

Теоретическое исследование оптоэлектронного СВЧ генератора с фильтром на поверхностных спиновых волнах

И.Ю. Таценко, А.Б. Устинов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в работе проведено теоретическое исследование влияния параметров оптоэлектронного СВЧ генератора на спектр его фазового шума. Показано, что увеличение длины оптоволоконной линии задержки снижает уровень фазовых шумов, но и выдвигает более высокие требования к частотно-селективному элементу. Исследовано влияние коэффициента усиления радиочастотного усилителя и RIN-шума лазера на спектр фазовых шумов оптоэлектронного генератора.

Ключевые слова: оптоэлектронный СВЧ-генератор, спиновые волны, линия задержки, фазовые шумы, ферромагнитная пленка, радиофотоника

1. Введение

Сейчас широко используются системы навигации, радиолокации, и связи, которые работают в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ). Поэтому появляется необходимость в создании новых, и улучшении уже существующих устройств, связанных с генерацией и обработкой сигнала диапазона СВЧ. Одним из таких устройств является оптоэлектронный генератор (ОЭГ) [1].

Данный генератор характеризуется широким частотным диапазоном генерации сигнала, от сотен МГц до десятков ГГц [2]. В ОЭГ используется оптическая линия задержки, для которой характерен низкий коэффициент затухания, около 0.2 дБ/км. В качестве частотно-селективного элемента, используется фильтр на поверхностных спиновых волнах [3]. Спиновые волны – это колебания намагниченности, распространяющиеся в плёнке ферромагнетика. Главное преимущество данного фильтра, это возможность его перестройки путем изменения внешнего магнитного поля, которое действует на пленку.

Уже долгое время вводятся разработки и создаются генераторы электромагнитных колебаний, для которых характерна стабильность частоты и высокая спектральная чистота генерируемого сигнала [4]. Оптоэлектронный генератор, является перспективным устройством для генерации сигналов в СВЧ диапазоне.

2. Теоретическое исследование влияния параметров генератора на спектр фазовых шумов

Для получения теоретических спектров фазовых шумов использовалась модель, предложенная в работе [2]. Математический расчёт спектра фазовых шумов осуществлялся по формуле:

$$S(f') = \frac{\delta}{(2 - \delta/\tau) - 2\sqrt{1 - \delta/\tau} \cos(2\pi f' \tau)} \quad (1)$$

где τ – время задержки кольцевой системы, f' – частота отстройки от несущей, δ – входное отношение сигнал-шум генератора.

Отношение сигнал-шум определяется следующим образом:

$$\delta = \rho_N G_A^2 / P_{osc}, \quad (2)$$

где ρ_N – спектральная плотность шума, G_A – коэффициент усиления, P_{osc} – мощность генерируемого сигнала.

Для математического моделирования спектра фазовых шумов при различных временах задержки использовались следующие параметры $\rho_N=10^{-17}$ мВт/Гц, $P_{osc}=36$ мВт, $G_A=10$. Ниже представлены результаты данного моделирования при временах задержки 3, 5 и 8 мкс.

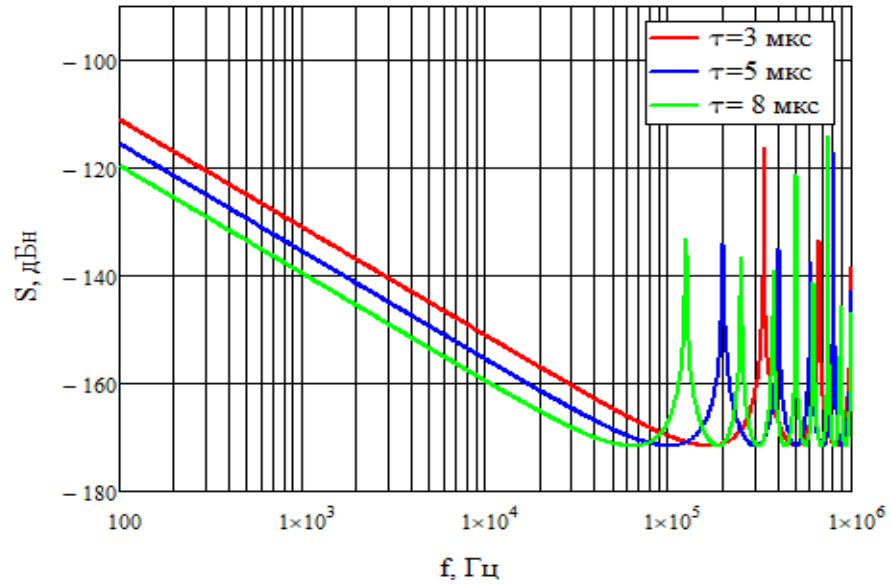


Рисунок 1. Спектр фазовых шумов при различных временах задержки.

