

А.В. Дроздовский, А.Б. Устинов

ФГБОУ ВПО Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Планарный перестраиваемый генератор монохроматического СВЧ сигнала на основе спин-волновой линии задержки

Представлены результаты исследования генератора, управляемого спин-волновой линией задержки. Продемонстрированы перестройка рабочей частоты генератора на 2.7 ГГц и уровень фазовых шумов генерируемого сигнала порядка 90 дБн на Гц при отстройке на 10 кГц.

Ключевые слова: генератор, спиновые волны

Генераторы СВЧ сигнала являются ключевым элементом устройств сантиметрового и миллиметрового диапазонов и поэтому во всем мире активно ведутся исследования, направленные на совершенствование их конструкции [1]. Одним из наиболее важных параметров СВЧ генераторов является уровень фазовых шумов. Уровень фазовых шумов, фактически есть мера стабильности частоты генератора. Использование малошумящих перестраиваемых генераторов позволяет значительно улучшить технические и эксплуатационные характеристики многих радиоэлектронных систем, такие, как скорость передачи информации, число каналов связи, точность, чувствительность и пр.

Современные генераторы, с несущей непосредственно в СВЧ, как правило, делаются по стандартной схеме в виде кольца, содержащего усилитель резонатор и направленный ответвитель для вывода СВЧ сигнала. Перестройка рабочей частоты генератора осуществляется путем перестройки резонансной частоты резонатора. Колебания возникают, как результат возбуждения системы шумами, существующими в компонентах автогенератора. Спектральная плотность шума такой системы может быть оценена на основе известной формулы Лисона [2] и, в значительной степени, определяется нагруженной добротностью используемого резонатора.

Нагруженная добротность твердотельных резонаторов, как правило, не превышает нескольких тысяч. Главный недостаток резонаторов – их ограниченный диапазон перестройки. Любая перестройка резонатора, даже для фазовой синхронизации автогенератора, отрицательно влияет на его добротность. Т.е. перестройка и уровень фазовых шумов являются противоборствующими факторами. Там, где удастся, обеспечить перестройку рабочей частоты генератора в большом диапазоне частот, высок уровень фазовых шумов. И наоборот – генераторы с низким уровнем фазовых шумов, как правило, могут перестраиваться по частоте незначительно [1].

Принципиально иной схемой построения генераторов является схема, содержащая линию задержки в качестве частотно-селективного элемента. Технически такая конструкция на основе линии задержки представляет собой активное кольцо. В качестве частотно селективного элемента выступает линия задержки, а резонатором, в данном случае, является все кольцо (в англоязычной литературе такие генераторы получили название "delay-line oscillator") [3]. Для конструкции на основе линии задержки основным

параметром, влияющим на уровень фазовых шумов, является не добротность резонатора, а время задержки сигнала внутри линии задержки. На рис. 1 приведены результаты сопоставления теоретических уровней фазового шума для генератора, содержащего резонатор (пунктирная линия) и генератора, содержащего линию задержки (сплошная линия). Кривые посчитаны для добротности резонатора $Q=5000$ и времени задержки сигнала в линии задержки $\tau_d = 10^{-8}$ с. Все остальные параметры при расчете принимались одинаковыми.

