



Дослідження метрологічних можливостей цифрових (DDS- і Trueform-) генераторів

Ю.Ф. Павленко¹, С.Р. Кирієнко¹, В.І. Огар², О.М. Васильєва¹

¹ Національний науковий центр "Інститут метрології", вул. Мירוносицька, 42, 61002, Харків, Україна
iurii.pavlenko@metrology.kharkov.ua

² Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, 61166, Харків, Україна
valeriy.ogar@nure.ua

Анотація

Одним із кардинальних удосконалень еталона одиниці дев'яти частоти частотно-модульованих коливань стала заміна аналогових частотно-модульованих генераторів, які використовувалися в ДЕТУ 09-03-95, на цифрові, засновані на принципі прямого цифрового синтезу (Direct Digital Synthesis – DDS) і його подальшій версії Trueform-технології. Окрім прогнозованих більш високих якісних характеристик, DDS- і Trueform-генератори мають більш широкі діапазони дев'яти частоти і модулюючих частот, але параметри якості у них нормовані не в повному обсязі.

Темою статті є розробка методів і проведення досліджень названих генераторів та сформованих ними частотно-модульованих сигналів на предмет якісних показників: нелінійних спотворень, супутньої амплітудної модуляції, частотних шумів (паразитної дев'яти частоти шумового характеру). При дослідженні нелінійних спотворень використано три методи: прямого вимірювання, "комбінаційних частот" і "зсуву частоти". Було розроблено і проведено експеримент із використанням цих методів вимірювань, який дозволив оцінити дуже малі значення нелінійних спотворень частотно-модульованих сигналів DDS-генераторів. Одержані висновки щодо метрологічних можливостей DDS-генераторів за суттю співпали з результатами інших дослідників, проведених іншими методами і на інших типах генераторів. Розроблено методики і проведено експериментальні оцінки супутньої амплітудної модуляції (в режимі частотної модуляції) DDS-генераторів, а також рівня їх паразитної частотної модуляції шумового характеру. Проведено експериментальну оцінку можливостей аналого-цифрового демодулятора аналізатора спектра R&S FSL6 з опцією K7, показано його високу лінійність, оцінено його можливості щодо діапазонів частот несучих коливань і дев'яти частоти. Результати досліджень дають основу для методики калібрування DDS-генераторів і демодулятора аналізаторів спектра з опцією K7 у тих діапазонах, де їх параметри не нормовано.

Ключові слова: дев'яти частоти; прямий цифровий синтез; аналого-цифровий демодулятор; нелінійні спотворення; супутня амплітудна модуляція; паразитна частотна модуляція.

Отримано: 27.07.2021

Відредаговано: 16.09.2021

Схвалено до друку: 20.09.2021

1. Вступ

У статті [1] було описано удосконалений первинний еталон одиниці дев'яти частоти (ДЧ) і сказано, що одним із кардинальних удосконалень еталона стала заміна аналогових частотно-модульованих (ЧМ) генераторів, які використовувалися в ДЕТУ 09-03-95, на цифрові, засновані на принципі **прямого цифрового синтезу** (ПЦС) або в англійській аббревіатурі (Direct Digital Synthesis – DDS) і його подальшій версії Trueform-технології. Аналогове формування ЧМ сигналів, яке використовувалось у ДЕТУ 09-03-96, дозволяло отримати стандартний на той час діапазон дев'яти частоти до 1000 кГц при модулюючих частотах до 200 кГц. Але характерними недоліками таких генераторів є наявність ряду супутніх (паразитних) явищ: **нелінійних спотво-**

рень (НС) частотної модуляції (через неідеальну лінійність модуляційної характеристики), **супутньої амплітудної модуляції (АМ)** (через параметричні явища), **фазових (частотних) шумів** [2] і пов'язаних із цими явищами похибок (невизначеностей).

