

УДК 621.3.011

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ФАЗОВЫХ ШУМОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ В ГЕТЕРОДИННЫХ ВЕКТОРНЫХ АНАЛИЗАТОРАХ ЦЕПЕЙ КВЧ ДИАПАЗОНА

Кузюков А.Н., аспирант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Гусинский А.В. – канд. техн. наук

Аннотация. В докладе приводится описание способа уменьшения фазовых шумов измерительных сигналов в гетеродинных векторных анализаторах цепей КВЧ диапазона.

Ключевые слова. Векторный анализатор цепей, фазовые шумы, КВЧ диапазон.

К числу наиболее эффективных измерительных средств, предназначенных для анализа параметров СВЧ и КВЧ устройств (цепей), относятся векторные анализаторы цепей (ВАЦ). Современные ВАЦ являются высокопроизводительными информационно-измерительными системами, позволяющие провести необходимые измерения параметров устройств с гарантированной точностью в широких диапазонах с представлением и хранением измеренной информации о параметрах и характеристиках испытуемых устройств.

В докладе рассматривается способ уменьшения фазовых шумов измерительных сигналов в гетеродинном векторном анализаторе цепей КВЧ диапазона P4-MBM-178.

Одними из наиболее важных узлов гетеродинных ВАЦ КВЧ диапазона являются генератор измерительных сигналов и гетеродин. Погрешность установки частоты и нестабильность во многом определяют метрологические характеристики анализаторов. Для достижения необходимой точности измерения S-параметров в качестве генераторов используют синтезаторы частоты.

Различают несколько схем построения синтезаторов частоты [1, 2]:

1) Аналоговые синтезаторы частоты прямого синтеза. Основными преимуществами таких синтезаторов являются высокая скорость перестройки частоты и возможность использования компонентов с исключительно малым уровнем собственных шумов, т.е. шумы аналогового синтезатора определяются в, в основном, шумами используемых базовых источников частоты и могут быть очень низкими. Основные недостатки указанной топологии – ограниченные количеством смесительных каскадов диапазон и разрешение по частоте; сложность построения; множество нежелательных спектральных составляющих, которые генерируют смесительные каскады.

2) Косвенные синтезаторы частоты с фазовой автоподстройкой (ФАПЧ). Такие синтезаторы построены по принципу сравнения частоты и фазы выходного сигнала, формируемого генератором, управляемым напряжением (ГУН), с сигналом опорного генератора. К недостаткам таких синтезаторов относятся высокие фазовые шумы, неизменность шага перестройки частоты, низкая скорость перестройки. Для получения малого шага перестройки по частоте иногда объединяют в одном синтезаторе несколько петель ФАПЧ. Однако, такой синтезатор является весьма дорогим и громоздким устройством, что сдерживает его широкое применение.

3) Синтезаторы прямого цифрового синтеза (DDS). DDS уникальны своей цифровой определенностью – генерируемый ими сигнал синтезируется со свойственной цифровым системам точностью. Частота, амплитуда и фаза сигнала в любой момент времени точно известны и подконтрольны. DDS практически не подвержены температурному дрейфу и старению. Единственным элементом, который обладает свойственной аналоговым схемам нестабильностью, является ЦАП. Основные преимущества DDS заключаются в очень высоком разрешении по частоте и фазе, экстремально быстрая перестройка частоты, цифровой интерфейс.

Используемые в векторном анализаторе цепей P4-MBM-178, структурная схема которого представлена на рисунке 1, синтезаторы построены по гибридной схеме PLL/DDS синтезатора, где DDS используется в качестве опорного генератора для PLL синтезатора. Такое построение синтезатора обеспечивает относительную простоту реализации, широкую полосу синтезируемых частот (15 ГГц), высокую скорость перестройки частоты без разрыва фазы выходного сигнала, чистоты спектра выходного сигнала, мелкий шаг перестройки частоты, что критично для гетеродинных ВАЦ серии P4-MBM-178, т.к. съём измерительной информации производится с помощью гармонических смесителей, работающих на 8 гармонике.

В качестве опорного генератора используется малозумящий кварцевый генератор с частотой 100 МГц. Для получения необходимого рабочего диапазона частот векторного анализатора цепей в качестве источника измерительного сигнала используются синтезатор частоты 5 – 20 ГГц и

необходимый набор умножителей, в качестве гетеродина так же используется синтезатор частоты 5 - 20 ГГц. Структурная схема синтезатора 5 – 20 ГГц приведена на рисунке 2.

