Kharlai Liudmyla, 2020

DOI (Article): [https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1\(60\).4](https://doi.org/10.36486/mst2411-3816.2020.1(60).4)

Issue 1(60) 2020

<http://suchasnaspetstehnika.com/>

frequency discriminator. The specified technical solution allows the use of the device in different frequency ranges by transferring the frequency of the signal to an intermediate frequency. The scientific novelty of the proposed methods lies in the fact that the previous methods for measuring frequency noise used a high-quality broadband resonator as a frequency discriminator. In this case, for voltage-controlled generators, there was a problem of constantly monitoring the technical drift of their frequency in order to adjust the measuring resonator accordingly. In contrast, the proposed method is notable for the simplicity of constructing a measuring circuit, the absence of a resonator and the need for a complex calibration process. As for measuring the frequency switching time, the proposed device allows you to measure this parameter in any frequency range by replacing only the local oscillator with the corresponding one. Thus, the proposed measurement methods are of technical simplicity and can be proposed for building on their basis serial devices for measuring in transmission systems based on 5G technology.

**Keywords:** microwave generator, frequency fluctuations, resonator, frequency switching time, reference generator.

Отримано 13.01.2020

Рецензент д.т.н., проф. Рибальський О.В.