Принципово інша ситуація складається при використанні DDS-генераторів, у яких зовсім інший механізм формування сигналу й виникнення спотворень. Літературні дані свідчать, що всі види спотворень ЧМ у DDS-генераторах значно менші, але числові дані не наводяться. Подальшим розвитком DDS-технології побудови генераторів стала **Trueform-технологія**, яка, за даними розробників, здатна забезпечити ще більш високі якісні показники сигналу, але конкретні значення також не наводяться. Окрім прогнозованих більш високих якісних характеристик,

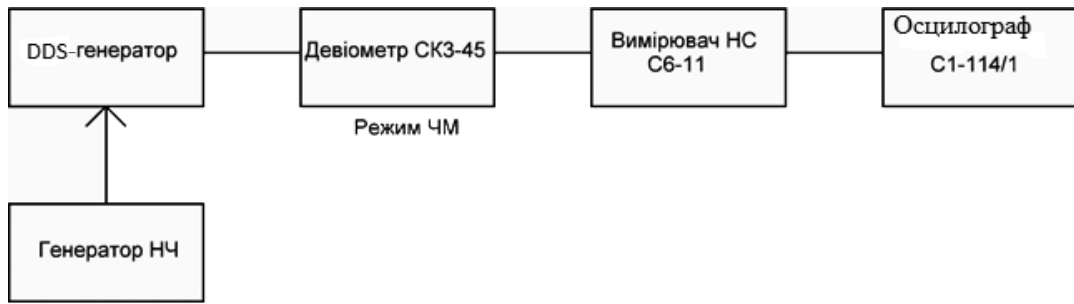


Рис. 1. Схема вимірювань КГ ЧМ сигналів прямим методом

DDS- і Trueform-генератори мають більш широкі діапазони ДЧ і модулюючих частот, ніж аналогові (що суттєво), але параметри якості в розширених діапазонах у них не нормовані [3–5].

Темою статті є розробка методів і проведення досліджень названих генераторів та сформованих ними ЧМ сигналів на предмет якісних показників: нелінійних спотворень, супутньої АМ, частотних шумів.

Для використання в еталоні та досліджень було обрано два генератори: Agilent N5172B (DDS-технологія) і Keysight 33611A (Trueform-технологія).

2. Дослідження нелінійних спотворень при частотній модуляції

Нелінійні спотворення закону ЧМ, що характеризуються коефіцієнтом гармонік (далі КГ), є одним із головних показників якості ЧМ сигналу, тому вимірювання КГ є найважливішим елементом дослідження генератора. Вище було сказано, що ряд джерел НС, характерних для аналогових генераторів, у DDS-генераторах відсутні, тому логічно припустити, що у сигналі DDS-генераторів ці спотворення дуже малі. Але традиційне пряме вимірювання КГ при ЧМ, яке полягає в демодуляції сигналу і вимірюванні КГ за допомогою відповідного вимірювача КГ, дає сумарний КГ, що виникає у всіх пристроях

вимірювальної схеми і не дозволяє виділити окремо КГ ЧМ генератора. Тому вимірювання малих КГ при ЧМ – це завжди ретельне дослідження, що проводиться, як правило, кількома методами з відповідним аналізом. Зокрема, слід враховувати, що КГ аналогових пристроїв (генератора і демодулятора) квазілінійно залежать від ДЧ і модулюючої частоти F .

При дослідженні було використано три методи: прямого вимірювання, “комбінаційних частот” і “зсуву частоти” [2, 6–8].

3. Метод прямого вимірювання

При реалізації цього методу як демодулятор використовувався девіометр СК3-45, до “Виходу НЧ” якого підключався вимірювач НС типу С6-11, а “продукти” спотворень візуально контролювалися осцилографом (рис. 1).

На СК3-45 подавався ЧМ сигнал із несучою частотою $f = 50$ МГц, із ДЧ $\Delta f = 1000$ кГц; 500 кГц; 100 кГц при $F = 1, 20$ і 60 кГц, від різних генераторів (К2-38, N5172B, 33611A).

Спочатку використовувався зразковий ЧМ генератор К2-38 зі складу еталона одиниці девіації частоти ЧМ коливань, що має КГ на рівні менше 0,1% при ДЧ 1МГц, і менший КГ девіометра СК3-45, тобто весь вимірюваний КГ може бути віднесено на