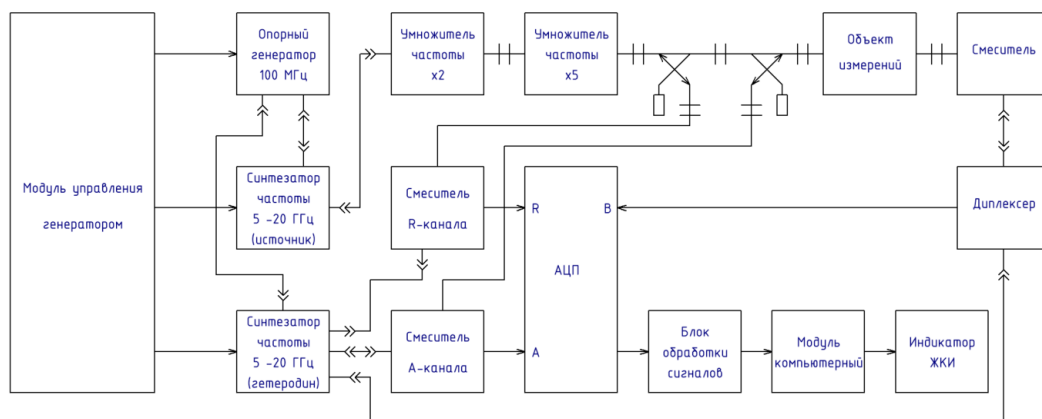


Рисунок 1 – Структурная схема векторного анализатора цепей

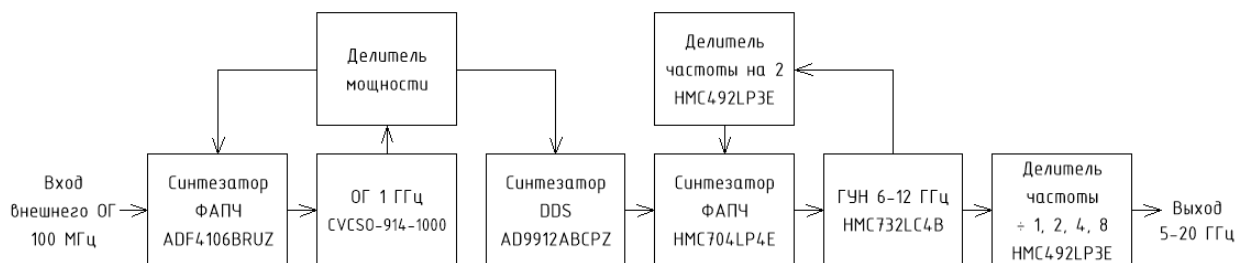


Рисунок 2 - Структурная схема синтезатора частоты 5 – 20 ГГц

Из структурной схемы устройства видно, что синтезатор DDS использует внутренний опорный сигнал частотой 1 ГГц от встроенного в схему опорного генератора (ОГ), который в свою очередь имеет собственную петлю ФАПЧ, работающей от внешнего опорного генератора 100 МГц. Из вышеизложенного следует, что используемый в схеме ВАЦ Р4-МВМ-178 опорный генератор 100 МГц служит лишь для синхронизации источника и гетеродина внутри прибора. Это обусловлено тем, что дальнейшее преобразование частоты опорного сигнала неизбежно приводит к возрастанию фазовых шумов, определяемых из выражения:

$$PN = 20 \cdot \log \left(\frac{F_{out}}{F_{REF}} \right), \quad (1)$$

где F_{OUT} – частота выходного сигнала;
 F_{REF} – частота опорного сигнала.

Однако, на практике оказалось, что для обеспечения высоких метрологических характеристик векторного анализатора цепей Р4-МВМ-178 предпринятых мер недостаточно. С целью исключения некоторых предполагаемых составляющих фазовых шумов была произведена модернизация схемы соединения цепочки устройств опорный генератор-источник измерительного сигнала-гетеродин, а именно:

- 1) Исключена линия связи между опорным генератором и гетеродином.
- 2) Из схемы гетеродина исключены синтезатор ФАПЧ ADF4106 и кварцевый генератор CVCSO-914-1000.
- 3) Сформирована линия связи от кварцевого генератора 1 ГГц источника до синтезатора DDS гетеродина.

Итоговая схема соединений представлена на рисунке 3.

