

Стабилизация частоты импульсных магнетронов W-диапазона

Представлены результаты работ по созданию стабилизирующих квазиоптических резонаторов для импульсных магнетронных генераторов коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн. Приведены экспериментальные данные для схемы стабилизации магнетронов с двумя выводами. Рассматривается схема измерения внутримпульсной частотной стабильности магнетронного генератора. Рассматривается влияние стабилизации на «затягивание» генератора. Обсуждается область применения в радиолокационных системах различного назначения. Предлагается использовать полученный опыт в разработке интегрированных генераторных блоков.

Ключевые слова: Миллиметровый диапазон, магнетрон с двумя выводами, эквивалентная схема генератора, стабилизирующий резонатор

1. Введение

На V Всероссийской конференции «Электроника и микроэлектроника СВЧ» в 2017 году нами был представлен доклад «Магнетроны коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн с перестройкой и стабилизацией частоты. Новые возможности.», где предлагалась использовать магнетроны с двумя выводами для быстрой перестройки рабочей частоты. Там же предлагалось использовать второй вывод для стабилизации частоты генератора. В данном докладе представлены результаты применения квазиоптических резонаторов в реактивном выводе магнетрона в W-диапазоне длин волн.

Стабилизация частоты генераторов, с точки зрения практической радиолокации, как правило определяется наличием режима «внутренней эквивалентной когерентности». Степень стабилизации при этом определяется стабильностью фазы вч-колебания в течении рабочей части импульса или, что-то же самое, стабильностью частоты в течении импульса. В данной работе достигнута внутримпульсная стабильность частоты не хуже 2×10^{-6} , что позволяет использовать импульсы длительностью 200 нс для когерентного накопления сигнала РЛС.

2. Общие положения

Как показал опыт ранних разработок [1,3] частотная стабилизация наиболее эффективно реализуются при применении магнетронов с двумя выводами – активным и реактивным. Эквивалентная схема магнетронного генератора с двумя выводами представлена на Рис 1.

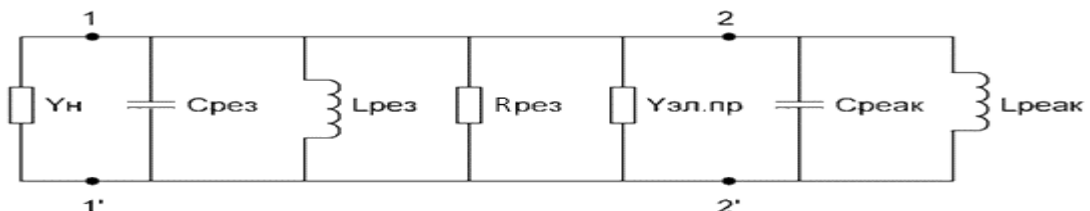


Рис.1. Эквивалентная схема магнетронного генератора с двумя выводами.

Активная нагрузка Y_n подключена в плоскости 1 – 1¹, а реактивная нагрузка – в плоскости 2 – 2¹. $C_{рез}$, $L_{рез}$, $R_{рез}$ – «холодные» параметры собственной резонансной системы магнетрона. $C_{реак}$, $L_{реак}$ – параметры реактивной нагрузки (стабилизирующий

резонатор). $Y_{эл.пр} = g + jb$ – полная электронная проводимость. Y_H – проводимость активной нагрузки.

При применении в качестве реактивной нагрузки высокочастотного резонатора в плоскости 2-2¹ происходит стабилизация рабочей частоты данного вида колебаний. При этом коэффициент стабилизации S , при наличии дестабилизирующих факторов, влияющих на работу магнетрона (нестабильность режима питания, температуры, эффекта «старения и пр.») согласно [1] может быть представлен в виде:

$$S \sim K \times \frac{1+Q_c}{Q_0}, \text{ где}$$

$K = f\left(\frac{\partial B}{\partial \alpha}\right) < 1$, (α – параметр дестабилизации, B – реактивные проводимости схемы),

Q_c - собственная добротность стабилизирующего резонатора,

Q_0 - собственная добротность магнетрона.

Для целей перестройки и стабилизации частоты генерации в ОАО «ПЛУТОН» разработаны импульсные не π -видные магнетроны со вторым вспомогательным выводом энергии [2], являющимся элементом перестройки или стабилизации рабочей частоты магнетрона (Рис.4б).

