

**А.Н. Литвиненко, В.В. Тихонов**

ФГБОУ ВПО Саратовский государственный университет имени  
Н.Г. Чернышевского

## **Высокостабильный перестраиваемый ЖИГ генератор СВЧ**

*Представлены результаты комплексной разработки высокостабильного малошумящего транзисторного ЖИГ генератора СВЧ с электрической перестройкой частоты. В качестве частотно-задающего элемента генератора использовался пленочный ЖИГ резонатор. Печатная плата генератора вместе с установленным на ней ЖИГ резонатором располагалась в экранированном корпусе портативной магнитной системы. Температурный дрейф частоты резонатора компенсировался тепловым размагничиванием комбинации разнородных постоянных магнитов.*

**Ключевые слова:** ЖИГ резонатор, термостабильность, биполярный транзистор,

Высокая добротность и плавная перестройка частоты ЖИГ резонаторов делают их незаменимыми в качестве частотно задающих элементов малошумящих генераторов качающейся частоты. Однако из-за сильной температурной нестабильности ферритов эти устройства имеют весьма ограниченную сферу применения. Известные методы термостабилизации (термостатирование, электронная подстройка, термошунтирование и проч.) не оправдано усложняли и увеличивали габариты ферритовых устройств. Поэтому до настоящего времени задача термостабилизации оставалась актуальной. В предыдущей работе авторов [??] был предложен простой и эффективный способ автокомпенсации температурного дрейфа частоты ЖИГ резонатора за счет теплового размагничивания специально подобранной комбинации разнородных магнитов. Была предложена конструкция портативной экранированной магнитной системы со встроенной системой термостабилизации и электрической регулировкой поля в рабочем зазоре. Было показано, что электрическая регулировка частоты не нарушает температурную стабильность резонатора. Конструкция магнитной системы допускала возможность размещения внутри стального экрана микрополосковой схемы функционального устройства. Последнее обстоятельство послужило поводом создания на основе термостабилизированного ЖИГ резонатора высокостабильного СВЧ генератора (ЖИГ генератора).

Целью данной работы являлось разработка транзисторной схемы электрически управляемого ЖИГ генератора с предельно низким уровнем фазовых шумов.

Численное моделирование схемы генератора осуществлялось при помощи автоматизированной системы проектирования ADS2011 фирмы Agilent Technologies, которая позволяла проводить полный цикл моделирования устройства, включая топологию полосковых схем и выходные характеристики СВЧ генератора. В качестве активного элемента генератора использовался биполярный транзистор шестого поколения BFU730f фирмы NXP. В задачу проектного моделирования входила разработка оптимальной схемы включения транзистора и пленочного резонатора, обеспечивающей возбуждение стабильных колебаний в выходном тракте.

С целью максимального снижения фазовых шумов пленочный резонатор включался в цепь обратной связи по схеме двухполюсника. Использовалась схема однопортового транзисторного генератора с подключением транзистора по схеме с общей базой. Для устранения влияния внешнего тракта на стабильность частоты генератора дополнительно вводился буферный каскад, выполненный на основе интегрального транзисторного усилителя MGA-86576. В результате схема генератора приводилась к виду, представленному на рис.1.

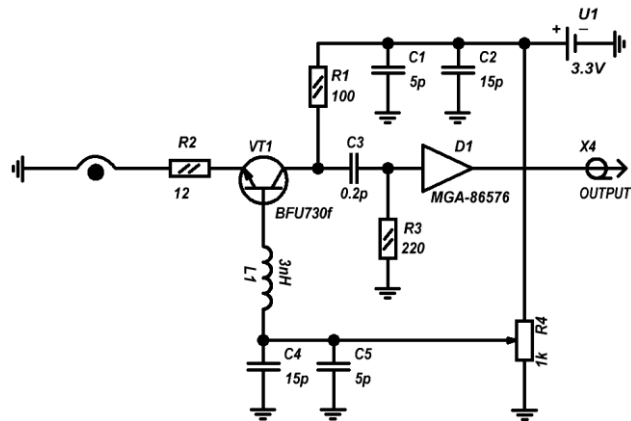


Рис.1. Схема транзисторного генератора с буферным каскадом

На рис.2. представлены временные зависимости амплитуды колебаний в ЖИГ резонаторе и в выходном тракте СВЧ генератора: а - в момент подачи питающего напряжения транзистора; б – в установившемся режиме.

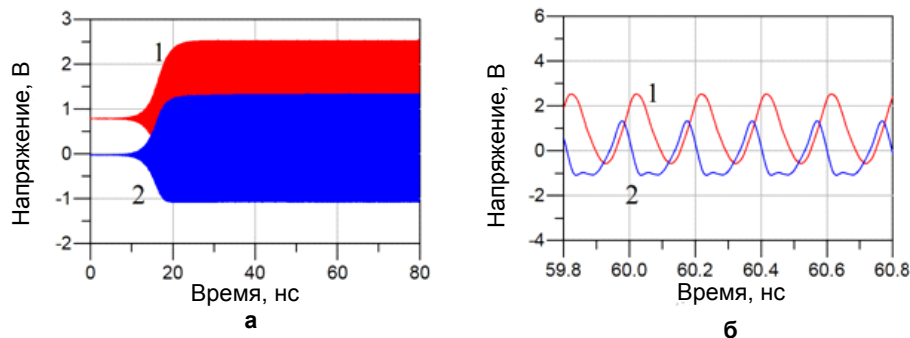


Рис.2. Временные реализации сигналов в момент включения генератора (а) и в установившемся режиме (б). Кривые 1 - на ЖИГ резонаторе, кривые 2 - на выходе генератора.