Были проведены экспериментальные исследования фазовых шумов выходных сигналов промежуточной частоты смесителей. На рисунке 4 представлены сравнительные результаты исследований фазовых шумов до и после модернизации схемы анализатора соответственно.

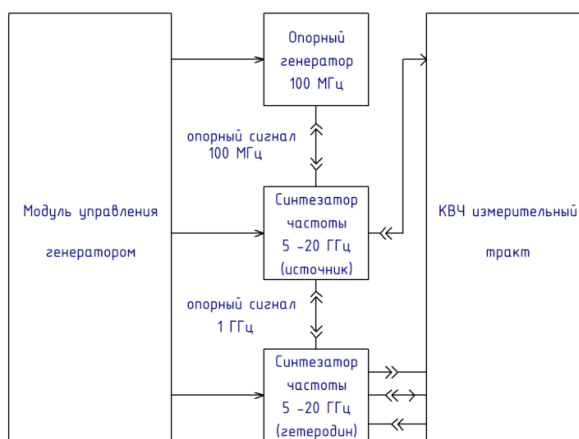
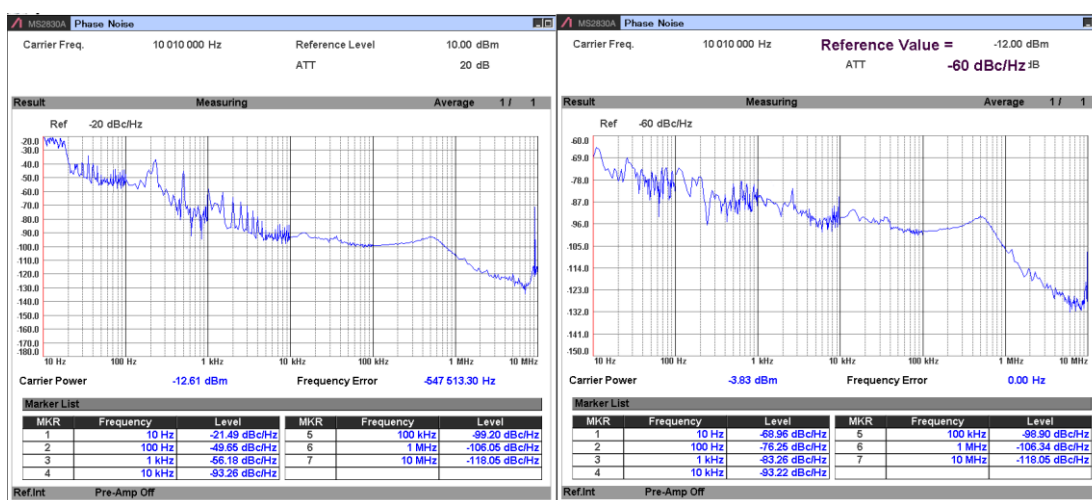


Рисунок 3 – Структурная схема векторного анализатора цепей после модернизации



а)

б)

Рисунок 4 – Экспериментальные исследования фазовых шумов ВАЦ до (а) и после (б) преобразования структурной схемы анализатора

Анализ полученных результатов показывает, что предложенные изменения в структурной схеме векторного анализатора цепей КВЧ диапазона позволяют уменьшить уровень фазовых шумов на 25-35 дБ/Гц при отстройке по частоте до 1 кГц. Данный способ опробован и применяется в векторных анализаторах цепей P4-MVM-178.

Список использованных источников:

1. Белошицкий, А. П. Измерения в оптическом и микроволновом диапазонах длин волн. В 2 ч. Ч.1. Учебно-методическое пособие. / А. П. Белошицкий, А. В. Гусинский, А. М. Кострикин. – Минск : БГУИР, 2016.
2. Гусинский, А. В. Векторные анализаторы цепей миллиметровых волн: монография В 3 ч. Ч. 3 (кн. 1) : Принципы построения и анализ схем векторных анализаторов цепей / А. В. Гусинский, Г. А. Шаров, А. М. Кострикин. – Минск : БГУИР, 2008.

UDC 621.3.011

METHOD FOR REDUCING THE PHASE NOISE OF MEASURING SIGNALS IN HETERODYNE VECTOR ANALYZERS OF EHF CIRCUITS

Kuziukou A.N., PG Student

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus*

Gusinsky A.V. – PhD

Annotation. The report describes a method for reducing the phase noise of measuring signals in the heterodyne vector analyzers of EHF circuits.

Keywords. Vector network analyzer, phase noise, EHF range.