Исходные параметры магнетрона:

- частота генерации (ГГц)	f_0
- длительность импульса, регулируемая (нс)	200
- частота посылок, регулируемая (Гц)	2500
- импульсная мощность, максимальная (КВт)	12
- вариант исполнения – с двумя выводами.	

3. Высокодобротный стабилизирующий резонатор в реактивном выводе.

В 3-мм диапазоне в связи с проблемой разделения видов колебаний требуется переход на технику квазиоптического типа. В качестве прототипа была использована эшелеттная система, предложенная ИРЭ им. А.Я.Усикова [4] для стабилизации твердотельных генераторов 8-мм диапазона. Была изменена конструкция и произведено моделирование системы для 3-мм диапазона. Результаты численного моделирования представлены на рисунках 2 и 3.

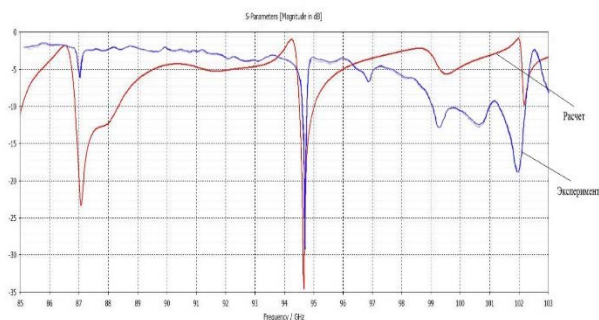


Рис. 2. Расчетная и экспериментальная зависимости параметра S_{11} от частоты.

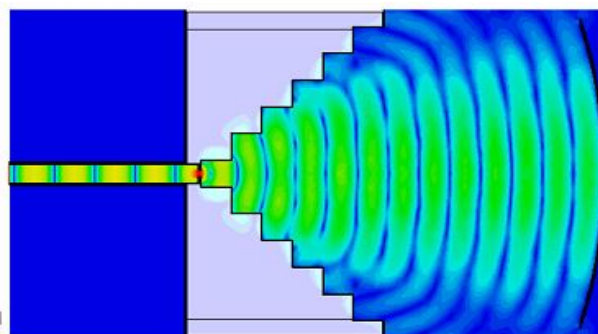
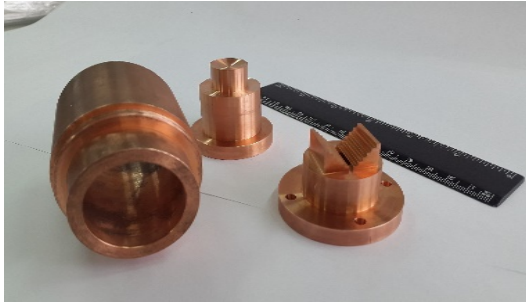
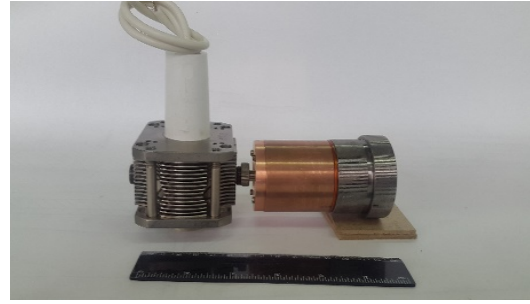


Рис.3. Распределение E-компоненты ВЧ поля.

Резонатор через прямоугольный или круглый волновод подсоединяется к реактивному выводу магнетрона и обеспечивает необходимую внутриимпульсную стабильность. При перемещении сферического зеркала в пределах $\lambda/2$ по направлению главной оси эшелетта происходит эффективная перестройка резонансной частоты эшелетта ± 2.0 ГГц с сохранением типа колебания ТЕМ₀₀₂₆. Собственная добротность эшелеттной системы составляет не менее 7000. По результатам расчетов была изготовлена эшелеттная система (рис. 4а) и проведены «холодные» измерения (рис. 2). Стабилизирующая система в сборе с магнетроном представлена на рисунке 4б.



(а)



(б)

Рис. 4. Эшелеттная система (а) и стабилизирующая система с магнетроном (б).