Из полученных результатов видно, что при увеличении времени задержки уровень фазовых шумов генератора снижается, это связано с тем, что увеличивается энергия, запасаемая в линии задержки, которая прямо пропорциональна времени задержки. Также, с увеличением времени задержки уменьшается область свободной дисперсии, что предъявляет более высокие требования к полосе пропускания фильтра.

Далее проводилось математическое моделирование спектра фазовых шумов при различных коэффициентах усиления (5, 10, 20) при следующих фиксированных параметрах: $\rho_N=10^{-17}$ мВт/Гц, $P_{osc}=36$ мВт, $\tau=5$ мкс. Результаты представлены на рисунке 2.

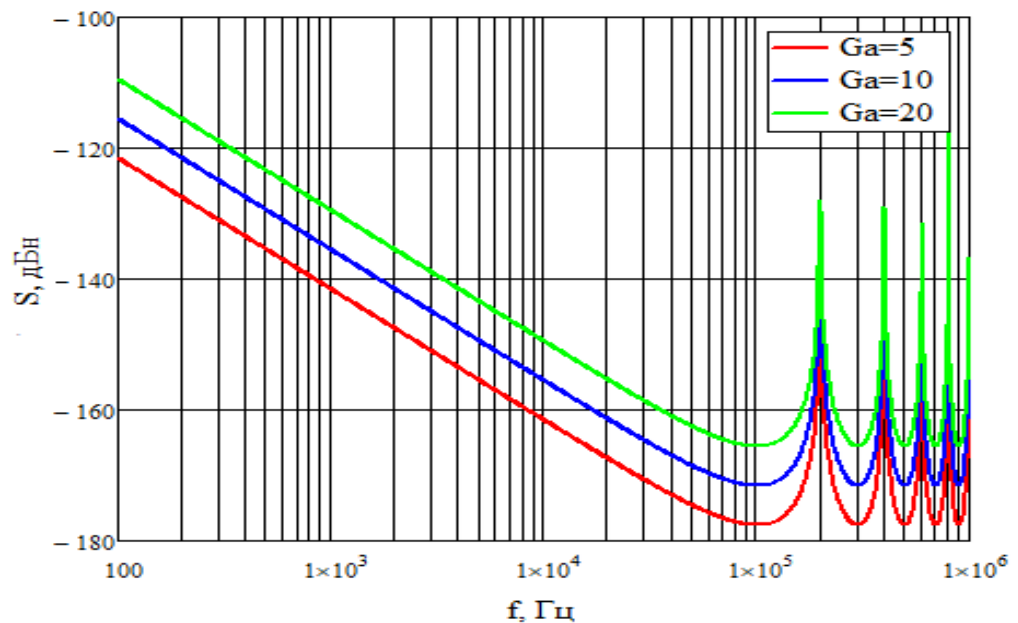


Рисунок 2. Спектр фазовых шумов при различных коэффициентах усиления.

Видно, что увеличение коэффициента усиления приводит к увеличению фазовых шумов генератора. Для того чтобы снизить фазовые шумы генератора, необходимо снизить потери в кольцевой схеме, что приведет к уменьшению коэффициента усиления усилителя для компенсации потерь.

Спектральная плотность шума (ρ_N) определяется из теплового, дробового шумов и относительного шума интенсивности лазера (RIN – relative intensity noise)

$$\rho_N = 4kT(NF) + 2eI_{ph}R + N_{RIN}I_{ph}^2R, \quad (3)$$

где $4kT(NF)$ – спектральная плотность теплового шума (NF – коэффициент шума), $2eI_{ph}R$ – спектральная плотность дробового шума (I_{ph} – фототок, R – сопротивление фотодетектора), $N_{RIN}I_{ph}^2R$ – спектральная плотность относительного шума интенсивности лазера. На рисунке 3 представлены результаты моделирования спектра фазовых шумов при различных RIN лазера накачки.