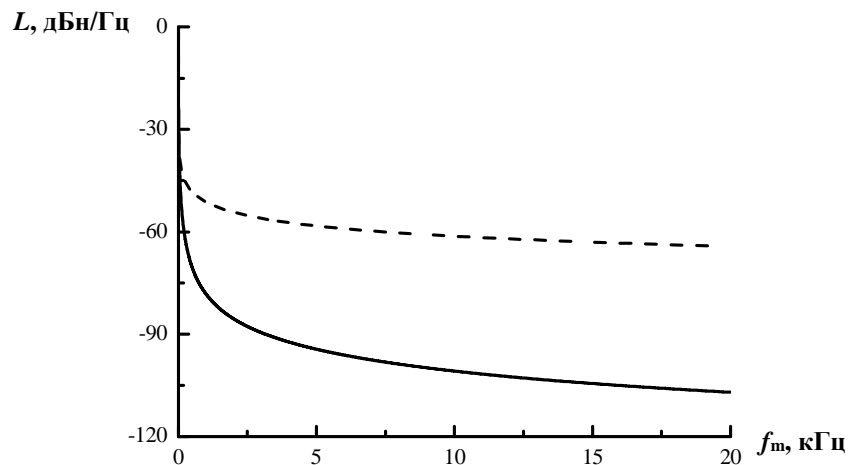


Рисунок 1

Из сопоставления графиков видно, что использование генератора на основе линии задержки (со временем задержки всего 10^{-8} с) вместо схемы на резонаторе дает преимущество на 40 дБн при отстройке на 10 кГц от несущей. Время задержки сигнала в линии задержки является важнейшим фактором, определяющим фазовый шум генератора. На рис. 2 приведены примеры расчета мощности фазовых шумов генераторов на основе схемы с линией задержки при различных значениях времени задержки.

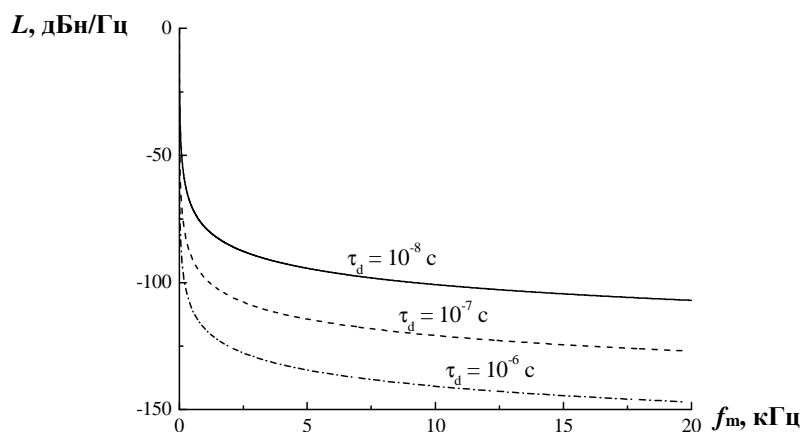


Рисунок 2

Из рисунка понятно, что для того, чтобы обеспечить как можно низкий уровень фазовых шумов необходимо использовать линию задержки с как можно большим

временем задержки СВЧ-сигнала (для уровня менее 130 дБн при отстройке 10 кГц – порядка микросекунды).

Одними из наиболее перспективных для использования в генераторах являются линии задержки на спиновых волнах. Линия задержки на спиновых волнах обладает малыми размерами (от нескольких миллиметров до сантиметра) и легко перестраивается внешним магнитным полем в диапазоне от 1 до 20 ГГц. При этом источником магнитного поля могут служить постоянные магниты (в не перестраиваемых системах), электромагниты (в перестраиваемых системах с возможностью большого энергопотребления) или магнитные системы на принципе остаточной индукции (перестраиваемые системы с малым энергопотреблением). Данная конструкция является уникальной, поскольку при перестройке рабочего диапазона магнитным полем, длина волны остается неизменной, в отличие, например, от устройств на акустических волнах. В тот же момент, конструкции спин-волновых приборов легко реализуются при помощи стандартной фотолитографии и технологией навесных электронных компонентов. Генераторы на основе спин-волновых линий задержки будут иметь следующие достоинства: планарность конструкции, миниатюрность, низкий уровень фазовых шумов, перестройка в широком диапазоне частот и относительно низкая себестоимость. В настоящее время это один из наиболее простых способов построения миниатюрных, малошумящих, перестраиваемых генераторов. Поэтому генераторы на основе спин-волновых линий задержки, являются наиболее перспективными с точки зрения разработки и создания малошумящих перестраиваемых генераторов сверхвысокочастотного сигнала, как основы электронной компонентной базы нового поколения.

Был проведен эксперимент в котором активное кольцо, содержащее спин-волновую линию задержки вводилось в режим монохроматической генерации. В качестве линии задержки выступал макет, содержащий возбуждающую и приемную микрополосковые антенны шириной 50 мкм. На антенны сверху накладывался волновод спиновых волн шириной 2 мм, длиной 2 см и толщиной 10 мкм, изготовленный из пленки железиттриевого граната с намагниченностью насыщения 1700 Гс. Расстояние между приемной и возбуждающей антеннами составляло 2 мм. Макет помещался в постоянное магнитное поле, создаваемое электромагнитом, величиной $3700 \div 6400$ Э, направленное перпендикулярно поверхности пленки феррита. Такая конфигурация линий задержки обеспечивала задержку на частоте генерируемого сигнала порядка 7 нс. Частота генерируемого сигнала, определяемого электромагнитом, составляла $3.7 \div 6.4$ ГГц. При измерении использовался анализатор спектра с функцией измерения фазовых шумов Testronix RSA6000. Измерения проводились во частотном диапазоне, определяемом величиной магнитного поля.

Типичный фазовый шум тестируемого макета генератора, измеренной на несущей 5.28 ГГц, представлен на рисунке 3 (пунктирная линия – теоретический расчет, сплошная – эксперимент). Экспериментально измеренное значение уровня фазовых шумов составило порядка 90 дБн/1 Гц при отстройке 10 кГц.

L , дБн/Гц

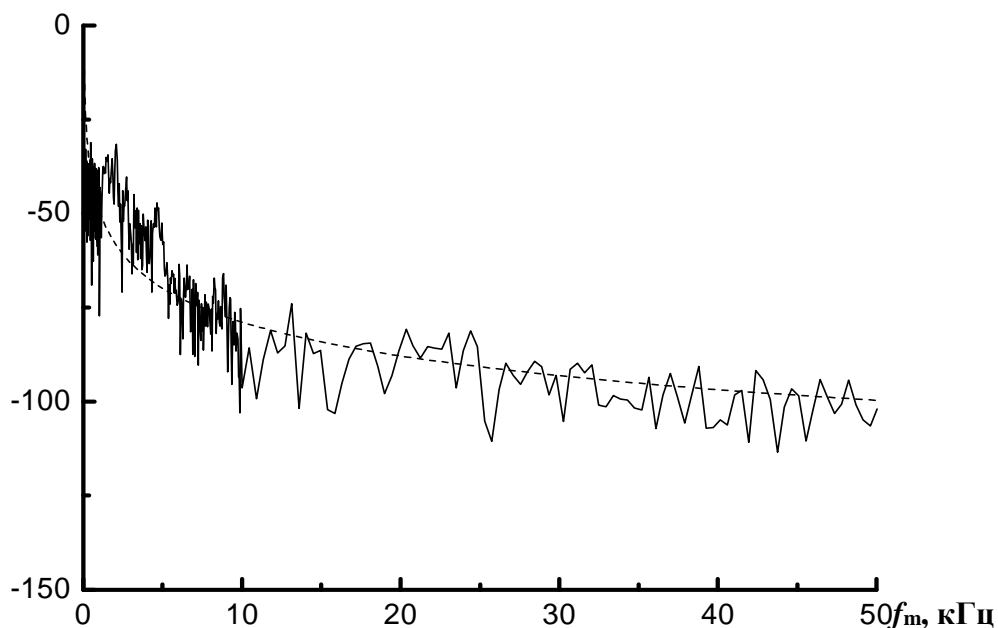


Рисунок 3

Таким образом вышеописанное исследование показывает, что возможно использовать активное кольцо, содержащее спин-волновую линию задержки в качестве основы перестраиваемого малошумящего генератора монохроматического СВЧ-сигнала.

Библиографический список

1. Ченакин А. Фазовые шумы в СВЧ-генераторах // – Элементная база электроники. – 2011. – Вып.№4. – С. 00110.
2. Leeson D.B. A simple model of feedback oscillator noise spectrum // – Proceedings of the IEEE. – 1966. – Vol. 54. – №. 2. – pp. 329-330.
3. Henaff J. Application of SAW-Oscillators to Digital Communications // – 1979 IEEE Ultrasonics Symposium. – 1979. – pp. 855-860.