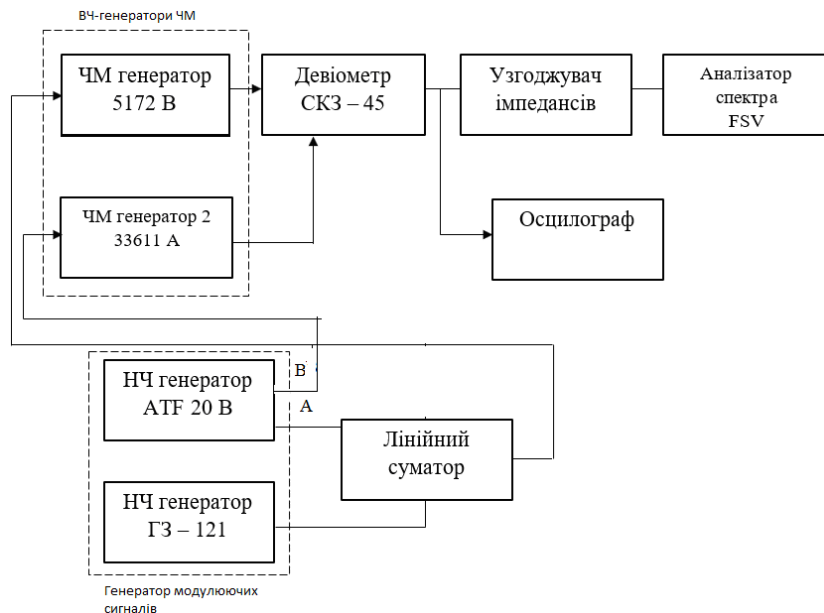


Рис. 2. Схема вимірювання методом комбінаційних частот

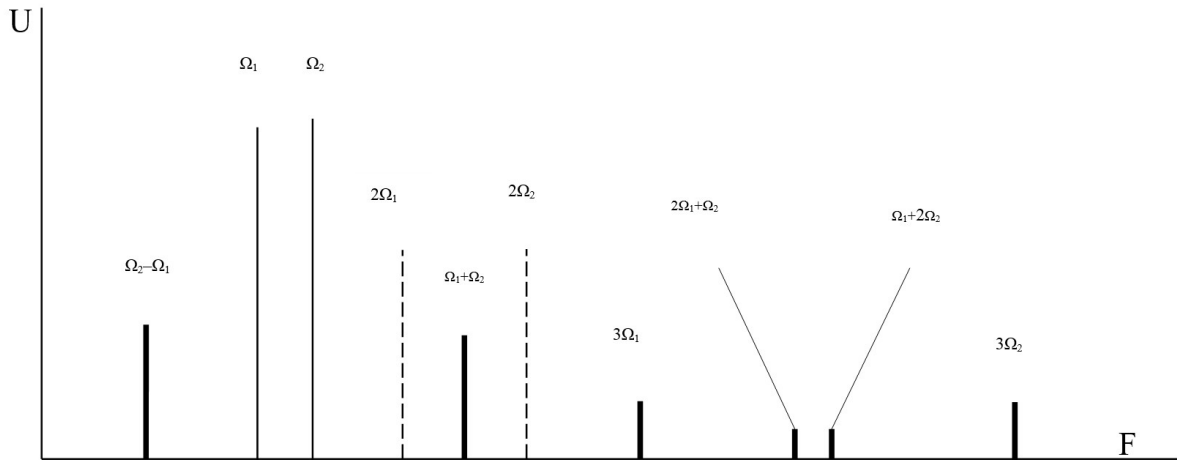


Рис. 3. Спектр демодульованого ЧМ сигналу на “виході НЧ” девіометра

рахунок СКЗ-45. Аналогічні результати спостерігаються при подаванні на СКЗ-45 сигналів генераторів N5172B; 33611A. Результати експерименту підтверджують гіпотезу, що КГ DDS-генераторів малий і не перевищує КГ ЧМ генератора К2-38. Але цього недостатньо для оцінки їх метрологічних властивостей.

4. Метод комбінаційних частот

Найбільш точним і достовірним методом роздільного вимірювання КГ ЧМ генератора і КГ девіометра є метод комбінаційних частот, докладно описаний у [2, 6]. Метод було реалізовано за схемою, наведеною на рис. 2.

ЧМ генератор 5172В модулювався зовнішнім сигналом із двома частотами Ω_1 і Ω_2 від двох НЧ генераторів, і в ньому за рахунок нелінійних спотворень “породжувалися” комбінаційні частоти другого порядку $\Omega_1 \pm \Omega_2$, і третього порядку $2\Omega_1 \pm \Omega_2$, $2\Omega_2 \pm \Omega_1$ (див. рис. 3). ЧМ генератор 2 модулювався тільки коливаннями з частотою Ω_2 , і в ньому не могло виникнути комбінаційних частот. Коливання з частотою ЧМ генератора 2 використовувалися як гетеродин СКЗ-45. За допомогою регулювання фази й амплітуди на виході В генератора АТФ20В девіація сигналу з модулюючою частотою Ω_2 в девіометрі

компенсувалась, і він не вносив власних нелінійних спотворень.

КГ за другою і третьою гармоніками розраховуються за формулами:

$$(КГ)_2 = \frac{(\Delta f)_{\Omega_1 + \Omega_2}}{(\Delta f)_{\Omega_1}}; (КГ)_3 = \frac{4}{3} \frac{(\Delta f)_{2\Omega_1 + \Omega_2}}{(\Delta f)_{\Omega_1}} = \frac{4}{3} \frac{(\Delta f)_{\Omega_1 + 2\Omega_2}}{(\Delta f)_{\Omega_1}}$$

Результати експериментів наведені в табл. 1, 2.

Результати цього експерименту підтверджують гіпотезу про те, що ЧМ сигнали DDS-генераторів мають дуже малий КГ (нижче 0,03%) і що відсутня його пряма залежність від ДЧ. Більш того, при внутрішній модуляції вона буде ще меншою, оскільки зовнішня ЧМ, яку ми вимушено використовуємо для реалізації методу комбінаційних частот, є деяким відхиленням від класичної DDS-технології й робить свій “внесок” у КГ.

5. Метод “зсуву частоти”

Існує ще один метод оцінки нелінійних спотворень ЧМ сигналів – за зсувом несучої частоти сигналу при модуляції, який дозволяє оцінити спотворення за парними гармоніками (другою, четвертою і т.д.). Метод має обмежене використання,

Таблиця 1

Вимірювання КГ генератора N5172 В

Модулюючі частоти F_1 і F_2	$\Delta f = 500$ кГц		$\Delta f = 1000$ кГц	
	K_{r2}	K_{r3}	K_{r2}	K_{r3}
5 і 6 кГц	0,006%	–	0,01%	–
15 і 20 кГц	0,01%	0,006%	0,01%	0,006%
50 і 60 кГц	0,022%	0,006%	0,028%	0,01%

Таблиця 2

Вимірювання КГ генератора 33611 А

Модулюючі частоти F_1 і F_2	$\Delta f = 500$ кГц		$\Delta f = 1000$ кГц	
	K_{r2}	K_{r3}	K_{r2}	K_{r3}
15 і 20 кГц	0,01%	0,007%	0,014%	0,002%
50 і 60 кГц	0,0074%	0,007%	0,008%	0,007%

Результати вимірювання КГ при ЧМ генераторів (основний діапазон)

Метод вимірювання	$\Delta f = 500$ кГц	$\Delta f = 1000$ кГц
	КГ	КГ
Комбінаційних частот	0,018%	0,028%
Прямого вимірювання	0,01%	0,015%
“Зсуву частоти”	0,01%	0,01%

оскільки, як правило, нестабільність частоти ЧМ генератора (і приладів, які беруть участь в експерименті) є співрозмірними зі зсувом частоти несучої. Але сучасна радіовимірювальна техніка (DDS-генератори й аналізатори спектра фірми “Роде і Шварц”) має дуже високу стабільність частоти і дозволяє реалізувати роздільну здатність вимірювання зсуву частоти в одиниці герц, тим самим надаючи “нове життя” цьому методу. Оцінка спотворень (коефіцієнтів гармонік) проводиться за відомими формулами

$$K_2 = \frac{\Delta f_0}{\Delta f_1}; K_4 = \frac{1}{3} \frac{\Delta f_0}{\Delta f_1},$$

де Δf_1 – девіація частоти; Δf_0 – зсув несучої (центральної) частоти.

Вимірювання зсуву частоти Δf_0 проводилось за допомогою аналізатора спектра R&S FSV (з вбудованим 9-розрядним частотоміром) при різних значеннях девіації частоти Δf_0 і на різних несучих частотах (10, 50, 70 МГц).

Через обмежені можливості методу результати мають орієнтовний характер і показують, що КГ генераторів не перевищує 0,03%.

Наведемо узагальнені результати вимірювання КГ ЧМ генераторів 33611A і N5172 В трьома методами (табл. 3).

Як бачимо, всі 3 методи дають близькі результати (в межах невизначеності вимірювань). Зазначимо, що ці результати добре корелюються з результатами, одержаними такими відомими фахівцями, як професор О.В. Зенькович з колегами

[7]. Треба підкреслити, що отримані результати значно кращі від наведених типових характеристик генераторів 33611A і N5172 В [3].

6. Вимірювання параметрів ЧМ сигналів на базі аналізатора спектра R&S FSL6 з опцією K7

В описаних вище методах для вимірювання нелінійних спотворень як демодулятор використовувався вітчизняний девіометр СКЗ-45, характеристики якого, зокрема, його власний КГ, обмежують роздільну здатність вимірювань КГ генераторів, не дають можливості відчутти різницю між DDS- і Trueform-генераторами. Тому було використано аналізатор спектра R&S FSL6 фірми “Роде і Шварц” у сукупності з опцією K7 [8], яка виконує функції аналого-цифрової демодуляції АМ/ЧМ/ФМ сигналів. Функціональну схему демодулятора опції K7 наведено на рис. 4.

Цей демодулятор вимірює КГ ЧМ сигналу, але його власний КГ не нормується. Першим кроком дослідження демодулятора стало вимірювання КГ генератора робочого еталона К2-38. Результати цього вимірювання демонструються на рис. 5 і співпадають із попередніми вимірюваннями КГ цього генератора, що вказує на нехтовно малі власні НС демодулятора K7.

Ще більш переконливими та інформативними є порівняльні графіки залежностей КГ від ДЧ і F для різних генераторів (рис. 6): по-перше, вони повністю підтверджують гіпотезу про різний характер залежності спотворень від ДЧ і F для аналогових і цифрових генераторів; по-друге, свідчать, що КГ цифрових генераторів у порівнянні з аналого-