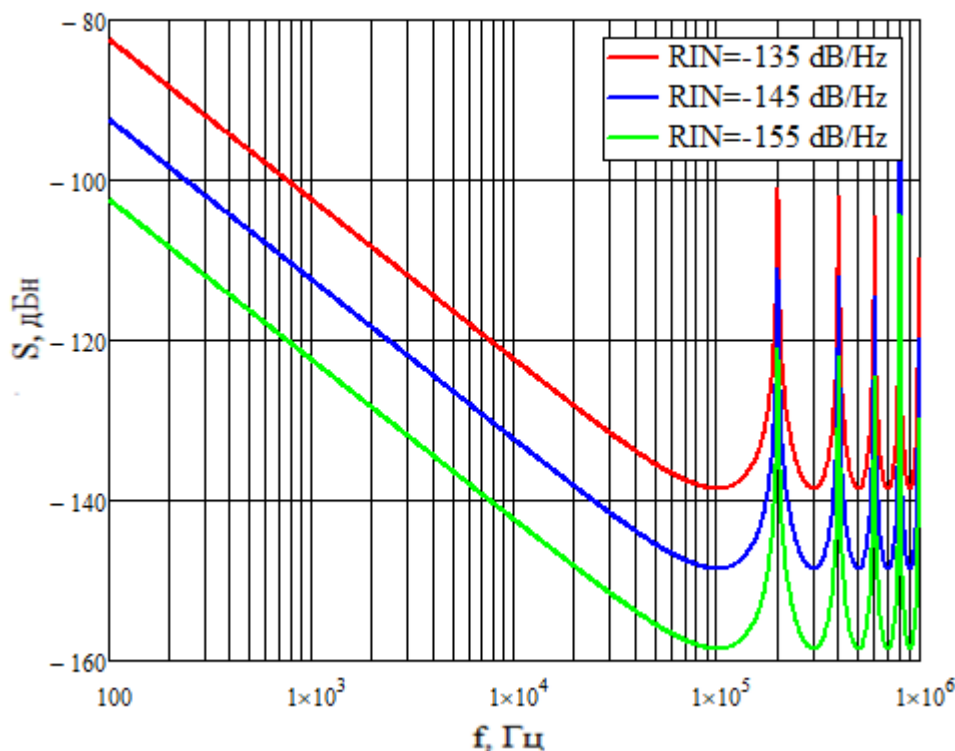


Рисунок 3. Спектр фазовых шумов при различных RIN лазера.

Результаты показывают, что снижение RIN лазера улучшает фазовые шумы генератора. Поэтому для улучшения характеристик оптоэлектронного генератора можно использовать лазер накачки, имеющий меньшие флуктуации интенсивности излучения.

3. Заключение

В данной работе было проведено теоретическое исследование влияния параметров схемы оптоэлектронного генератора, таких как, длина оптической линии задержки и коэффициент усиления усилителя, на спектр фазовых шумов. Из полученных результатов можно говорить о том, что фильтр на поверхностных спиновых волнах хорошо подходит для перестройки частоты генерации.

Список литературы

1. М.Белкин, А.Лопарев «Оптоэлектронный генератор. Первое практическое устройство СВЧ-оптоэлектроники» ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес 6/2010
2. X. Steve Yao and Lute Maleki «Optoelectronic microwave oscillator» Vol. 13, No. 8/August 1996/J. Opt. Soc. Am. B
3. Н.Г. Ковшиков, А.Б. Устинов, Б.А. Калиникос, "Полосно-пропускающий СВЧ фильтр на спиновых волнах," Сборник трудов всероссийской конференции "Микроэлектроника СВЧ", 4-7 июня 2012, Санкт-Петербург, Россия, том 2, стр. 208.
4. David B. Leeson «Oscillator Phase Noise: A 50-Year Review» VOL. 63; NO. 8/AUGUST 2016/IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL