



ГЕНЕРАТОРЫ, УПРАВЛЯЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЕМ, НА GaN ТРАНЗИСТОРАХ GaN HEMT-BASED VOLTAGE CONTROLLED OSCILLATORS

АБОЛДУЕВ ИГОРЬ МИХАЙЛОВИЧ
mail6@pulsarnpp.ru

ВАЛАМИН ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
valamin_ea@pulsarnpp.ru

ДОРОФЕЕВ АЛЕКСЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ
dorofeev_aa@pulsarnpp.ru

ЗУБКОВ А. М.
zubkov_am@pulsarnpp.ru

МИННЕБАЕВ СТАНИСЛАВ ВАДИМОВИЧ
minnebaev_sv@pulsarnpp.ru

ЦАРЁВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ
tsarev_av@pulsarnpp.ru

КУЛИЕВ М. В.

АО «НПП «Пульсар»

ABOLDUEV IGOR M.
mail6@pulsarnpp.ru

VALAMIN EVGENIY A.
valamin_ea@pulsarnpp.ru

DOROFEEV ALEXEI A.
dorofeev_aa@pulsarnpp.ru

ZUBKOV A.M.
zubkov_am@pulsarnpp.ru

MINNEBAEV STANISLAV V.
minnebaev_sv@pulsarnpp.ru

TSAREV ALEXANDER V.
tsarev_av@pulsarnpp.ru

KULIEV M.V.

“S&PE “PULSAR” JSC

Solid-state microwave oscillators are part of many microwave systems. In this paper we propose design solutions for three types of voltage controlled oscillators for different tuning ranges and consider the effect of HEMT design on the phase noise level.

Keywords: voltage controlled oscillator; GaN HEMT; phase noise; field plate; microwave oscillator.

Генераторы СВЧ синусоидального сигнала являются составной частью многих микроволновых систем, таких как радары, радиолинии связи, средства навигации и т. п.

Основными характеристиками для генераторов, управляемых напряжением, являются:

1. Выходная мощность.
2. Диапазон перестройки.
3. Линейность перестройки.
4. Уровень фазовых шумов.

В зависимости от функционального назначения, генераторы могут иметь высокую выходную мощность, низкий фазовый шум и широкий диапазон перестройки частоты.

В рамках данной работы спроектированы следующие генераторы, управляемые напряжением:

1. ГУН в диапазоне частот 50–1000 МГц по типовой топологии (рис. 1, 2).
2. ГУН в гибридном исполнении с диапазоном перестройки 2–4 ГГц (рис. 3, 4).
3. Вариант ГУН в монокристаллическом исполнении с диапазоном перестройки 8–12,5 ГГц (рис. 5, 6).

Особенностью спроектированных генераторов является то, что в качестве активного прибора в ГУН был выбран GaN транзистор с шириной затвора 250 мкм.

Использование GaN транзистора как активного прибора в генераторах является одним из развивающихся направлений



Рис. 1. Типовая топология генераторов диапазона 50–1000 МГц
Fig. 1. Standard design 50–1000MHz VCO

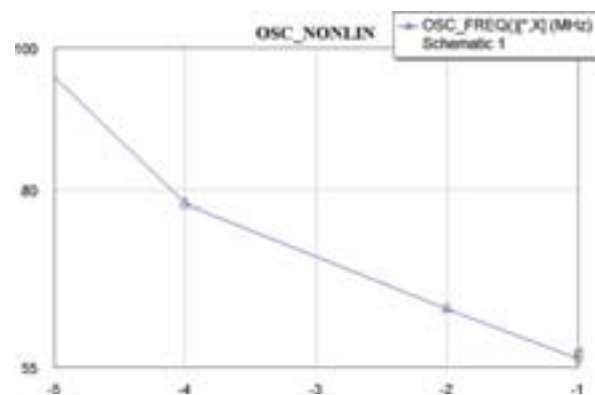


Рис. 2. Перестройка генератора диапазона 50–1000 МГц
Fig. 2. 50–1000MHz VCO tuning

