

ФАЗОВІ ШУМИ МАЛОШУМЛЯЧИХ ТРАНЗИСТОРНИХ НВЧ ГЕНЕРАТОРІВ

Коцержинський Б.О.

Огляд публікацій по малошумлячим генераторам, керованим напругою, міліметрового діапазону довжин хвиль показує, що у більшості випадків застосовується пряме вимірювання шумів за допомогою аналізаторів спектру. Для монолітних генераторів вимірювання здійснюється підключенням вимірювальної системи до кристала (on-wafer) за допомогою спеціальних пробників. Верхня гранична частота аналізатора спектру повинна перевищувати частотний діапазон генератора, інакше доводиться використовувати змішувачі для переведення вимірювальних коливань у частотний діапазон аналізатора спектру. Власні шуми аналізатора спектру повинні бути як мінімум на 10 дБ менші за очікуваних шумів генератора. Втрати потужності вимірювальних коливань у пробниках і кабелях враховуються при остаточній оцінці шумів. Частіше вибираються аналізатори спектру фірми Agilent (HP), які працюють із зовнішніми змішувачами частоти до 325 ГГц.

Для прямого вимірювання фазових шумів монолітного генератора, керованого напругою (ГКН), діапазону 43 ГГц були задіяні аналізатор спектру Agilent E4448A PSA (діапазон частот 3 Гц ... 50 ГГц, власний типовий шум -153 дБмВт, фазовий шум -118 дБн/Гц при відстроюванні на 10 кГц) та GSG RF (земля – сигнал - земля) радіочастотний пробник з кроком у 150 мкм [1]. Вимірювання проводилися у електромагнітно - ізольованій кімнаті, для живлення ГКН використовувалася акумуляторна батарея. Були враховані втрати у пробникові і кабелі. Отримані такі рівні фазових шумів: -106.8 дБн/Гц (відстроювання частоти 1 МГц), -122.3 дБн/Гц (відстроювання частоти 100 МГц).

Насправді пряме вимірювання [2] дає загальний рівень шумів без розподілу на типи. Аналізується спектр сигналу з використанням вузькосмугових фільтрів або перетворення Фур'є. Вважається [1], що для ГКН із насиченими транзисторами АМ шум малий і у даному випадку відбувається вимірювання фазових шумів. У генераторах із транзисторами у лінійному режимі за рахунок АПЧ фазовий шум малий, а АМ шум того ж порядку.

Розглянутий ГКН побудований за диференційною схемою з перехресним зв'язком транзисторів, працюючих у нелінійному режимі, на LC елементах і тому слід вважати, що шуми вихідного сигналу були фазовими.

Для аналізу взаємодії ФМ і АМ шумів розглянемо вихідний сигнал генератора

$$y = A(1 + m\cos(2\pi f_1 t))\cos(2\pi f_0 t + n\cos(2\pi f_2 t + ph)),$$

у якому передбачені амплітудна та фазова модуляції. Результати розрахунків спектрів сигналу у системі MATLAB представлені у таблиці для таких значень параметрів: $A = 1$, $f_0 = 10$ кГц, $f_1 = f_2 = 100$ Гц. Відносна амплітуда складової спектру обчислюється за формулою $a = 20\lg(y_{1,2}/y_0)$.

Таблиця

<i>m</i>	<i>n</i>	<i>ph</i>	<i>a</i> , дБ ($f_0 + f_1$)	<i>a</i> , дБ ($f_0 - f_1$)	Примітка
0.02	0	0	-80	-80	У спектрі дві складові АМ
0	0.02	0	-80	-80	У спектрі дві складові ФМ
0.02	0.02	0	-74	-74	У спектрі дві складові подвійної амплітуди (додавання шумів АМ і ФМ)
0.02	0.02	π	-74	-74	У спектрі дві складові подвійної амплітуди (додавання шумів АМ і ФМ)
0.02	0.02	$\pi/2$	0	-68	У спектрі одна складова збільшеної у 4 рази амплітуди на меншій частоті (віднімання шумів на більшій частоті)
0.02	0.02	$3\pi/2$	-68	0	У спектрі одна складова збільшеної у 4 рази амплітуди на більшій частоті (віднімання шумів на меншій частоті)
0.02	0.02	$\pi/4$	-70	-83	У спектрі дві складові різної амплітуди (додавання на меншій частоті і віднімання на більшій)
0.002	0.02	$\pi/4$	-79	-81	У спектрі дві складові різної амплітуди (додавання на меншій частоті і віднімання на більшій)
.0005	0.02	$\pi/2$	-79.5	-81	У спектрі дві складові різної амплітуди (додавання на меншій частоті і віднімання на більшій)