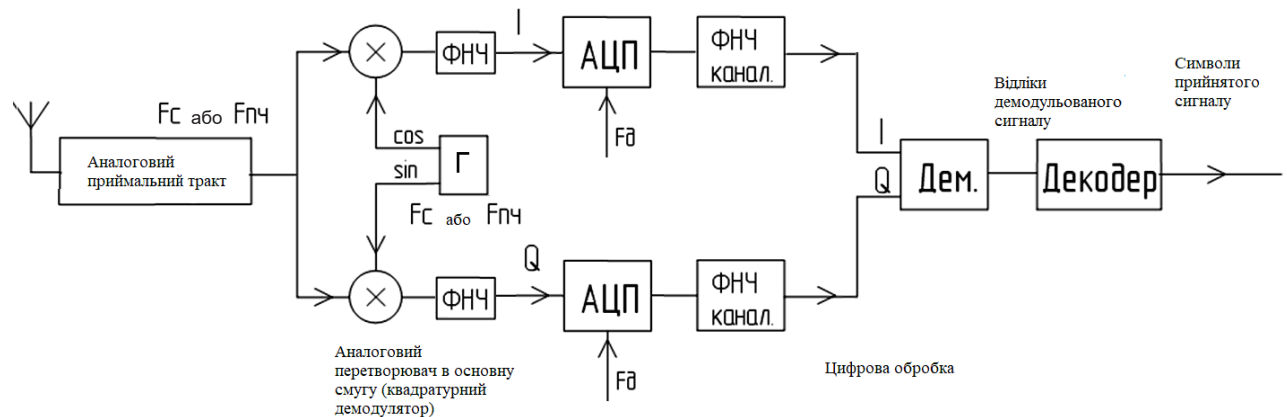


Рис. 4. Функціональна схема аналого-цифрового демодулятора K7

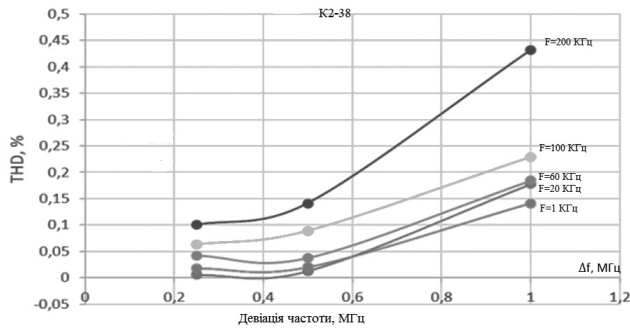


Рис. 5. Графіки залежності КГ від ДЧ і F для генератора K2-38

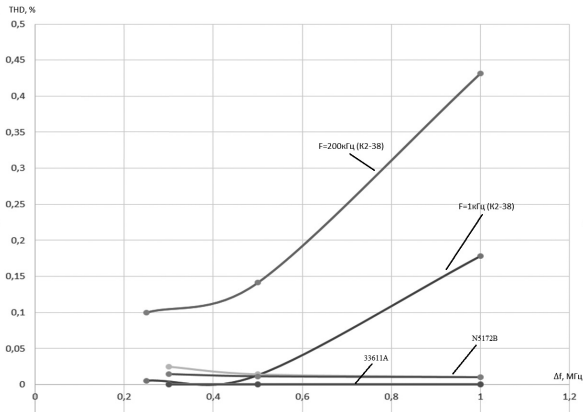


Рис. 6. Порівняльні характеристики для різних генераторів вими суттєво менші; по-третє, показують, що КГ у Trueform-генераторів дійсно менший, ніж у DDS-генераторів, що відповідає прогнозу розробника.

7. Оцінка коефіцієнта гармонік у діапазоні значень девіацій частоти

Оскільки цифрові генератори працюють у більш широких діапазонах (при ДЧ > 1000 кГц і F > 200 кГц), необхідно оцінити КГ в цьому діапазоні. Складність досліджень КГ у розширеному діапазоні ДЧ полягає у відсутності нормованих демодуляторів, які працюють у таких діапазонах. Дослідження показали, що аналізатор спектра R&S FSL з опцією K7 здатен виконувати роль високоточного широкосмугового демодулятора у діапазоні ДЧ до 8 МГц при F ≤ 500 кГц. Результати вимірювань КГ наведено на рис. 7, 8.

8. Результати дослідження супутньої амплітудної модуляції

Як сказано вище, в DDC-генераторах відсутні пристрої, в яких може виникати супутня АМ, тобто є всі підстави вважати, що цей вид спотворення відсутній або нехтовно малий. Якісно це підтверджується симетрією спектра ЧМ сигналу, а також виглядом його осцилограми. Для перевірки цієї гіпотези було проведено такий експеримент: на СК3-45, включений у режимі АМ, подавався ЧМ сигнал від генераторів N5172B і 33611A. Було встановлено (шляхом розрахунку за нормованим значенням ЧМ/АМ конверсії в СК3-45), що виміряна АМ є результатом ЧМ-АМ переходу в де-

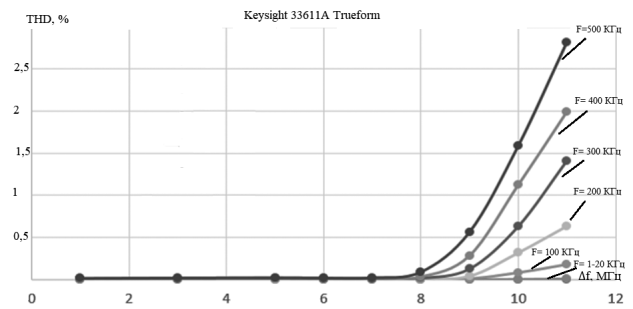


Рис. 7. Залежність КГ від Δf і F для генератора 33611A

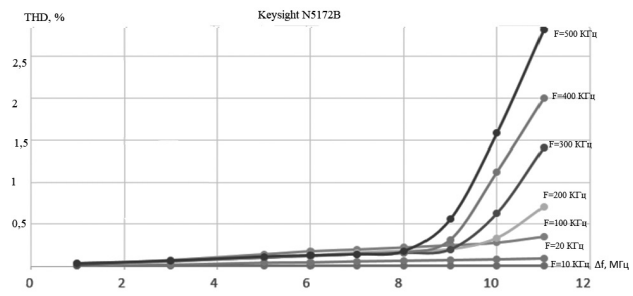


Рис. 8. Залежність КГ від Δf і F для генератора 5172B

віометрі СК3-45, а самі генератори супутньої АМ практично не мають.

9. Результати дослідження паразитної девіації частоти шумового характеру

Дослідження проводилися шляхом подання на вхід девіометра сигналу генератора в режимі неперервного генерування (НГ). До “виходу НЧ” девіометра підключається осцилограф для контролю шумових сигналів, а також середньоквадратичний мікрвольтметр для подальшої статистичної обробки результатів вимірювання. Як показав експеримент, за рівнем паразитної ЧМ цифрові генератори й аналогові генератори, що були використані в експерименті, мають близькі показники.

10. Висновки

1. Проведено експеримент із використанням кількох методів вимірювань, який дозволив оцінити дуже малі значення НС ЧМ сигналів DDS-генераторів.

2. Розроблено методики і проведено експериментальні оцінки супутньої АМ (в режимі ЧМ) DDS-генераторів, а також рівня паразитної ЧМ шумового характеру.

3. Проведено експериментальну оцінку можливостей аналого-цифрового демодулятора K7, показано його високу лінійність, оцінено його можливості щодо діапазонів ДЧ і F.

4. Результати досліджень дають основу методики калібрування DDS-генераторів і демодулятора K7 в тих діапазонах, де їх параметри не нормовано (при ДЧ до 8 МГц і F до 500 кГц).

Исследование метрологических возможностей цифровых (DDS- и Trueform-) генераторов

Ю.Ф. Павленко¹, С.Р. Кириенко¹, В.И. Огарь², Е.М. Васильева¹

¹ Національний научний центр "Інститут метрології", ул. Мירוносицкая, 42, 61002, Харьков, Украина
iurii.pavlenko@metrology.kharkov.ua

² Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Науки, 14, 61166, Харьков, Украина
valeriy.ogar@nure.ua

Аннотация

Одним из кардинальных усовершенствований эталона единицы девиации частоты частотно-модулированных колебаний стала замена аналоговых частотно-модулированных генераторов, которые использовались в ДЕТУ09-03-95, на цифровые, основанные на принципе прямого цифрового синтеза (Direct Digital Synthesis – DDS) и его дальнейшей версии Trueform-технологии.

Использование нескольких методов позволило измерить очень малые значения нелинейных искажений частотно-модулированных сигналов этих генераторов. Проведены экспериментальные оценки сопутствующей амплитудной модуляции (в режиме частотной модуляции) DDS-генераторов и уровня их частотных шумов. Проведена экспериментальная оценка возможностей аналого-цифрового демодулятора анализатора спектра R&S FSL6 с опцией K7. Результаты исследований дают основу для методики калибровки DDS-генераторов и демодулятора анализаторов спектра с опцией K7 в диапазонах, где их параметры не нормированы.

Ключевые слова: девиация частоты; прямой цифровой синтез; аналого-цифровой демодулятор; нелинейные искажения; сопутствующая амплитудная модуляция; паразитная девиация частоты.

Research of metrological capabilities of digital (DDS- and Trueform-) generators

Yu. Pavlenko¹, S. Kirienko¹, V. Ogar², O. Vasylieva¹

¹ National Scientific Centre "Institute of Metrology", Myronosytska Str., 42, 61002, Kharkiv, Ukraine
iurii.pavlenko@metrology.kharkov.ua

² Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave., 14, 61166, Kharkiv, Ukraine
valeriy.ogar@nure.ua

Abstract

One of the fundamental improvements of the measurement standard of frequency deviation of frequency-modulated oscillations was the replacement of analog frequency-modulated generators used in DETU 09-03-95 with digital ones based on the principle of direct digital synthesis (DDS) and its next version of Trueform technology. These generators have wider ranges of frequency deviation and modulation frequencies than analog ones, but nonlinear distortion laws of the frequency modulation are not standardized.

The subject of the article is the development of methods and research of these generators and frequency-modulated signals generated by them for nonlinear distortions, accompanying amplitude modulation, frequency noise. Three methods were used in the study: direct measurement; "combination frequencies" and "frequency shift". The experiment was performed using several measurement methods, which allowed to estimate very small values of nonlinear distortion. Methods were developed and experimental estimations of concomitant amplitude modulation of DDS-generators (in frequency modulation mode), as well as their frequency noise level, were performed. An experimental evaluation of the capabilities of the analog-digital demodulator of the R&S FSL6 spectrum analyzer with the K7 option was performed, its high linearity was shown, its capabilities with respect to the frequency ranges of carrier oscillations and frequency deviation were evaluated. The research results provide a basis for the method of calibration of DDS-generators and demodulator of spectrum analyzers with the K7 option in those ranges where their parameters are not normalized (at direct current up to 8 MHz and F up to 500 kHz).