«Горячие» измерения магнетронного генератора со стабилизирующим резонатором показали эффективную стабилизацию частоты генератора:

- Получен коэффициент стабилизации не менее 4.
- Внутримпульсная стабильность частоты не хуже $\Delta f/f = 2 \times 10^{-6}$.
- Коэффициент «затягивания» F_3 уменьшен в 3 раза ($\Delta f_3 = 10$ МГц при КСВН нагрузки $\rho = 1,3$)
- Снижение выходной мощности в режиме стабилизации составило не более 15%.

Кроме того, на основе эшелеттного высокочастотного резонатора создана система количественной оценки внутримпульсной стабильности магнетрона по измерению девиации частоты с помощью скоростного запоминающего осциллографа [5]. В 60-е годы 20 века было предложено использовать в качестве «измерительного» гетеродина собственные колебания высокочастотного резонатора (Рис.5). При взаимодействии данного резонатора с импульсом генератора на экране осциллографа наблюдаются биения с периодом, стабильность длительности которого однозначно определяет стабильность частоты. Мы использовали в качестве измерительного такой же квазиоптический резонатор, как и в цепи стабилизации магнетрона. Осциллограмма выходного сигнала представлена на Рис. 6.

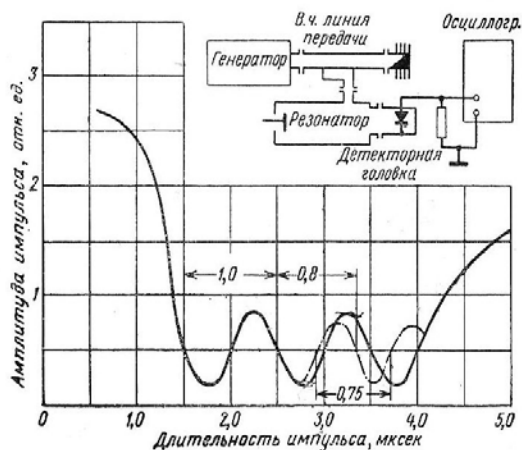


Рис. 5. Блок-схема измерения и вид измерительного сигнала (60-е годы)

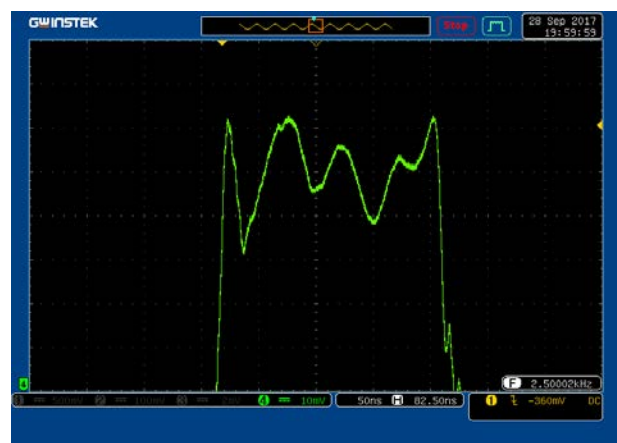


Рис.6. Выходной сигнал «биений»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных работ позволяют говорить о возможности существенного повышения информационных качеств «магнетронных» радиолокационных систем коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн за счет стабилизации частоты генерируемых колебаний. Возможна реализация режима селекции движущихся целей и когерентное накопление сигнала. Рассмотренные устройства для стабилизации импульсных магнетронов могут быть интегрированы в реальные конструкции корпусов магнетронов.

Библиографический список

1. И.П. Половков «Стабилизация частоты генераторов свч внешним объемным резонатором», Советское радио, г. Москва, 1967.
2. Н.И. Скрипкин, С.Л. Моругин «Магнетрон 3-миллиметрового диапазона длин волн на пространственной гармонике не π -вида колебаний» // ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ, г. Москва, 2016 г. №9, том 21.
3. Д.Е. Самсонов, «Основы расчета и конструирования магнетронов» // Советское радио, г. Москва, 1974 г.
4. О.И. Белоус, А.А. Кириленко, А.И. Фисун «Квазиоптические резонансные системы в приборах твердотельной электроники миллиметровых и субмиллиметровых длин волн» // РАДИОФИЗИКА И ЭЛЕКТРОНИКА, Том 13, спец.выпуск, 2008 г.
5. Под редакцией Ю.Н. Хлопова «Основы использования магнетронов» // Советское радио, г. Москва, 1967 г.