Видно, що однакових рівнях АМ та ФМ шумів на однакових частотах можливі суттєві зміни амплітуд складових спектру сигналу. Вплив АМ шумів зменшується із зменшенням їх рівня, але не зникає.

ГКН, описаний у [3], складається з 4 підсилювачів, охоплених зворотним зв'язком і перестроюється у діапазоні 90 - 92.5 ГГц при зміні вихідної потужності у межах -17...-12 дБмВт. Для прямого вимірювання шумів використовуються змішувач частоти HP11970W і аналізатор спектру 8565ES. На основі аналізу отриманого спектру автор заявляє про рівень фазових шумів, що викликає сумнів, бо підсилювачі працюють у режимі, близькому до лінійного, і фактично ними отриманий рівень спільних шумів.

При вимірювання шумів із використанням фазового детектування результатом квадратурного множення сигналів однакової частоти з наступною фільтрацією є часова залежність фазових шумів у2:

$$y_1 = y \sin(2\pi f_0 t) = 0.5A(1 + m \cos(2\pi f_1 t)) \times \\ \times [\sin(4\pi f_0 t + n \cos(2\pi f_2 t + ph)) + \sin(-n \cos(2\pi f_2 t + ph))]; \\ y_2 = 0.5 A(1 + m \cos(2\pi f_1 t)) \sin(-n \cos(2\pi f_2 t + ph)).$$

Спектральний аналіз сигналу y_2 у системі MATLAB показує, що вплив АМ шумів на рівень фазових шумів незначний. Він залежить від множників $(1+m)$, $(1-m)$. Методи фазового детектування потребують більш складної апаратної реалізації і врахування вкладу шумів допоміжних пристроїв, але дають достовірні рівні фазових шумів генераторів.

При розробці малошумлячих генераторів важливо знати залежність їх фазових шумів від конфігурації та режиму транзисторів, яка визначається при вимірюваннях. Тому треба чітко уявляти достовірність вимірювання фазових шумів різними методами.

Література

1. Yu M., Ward R.J., Urteega M. A Compact 43-GHz Monolithic Differential VCO in 0.5 - μm InP DHBT Technology // IEEE Microwave and Wireless Comp.Lett. - 2006, - v.16. - №5, pp.281-283.
2. Goyal P. Theory and Practical Considerations for Measuring Phase Noise Better Than -165 dBc/Hz: Part I. // Microwave Journal. - 2004, - v.47, - № 9, - pp. 62-76.
3. Tsai Z-M., Lin C-S., F.Huang C.F., Chern J.G.J., Wang Y. A Fundamental 90- GHz CMOS VCO Using New Ring- Coupled Quad // IEEE Microw. Wireless Compon. Lett. - 2007, - v.17, - № 3, pp.226- 228.

Коцержинський Б.О. Фазові шуми малошумлячих транзисторних НВЧ генераторів. Розглянута особливість прямого вимірювання фазових шумів малошумлячих транзисторних генераторів

Ключові слова: фазовий шум, вимірювання

Коцержинский Б.А. Фазовые шумы малошумящих транзисторных СВЧ генераторов. Рассмотрена особенность прямого измерения фазовых шумов малошумящих транзисторных генераторов

Ключевые слова: фазовый шум, измерения

Kotserjinsky B.O. The phase noise of low noise transistor microwave oscillators. The phase noise direct measurement feature is analysed.

Key words: phase noise, measurements