Keywords: frequency deviation; direct digital synthesis; analog-digital demodulator; nonlinear distortions; concomitant amplitude modulation; frequency noise.

Список літератури

1. Неєжмаков П.І., Павленко Ю.Ф., Огар В.І., Васильєва О.М., Кириєнко С.Р. Новий державний еталон одиниці девіації частоти частотно-модульованих коливань. *Український метрологічний журнал*. 2020. № 2. С. 3–11. doi: 10.24027/2306-7039.2.2020.208641
2. Зенькович А.В. Искажения частотно-модулированных колебаний. Москва: Советское радио, 1974. 295 с.
3. Keysight Technologies. Руководство по выбору генераторов сигналов Keysight. URL: www.keysight.com/ru/pdx-x201910-pn-N5172B/exg-x-series-rf-vector-signal-generator-9-khz-to-6-ghz?pm=rsc&nid=-32490.1150485&cc=RU&lc=rus
4. Ридико Л. DDS: прямой цифровой синтез частоты. *Компоненты и технологии*. 2001. № 7. 5 с.
5. Технология генерации сигналов *Trueform*. URL: <https://www.keysight.com/ru/ru/products/waveform-and-function-generators/trueform-series-waveform-and-function-generators.html>
6. Павленко Ю.Ф., Шпаньон П.А. Измерение параметров частотно-модулированных колебаний. Москва: Радио и связь, 1986. 208 с.
7. Зенькович А.В., Балло В.Л., Добровольский В.Б. Измерение нелинейных искажений частотно-модулированных сигналов прямого цифрового синтеза. *Измерительная техника*. 2018. № 4. С. 43–48. doi: 10.32446/0368-1025it.2018-4-43-48
8. R&S®FSWP-K7 Analog Modulation Analysis User Manual. URL: https://www.rohde-schwarz.com/in/manual/r-s-fswp-k7-analog-modulation-analysis-user-manual-manuals-gb1_78701-141976.html

References

1. Nyezhamkov P., Pavlenko Yu., Ogar V., Vasileva O., Kirienko S. Novyi derzhavnyi etalon ody-

- ntsi deviatzii chastoty chastotno-modulovanykh kolyvan [The new state measurement standard of the unit of frequency deviation of frequency-modulated oscillations]. *Ukrainian Metrological Journal*, 2020, no. 2, pp. 3–11 (in Ukrainian). doi: 10.24027/2306-7039.2.2020.208641
2. Zenkovich A.V. Iskazheniya chastotno-modulirovannykh kolebaniy [Distortion of frequency-modulated oscillations]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1974. 295 p. (in Russian).
3. Keysight Technologies. Signal Generator Selection Guide. Keysight. Available at: www.keysight.com/ru/pdx-x201910-pn-N5172B/exg-x-series-rf-vector-signal-generator-9-khz-to-6-ghz?pm=rsc&nid=-32490.1150485&cc=RU&lc=rus
4. Ridiko L. DDS: pryamoy tsifrovoy sintez chastoty [DDS: direct digital frequency synthesis]. *Components & Technologies*, 2001, no. 7. 5 p. (in Russian).
5. *Trueform* Waveform Technology. User manual. Available at: <https://www.keysight.com/ru/ru/products/waveform-and-function-generators/trueform-series-waveform-and-function-generators.html>
6. Pavlenko Yu.F., Shpanion P.A. Izmereniye parametrov chastotno-modulirovannykh kolebaniy [Measurement of parameters of frequency-modulated oscillations]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1986. 208 p. (in Russian).
7. Zenkovich A.V., Ballo V.L., Dobrovolsky V.B. Izmerenie nelinejnykh iskazhenij chastotno-modulirovannykh signalov pryamogo cifrovogo sinteza [Nonlinear distortion measurement of FM DDS signals]. *Measurement Techniques*, 2018, no. 4, pp. 43–48 (in Russian). doi: 10.32446/0368-1025it.2018-4-43-48
8. R&S®FSWP-K7 Analog Modulation Analysis User Manual. Available at: https://www.rohde-schwarz.com/in/manual/r-s-fswp-k7-analog-modulation-analysis-user-manual-manuals-gb1_78701-141976.html