

Стабилизация частоты импульсных магнетронов W-диапазона.

Иванов И.М., Скрипкин Н.И., Шмелев А.В.

Отдел разработки магнетронов

АО «Плутон»

Москва, Россия

e-mail: n.skripkin@pluton.msk.ru

Аннотация – 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 внутриимпульсной 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 – W-диапазон, магнетрон с двумя выводами, эквивалентная схема генератора, стабилизирующий резонатор

I. ВВЕДЕНИЕ

Стабилизация генераторов W-диапазона возможна по известным техническим решениям [1,2]. Принимая во внимания, что импульсные магнетронные генераторы в коротковолновой части миллиметрового диапазона имеют несомненные преимущества по совокупности параметров (мощности, долговечности, технологичности изготовления) и в то же время понимая, что изменение генерируемой частоты и «неопределенность» начальной фазы колебаний от импульса к импульсу ограничивает эффективность передатчиков на основе магнетронов в сложных системах радиолокационных системах, следует рассмотреть возможность создания генераторов со стабилизацией частоты СВЧ колебаний.

II. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Наиболее эффективно стабилизация реализуется при применении магнетронов с двумя выводами – активным и реактивным (Рис.1).

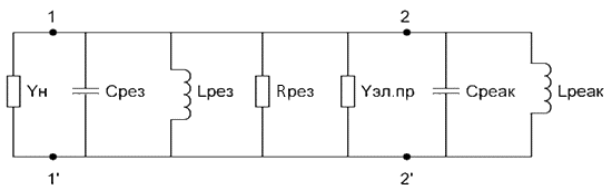


Рис.1. Эквивалентная схема генератора с двумя выводами.

Активная нагрузка Y_n подключена в плоскости $1 - 1'$, а реактивная нагрузка – в плоскости $2 - 2'$. $C_{рез}$, $L_{рез}$, $R_{рез}$ – «холодные» параметры собственной резонансной системы магнетрона. $C_{реак}$, $L_{реак}$ – параметры реактивной нагрузки (стабилизирующий резонатор). $Y_{эл.пр} = g + jb$ – полная электронной проводимость. Y_n – проводимость активной нагрузки.

При применении в качестве реактивной нагрузки высокодобротного резонатора в плоскости $2-2'$ 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 приближенно представлен в виде:

$$S \approx K \cdot (1 + Q_c / Q_0), \text{ где}$$

$K = f(\partial V / \partial \alpha) < 1$ – коэффициент дестабилизации, (V – реактивные проводимости схемы, α – параметр дестабилизации),

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 [3], являющимся элементом перестройки или стабилизации рабочей частоты магнетрона (Рис.5).

Исходные параметры магнетрона:

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

III. ВЫСОКОДОБРОТНЫЙ СТАБИЛИЗИРУЮЩИЙ РЕЗОНАТОР В РЕАКТИВНОМ ВЫВОДЕ

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

системы для W-диапазона. Результаты численного моделирования представлены на рисунках 2 и 3.

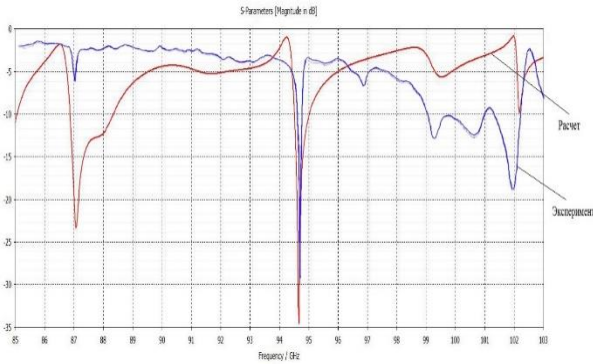


Рис.2. Расчетная и экспериментальная зависимость параметра S_{11} от частоты.

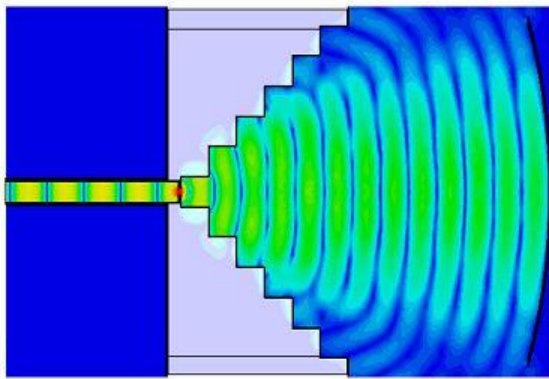


Рис.3. Распределение E-компоненты ВЧ поля в резонаторе.

Резонатор через прямоугольный или круглый волновод подсоединяется к реактивному выводу магнетрона и обеспечивает необходимую внутримпульсную 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 TEM_{0026} . Собственная добротность эшелеттной системы составляет не менее 7000. По результатам расчетов была изготовлена эшелеттная резонаторная система (Рис. 4) и проведены «холодные» измерения (рис. 2). Стабилизирующая система в сборе с магнетроном представлена на Рис. 5



Рис. 4. Компоненты эшелеттной резонаторной системы



Рис. 5. Магнетрон со стабилизирующим резонатором

«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 4 раза ($\Delta f_3 = 5$ МГц при КСВН нагрузки $\rho = 1,3$). При этом снижение выходной мощности в режиме стабилизации составило не более 15%. Кроме того, на основе эшелеттного высокодобротного резонатора создана система количественной оценки внутримпульсной стабильности магнетрона по измерению девиации частоты с помощью скоростного запоминающего осциллографа [5].

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.

[1] И.П. Половков «Стабилизация частоты генераторов свч внешним объемным резонатором», Советское радио, г. Москва, 1967.

[2] Д.Е. Самсонов, «Основы расчета и конструирования магнетронов», Советское радио, г. Москва, 1974.

[3] 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, №9, том 21.

[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.

[5] Под редакцией Ю.Н. Хлопова «Основы использования магнетронов», Советское радио, г. Москва, 1967.