На рис.3 представлены результаты расчета фазовых шумов транзисторного генератора при заданной частоте генерации 5ГГц.

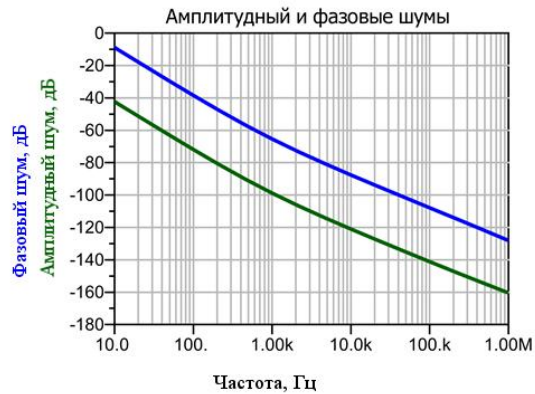


Рис.3. Фазовые шумы транзисторного генератора по схеме рис.1. при подключении ЖИГ резонатора с добротностью 1000.

Видно, что при выбранной схеме транзисторного генератора амплитуда фазовых шумов не превышает -68дБ при отстройке на 1кГц и -90дБ при отстройке на 10кГц, что в совокупности с возможностью плавной электрической перестройки частоты представляет значительный интерес.

На рис.4 представлена топология печатной платы транзисторного генератора по схеме рис.1, выполненная на материале Arlon AD250 толщиной 0,5мм.

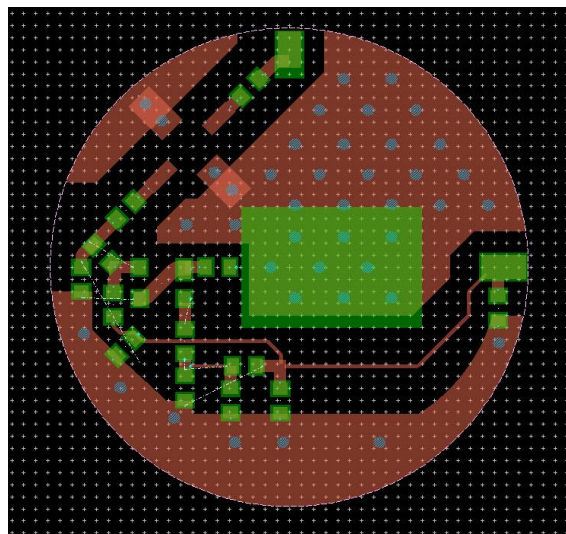


Рис.4. Топология печатной платы транзисторного генератора СВЧ по схеме рис.1.

Для изготовления резонаторов использовались эпитаксиальные пленки ЖИГ толщиной 13мкм и 24мкм выращенные на подложках ГГГ толщиной 0,5мм. Резонаторы изготавливались в виде дисков диаметром 1мм и 2мм. Для их изготовления использовалась экспресс-технология прецизионной лазерной резки и скрайбирования, реализованная на базе волоконного лазера в программно-аппаратном комплексе МиниМаркер 2-20А4. Технология лазерного скрайбирования позволяла с высокой точностью воспроизводить 2D-геометрию ЖИГ резонатора и, как показано на рис.5, обеспечивала достаточно высокое качество обработки краев пленки ЖИГ.

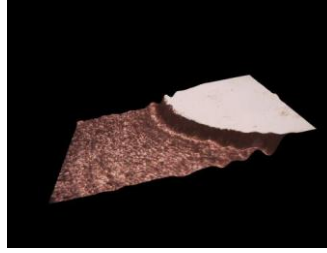
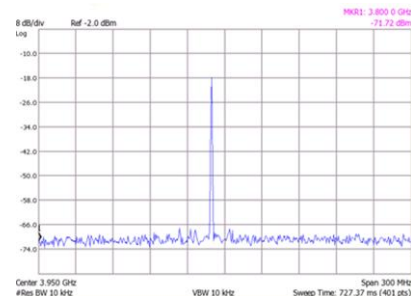


Рис.5. Фрагмент трехмерные изображения пленочного ЖИГ резонатора, полученный при помощи программно-аппаратного комплекса трехмерного моделирования Hironx KN-7700.

Внешний вид и спектрограмма лабораторного макета транзисторного ЖИГ генератора представлены на рис.6.



а.



б.

Рис.6. Макетирование и испытание транзисторного ЖИГ генератора СВЧ.  
а – внешний вид лабораторного макета, б – спектрограмма генератора.

Ниже приведены основные характеристики лабораторного макета генератора.

Диапазон электрической перестройки частоты,	3500-4000 МГц
Стабильность частоты в диапазоне температур 10-80°C	<0,07МГц/°С
Амплитуда фазовых шумов при отстройке на 10КГц,	<-80 Дб
Мощность генерируемого сигнала,	>1 мВт
Габариты,	18x15x12 мм
Масса	25 г

Таким образом, в результате проведенных работ была разработана оригинальная конструкция макета высокостабильного плавно перестраиваемого транзисторного генератора СВЧ, выполненного на основе пленочного ЖИГ резонатора. Конструкция макета объединяет в себе ранее достигнутые результаты по миниатюризации магнитных систем, термостабилизации ЖИГ резонатора, возможности электрической перестройки частоты и защиты от внешних полей. По своим эксплуатационным качествам предложенная конструкция ЖИГ генератора удовлетворяет основным климатическим и массогабаритным требованиям бортовой аппаратуры.

Библиографический список

1. В. В. Тихонов, А. Н. Литвиненко, С. А. Никитов, С. Г. Сучков. Температурная стабилизация спинволновых ферритовых устройств // РЭ, 2013, том 58, № 1, с. 83–90.