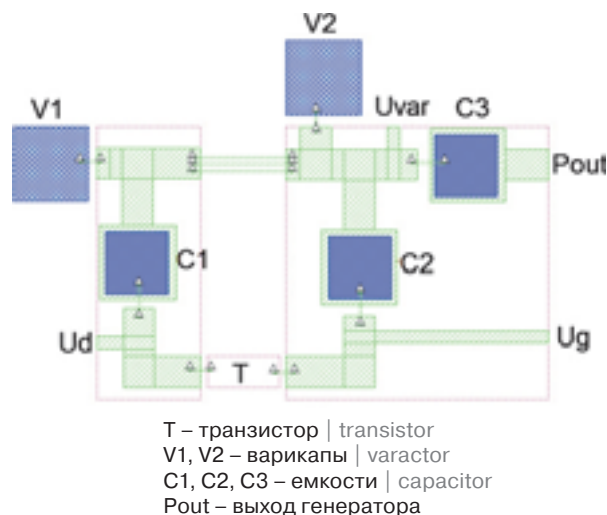


Рис. 3. Топология генератора диапазона 2–4 ГГц
 Fig. 3. 2–4GHz VCO topology

в полупроводниковой электронике. В табл. 1 приведено сравнение характеристик стабилизированных генераторов, выполненных по различным схемам. В табл. 2 приведено сравнение характеристик ГУН на основе GaN НЕМТ, GaAs рНЕМТ и НВТ. Видно, что генераторы на основе гетероструктур типа AlGaIn/GaN превосходят аналоги на AlGaAs/GaAs не только по выходной мощности, что является типичным при сравнении двух данных технологий, но и по значениям спектральной плотности фазовых шумов.

Уровень фазовых шумов генератора является одной из важнейших его характеристик. Как известно, на уровень фазовых шумов влияют не только добротность используемого резонатора и пассивных элементов, но и сам активный элемент генератора [14]. В рамках данной работы было проведено исследование влияния конструкции транзистора на фазовые шумы прибора. Для этого были измерены зависимости СПФШ генераторов от частоты отстройки в диапазоне от 100 Гц до 100 кГц. Ниже приведены зависимости СПФШ генераторов на основе трех различных по конструкции типов транзисторов:

Microwave sinusoidal signal oscillators are part of many microwave systems, such as radars, radio communication lines, navigation equipment, etc.

Main performance parameters of voltage controlled oscillators (VCO) are:

1. Output power.
2. Tuning range.
3. Tuning linearity.
4. Phase noise level.

Depending on its functions, oscillator could have high output power, low phase noise and wide tuning range.

In the current work, the following voltage controlled oscillators have been designed:

1. Standard design 50–1000MHz VCO (Fig. 1,2).
2. Hybrid VCO with 2–4GHz tuning range (Fig. 3,4).

3. Monolithic VCO with 8–12.5 tuning range (Fig. 5, 6).

Designed oscillators feature GaN HEMT with 250- μ m gate width as an active device.

The use of a GaN HEMT as an active device in oscillators is one of the emerging trends in the semiconductor electronics. Parameter comparison of various stabilized oscillators is shown in Table 1. GaN HEMT-, GaAs pHEMT- and HBT-based VCOs comparison is shown in Table 2. It could be observed that AlGaIn/GaN VCOs surpasses its AlGaAs/GaAs counterparts by output power performance and phase noise spectral density (PNSD).

Phase noise is one of the most important parameters of VCO. It is well known that phase noise level is dependent on Q-factor of the resonator and passive elements used, as well as on VCO active element [14]. We investigated the

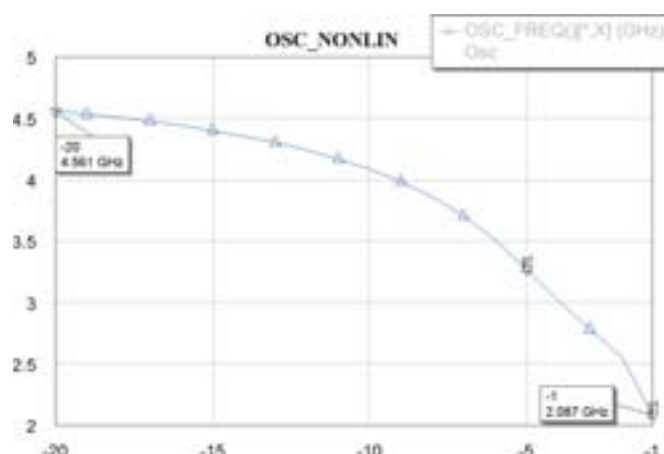


Рис. 4. Перестройка генератора диапазона 2–4 ГГц
 Fig. 4. 2–4GHz VCO tuning

1. Транзистор с полевым электродом и сквозными отверстиями истока вблизи затвора (рис. 7).
2. Транзистор с полевым электродом и сквозными отверстиями истока, вынесенными на периферию транзистора (рис. 8).
3. Транзистор без полевого электрода и со сквозными отверстиями истока, вынесенными на периферию транзистора (рис. 9).

Из приведенных зависимостей видно, что конструкция транзистора оказывает сильное влияние на уровень фазовых шумов прибора, что, несомненно, требует дальнейшего изучения.

Помимо конструктивного исполнения транзисторов, на уровень фазовых шумов влияет качество используемых полупроводников и диэлектриков и технология изготовления приборов.

В рамках данной работы, по спроектированным топологиям, был изготовлен макетный образец ГУН для диапазона частот 70,80 МГц с GaN транзистором (рис. 10). По результатам измерений получено совпадение с результатами проектирования в пределах погрешности 10%. На рис. 11 приведены значения фазовых шумов данного генератора. Видно, что уровень шумов при отстройке 100 кГц находится на уровне зарубежных аналогов.

impact of transistor structure on the phase noise of the device. For this purpose we measured the dependence of VCOs' PNSD on frequency tuning in the range from 100Hz to 100kHz. Below are the dependencies of PNSD parameter of VCOs, based on three different transistor types:

1. Transistor with a field plate and source through-vias near the gate (Fig. 9).
2. Transistor with a field plate and source through-vias made on transistor periphery (Fig. 10).
3. Transistor without a field plate and with source through-vias made on transistor periphery (Fig. 11).

Presented curves show that transistor design has a strong influence on the phase noise of the device, which requires further study.

Apart from transistor design, phase noise levels are dependent on the quality of used

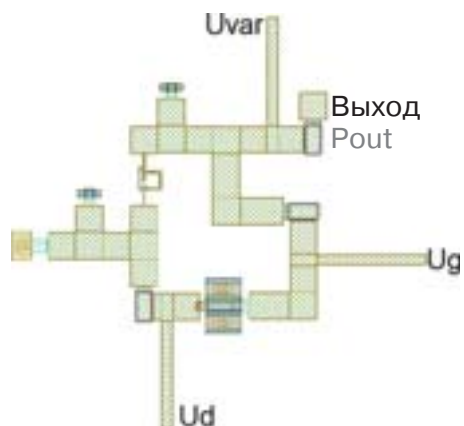


Рис. 5. Топология МИС генератора для диапазона 8–12,5 ГГц
Fig. 5. 8–12.5GHz VCO MIC topology

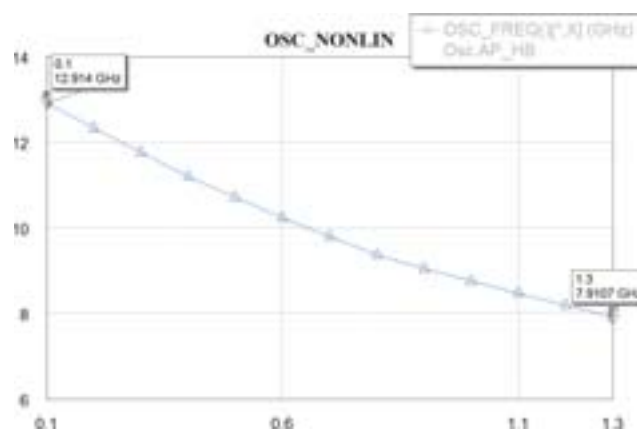


Рис. 6. Перестройка МИС генератора диапазона 8–12,5 ГГц
Fig. 6. 8–12.5GHz VCO MIC tuning

Таблица 1

Table 1

Генератор VCO	СПФШ при отстройке 100 кГц, дБ/Гц PNSD at tuning range 100kHz, dB/Hz	Частота, ГГц Frequency, GHz	Мощность, мВт Power mW	Тип активного устройства Active device type
HMC-C200	-140	8,2	700	—
[1]	-132	9,2	—	GaAs pHEMT
DRO-10.600-FR	-37	10,2	—	Не указано Not specified
[2]	-118	10,6	54	GaN HEMT
[2]	-123	10,6	46	GaAs pHEMT
[2]	-135	10,6	—	SiGe HBT
[3]	-149	7,61	400	GaAs InGaP HBT
[3]	-142	7,61	100	GaAs InGaP HBT
[4]	-145	9,9	200	GaN HEMT

Таблица 2

Table 2

Генератор VCO	Тип активного устройства Active device type	Выходная мощность, дБм Output power, dBm	Частота генерации, ГГц Oscillation frequency, GHz	СПФШ при отстройке 100 кГц, дБ/Гц PNSD at tuning range 100kHz, dB/Hz	СПФШ при отстройке 1 МГц, дБ/Гц PNSD at tuning range 1MHz, dB/Hz
[5]	GaAs HBT	5,5	6,4	-112	-139
[6]	GaAs HBT	7	9	-106	-138
[7]	SiGe HBT	0	3	-105	-123
[8]	SiGe HBT	-10	4,8	-105	-123
[9]	GaN HEMT	27	6	-92	-120
[10]	GaN HEMT	32,3	9,6	-87	-115
[11]	GaN HEMT	20,5	5,3	-105	-120
[12]	GaN HEMT	17	7	-81	-112
[13]	GaN HEMT	6	8,6	-102	-132

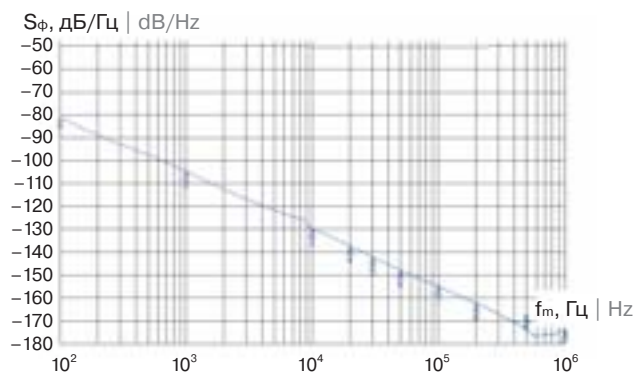


Рис. 7. СПФШ генератора на транзисторе с полевым электродом и сквозными отверстиями вблизи затвора

Fig. 7. PNDS of VCO based on transistor with a field plate and through-vias near the gate

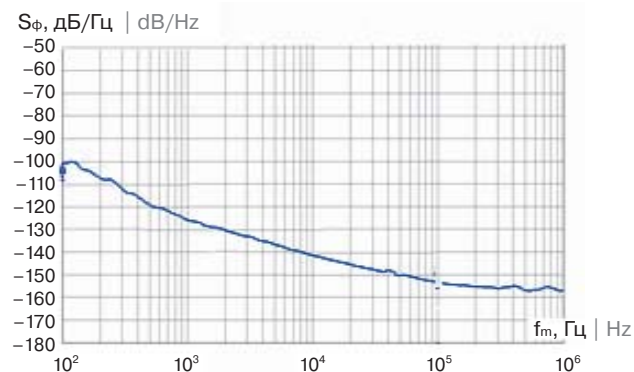


Рис. 8. СПФШ генератора на транзисторе с полевым электродом и отверстиями истока, вынесенными на периферию транзистора

Fig. 8. PNDS of VCO based on transistor with a field plate and through-vias on the periphery

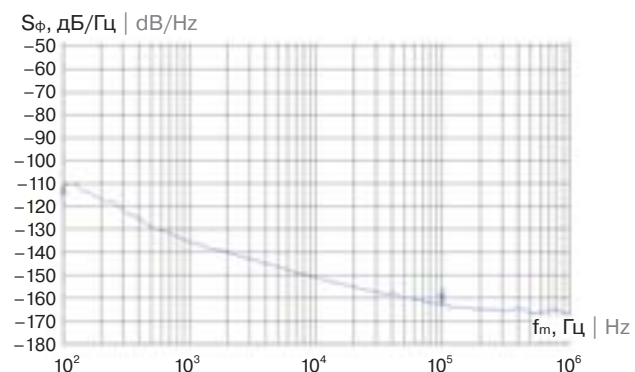


Рис. 9. СПФШ генератора на транзисторе без полевого электрода и с отверстиями истока, вынесенными на периферию транзистора

Fig. 9. PNDS of VCO based on transistor without a field plate and with through-vias on the periphery

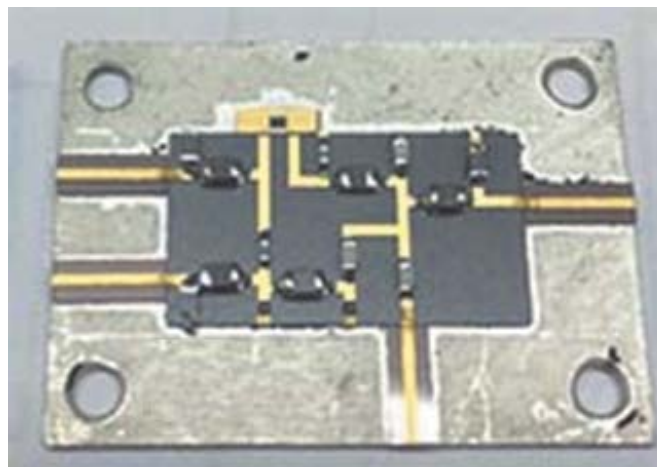


Рис. 10. Внешний вид изготовленного макетного образца ГУН

Fig. 10. VCO, breadboard model manufactured within this work

ЛИТЕРАТУРА

1. Maree J., J. B. de Swardt, and P. W. van der Walt. "Low Phase Noise Cylindrical Cavity Oscillator", in IEEE AFRICON, 2013, pp. 1–5.
2. P. Rice, et al. "A 10GHz Dielectric Resonator Oscillator Using GaN Technology", in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., Fort Worth, TX, USA, 2004, pp. 1497–1500.
3. Florian C., Traverso P.A., Vannini G., and Filicori F. "Design of Low Phase Noise Dielectric Resonator Oscillators with GaInP HBT Devices Exploiting a Non-Linear Noise Model", in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., Honolulu, HI, USA, 2007, pp. 1525–1528.
4. Mikael Hörberg, Thomas Emanuelsson, Szhou Lai, Thi Ngoc Do Thanh, Herbert Zirath and Dan Kuylenstierna. "Phase-Noise Analysis of an X-Band Ultra-Low Phase-Noise GaN HEMT Based Cavity Oscillator" IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol. 63, № 8, AUGUST 2015.
5. Zirath H., Kozhuharov R., Ferndahl M. "Balanced Colpits-Oscillator MMICs Designed for Ultra-Low Phase Noise", IEEE J. Solid-State Circuits, 2005, 40 (10), pp. 2077–2086.
6. Kuylenstierna D., Lai S., Bao M., Zirath H. "Design of Low Phase-Noise Oscillators and Wideband VCOs in InGaP HBT Technology", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2012, 60, (11), pp. 3420–3430.

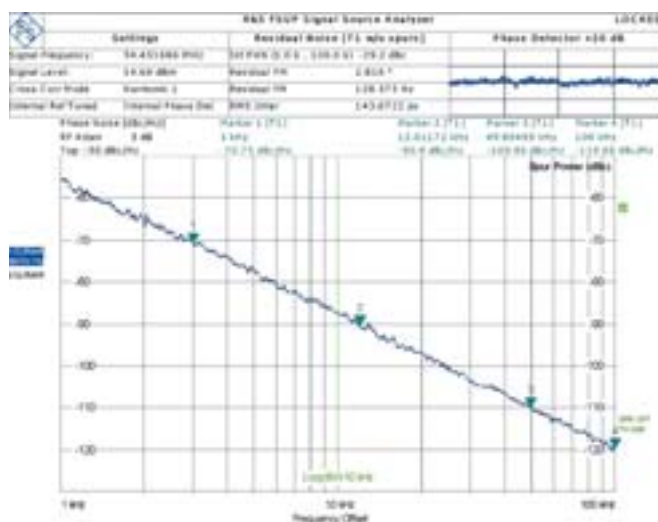


Рис. 11. СПФШ изготовленного макетного образца ГУН

Fig. 11. PNDS of VCO breadboard model manufactured within this work

7. Fard A., Andreani P. "An Analysis of $1/f^2$ Phase Noise in Bipolar Colpitts Oscillators (with a Digression on Bipolar Differential-Pair LC Oscillators)", IEEE J. Solid-State Circuits, 2007, 42, (2), pp. 374–384.
8. Jacobsson H., Gevorgian S., Mokhtari M., et al.: "Low-Phase-Noise Low Power IC VCOs for 5–8-GHz Wireless Applications", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2000, 48, (12), pp. 2533–2539.
9. Shealy J.B., Smart J.A., Shealy J.R. "Low-Phase Noise AlGaIn/GaN FET-based Voltage-Controlled Oscillators (VCOs)", IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett., 2001, 11, (6), pp. 244–245.
10. Kaper V.S., Tilak V., Kim H., et al.: "High-Power Monolithic AlGaIn/GaN HEMT Oscillator", IEEE J. Solid-State Circuits, 2003, 38, (9), pp. 1457–1461.
11. Xu H., Sanabria C., Pervez N.K., Keller S., Mishra U.K., York R.A. "Low Phase-Noise 5GHz AlGaIn/GaN HEMT Oscillator Integrated with BaxSr1-xTiO3".
12. Kong C., Li H., Chen X., Jiang S., Zhou J., Chen C. "A Monolithic AlGaIn/GaN HEMT VCO Using BST Thin-Film Varactor", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2012, 60, (11), pp. 3413–3419.
13. Lai S., Kuylenstiema D., Horberg M., Rorsman N. "Accurate Phase-Noise Prediction for a Balanced Colpitts GaN HEMT MMIC Oscillator", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2013, 61, (11), pp. 3916–3926.
14. Guillermo Gonzales. "Foundation of Oscillator Circuit Design" ARTECH HOUSE INC., Norwood, MA 02063 2007.

semiconductors and dielectrics, as well as manufacturing technology.

Within the framework of our research, we designed and produced VCO evaluation sample with frequency range 70.80MHz based on GaN transistor (Fig. 12). Measured performance was in a good agreement with simulated performance (within 10% error). Phase noise level values of this VCO are shown in Fig. 13. Noise level values at tuning range 100kHz correspond to the results of foreign analogues.

REFERENCES

1. Maree J., J.B. de Swardt, and P.W. van der Walt. "Low Phase Noise Cylindrical Cavity Oscillator", in IEEE AFRICON, 2013, pp. 1–5.
2. P. Rice, et al. "A 10GHz Dielectric Resonator Oscillator Using GaN Technology", in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., Fort Worth, TX, USA, 2004, pp. 1497–1500.
3. Florian C., Traverso P.A., Vannini G., and Filicori F. "Design of Low Phase Noise Dielectric Resonator Oscillators with GaInP HBT Devices Exploiting a Non-Linear Noise Model", in IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig., Honolulu, HI, USA, 2007, pp. 1525–1528.
4. Mikael Hörberg, Thomas Emanuelsson, Szhou Lai, Thi Ngoc Do Thanh, Herbert Zirath and Dan Kuylenstierna. "Phase-Noise Analysis of an X-Band Ultra-Low Phase-Noise GaN HEMT Based Cavity Oscillator" IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, Vol. 63, №8, AUGUST 2015.
5. Zirath H., Kozhuharov R., Ferndahl M. "Balanced Colpitts-Oscillator MMICs Designed for Ultra-Low Phase Noise", IEEE J. Solid-State Circuits, 2005, 40(10), pp. 2077–2086.
6. Kuylenstierna D., Lai S., Bao M., Zirath H. "Design of Low Phase-Noise Oscillators and Wideband VCOs in InGaP HBT Technology", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2012, 60, (11), pp. 3420–3430.
7. Fard A., Andreani P. "An Analysis of $1/f^2$ Phase Noise in Bipolar Colpitts Oscillators (with a Digression on Bipolar Differential-Pair LC Oscillators)", IEEE J. Solid-State Circuits, 2007, 42, (2), pp. 374–384.
8. Jacobsson H., Gevorgian S., Mokhtari M., et al.: "Low-Phase-Noise Low Power IC VCOs for 5–8-GHz Wireless Applications", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2000, 48, (12), pp. 2533–2539.
9. Shealy J.B., Smart J.A., Shealy J.R. "Low-Phase Noise AlGaIn/GaN FET-based Voltage-Controlled Oscillators (VCOs)", IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett., 2001, 11, (6), pp. 244–245.
10. Kaper V.S., Tilak V., Kim H., et al.: "High-Power Monolithic AlGaIn/GaN HEMT Oscillator", IEEE J. Solid-State Circuits, 2003, 38, (9), pp. 1457–1461.
11. Xu H., Sanabria C., Pervez N.K., Keller S., Mishra U.K., York R.A. "Low Phase-Noise 5GHz AlGaIn/GaN HEMT Oscillator Integrated with BaxSr1-xTiO3".
12. Kong C., Li H., Chen X., Jiang S., Zhou J., Chen C. "A Monolithic AlGaIn/GaN HEMT VCO Using BST Thin-Film Varactor", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2012, 60, (11), pp. 3413–3419.
13. Lai S., Kuylenstiema D., Horberg M., Rorsman N. "Accurate Phase-Noise Prediction for a Balanced Colpitts GaN HEMT MMIC Oscillator", IEEE Trans. Microw. Theory Tech., 2013, 61, (11), pp. 3916–3926.
14. Guillermo Gonzales. "Foundation of Oscillator Circuit Design" ARTECH HOUSE INC., Norwood, MA 02063 2007.



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

ЭЛЕКТРОНИКА
НАУКА
ТЕХНОЛОГИИ
БИЗНЕС

НАНОИНДУСТРИЯ
НАУКА
ТЕХНОЛОГИИ
БИЗНЕС

ФОТОНИКА
НАУКА
ТЕХНОЛОГИИ
БИЗНЕС

ПЕРВАЯ
МИЛЯ
НАУКА
ТЕХНОЛОГИИ
БИЗНЕС

Аналитика
НАУКА
ТЕХНОЛОГИИ
БИЗНЕС

СТАНКОИНСТРУМЕНТ
НАУКА
ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ПРОИЗВОДСТВО