

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА МЕР ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ НЕДОСТАТКОВ В РАБОТЕ МАГНЕТРОНА

Омиров А.А.¹, Чистяков К.И.¹, Скрипкин Н.И.²

¹ *Московский государственный институт электроники и математики*

E-mail: lmis@miem.edu.ru;

² *ОАО «Плутон».*

The methods of updating coaxial 2 cm wavelengths range magnetrons for increasing the stability of work parameters were described.

В специальной аппаратуре применяется генератор СВЧ энергии в виде коаксиального магнетрона 2 см диапазона длин волн. Целью работы является модернизация магнетрона, вызванная необходимостью обеспечить возросшие требования к стабильности работы прибора.

При испытаниях на холодоустойчивость магнетрона критерием оценки времени готовности изделия установлен выбег частоты. Практика использования магнетрона показала недостаточность такой оценки, поэтому были сформулированы дополнительные требования на магнетрон при испытаниях его на холодоустойчивость и проверку времени готовности.

Были сформулированы следующие задачи работы:

- определение факторов, влияющих на величину флуктуаций фронта импульса при испытаниях на холодоустойчивость;
- разработка конструктивно-технологических мероприятий для уменьшения среднеквадратической величины флуктуаций фронта импульса, улучшения частотной стабильности магнетрона.

Для выяснения картины поведения магнетрона существующей конструкции были проведены испытания по проверке работоспособности изделий в условиях минус 60°C с выдержкой 1 час.

Результаты испытаний следующие:

1. Практически все магнетроны после введения в номинальный режим имели величину среднеквадратических флуктуаций переднего фронта от 10 до 20нс.

2. На некоторых магнетронах в момент включения длительность ВЧ огибающей была существенно меньше, чем требовалось (вплоть до 0.25мкс вместо 0.5мкс). Соответственно, ширина спектра не соответствовала норме $2/\tau + 25\%$. После работы магнетрона в течение примерно $2 \div 3$ секунд длительность ВЧ огибающей приходила к значению 0.5мкс.

3. Практически все магнетроны при работе на частоте $f_{\text{макс}}$ при максимальном токе $I_{\text{а макс}}$ на КСВ 1,3 и фазе нагрузки имели пропуски ВЧ импульсов даже при испытаниях в нормальных климатических условиях.

Известно, что создание предпочтительных условий возбуждения рабочего вида колебаний определяется не только сохранением симметрии структуры ВЧ поля рабочего вида колебаний в пространстве взаимодействия, но и подавлением конкурирующих видов колебаний

устойчивых состояний (анодной замедляющей системы (АЗС) + стабилизирующего резонатора (СР)) [1]

В данной колебательной системе коаксиального магнетрона (КМ) главным конструктором было выбрано соотношение $D_n/D_v = 3$, где D_n – наружный диаметр СР, D_v – внутренний диаметр СР.

Все измерения, связанные с подавлением паразитных видов колебаний, проводились на средней f_{cp} и максимальной f_{max} частотах рабочего диапазона, что было связано с наличием неприятностей в работе магнетрона именно в этой части диапазона.

Основными конкурирующими видами колебаний в данной системе являются виды или их гармоники, ближайшие по потенциалу возбуждения к рабочему виду колебаний. Наиболее «опасными» являются длинноволновый π -вид первого типа (ДПВ I) и устойчивые колебательные состояния типов:

$$\{[\gamma = (N/2 - 1)] \leftrightarrow H_{121}\};$$

$$\{[\gamma = (N/2 - 3)] \leftrightarrow H_{311}\};$$

$$\{[\gamma = (N/2 - 4)] \leftrightarrow H_{411}\}.$$

Были измерены нагруженные добротности Q_n этих видов колебаний. Уровень нагруженных добротностей видов колебаний H_{311} и H_{411} составляет значения $Q_n = 180 \div 240$ единиц, что, на наш взгляд, абсолютно недостаточно для подавления этих видов.

Неудовлетворительная устойчивость работы магнетронов по пункту 2 поставило под сомнение степень подавления вида ДПВ I.

Факт наличия пропусков импульсов на максимальной частоте рабочего диапазона f_{max} и отсутствия их на минимальной f_{min} и средней f_{cp} частотах натолкнуло нас на проведение анализа правильности расстановки видов колебаний замедляющей системы относительно рабочего диапазона и величины связи рабочего вида колебаний с нагрузкой.

Оказалось, что расположение π -вида колебаний относительно рабочего диапазона частот (в центре диапазона) для существующей конструкции магнетрона является нежелательным и не удовлетворяет рекомендациям, изложенным в [1].

Измеренные значения внешней добротности рабочего вида колебаний в диапазоне перестройки на обследованных образцах составили: $Q_{вн} \sim 850$ единиц на минимальной частоте и $Q_{вн} \sim 650$ единиц на максимальной. Значения КСВ изменялись при этом от 2,0 до 3,5.

Была предпринята попытка создания конструкции магнетрона, в которой стабильностные характеристики, замеренные в нормальных климатических условиях и в любых других температурных условиях, разрешенных в ТУ при эксплуатации магнетрона, были одинаковыми в пределах точности измерений.

Известно, что длинноволновый π -вид колебаний ДПВ I, не связанный с выводом энергии, оказывает мешающее действие на возбуждение рабочего вида колебаний. Поэтому в коаксиальных магнетронах, где это возможно

конструктивно, используют комбинацию активного и реактивного способов подавления ДПВ I [2 - 4].

При реактивном способе подавления щели связи изготавливают разными (как правило, прямоугольными и гангельными) и создают группы щелей, расстроенных по частоте между собой, для разрушения пространственной гармоник ДПВ I.

В данной конструкции анодный блок имеет 17 щелей связи шириной 0,37мм на диаметре 12,5мм. Перемычка между щелями 1,9мм, поэтому создать группы щелей связи гангельного типа не представляется возможным, так как при этом резко уменьшится теплоотвод от анода и ухудшится механическая прочность анодного блока в целом.

При активном способе подавления используют, как правило, поглощающую керамику и располагают ее в местах с максимальным полем ДПВ I.

Была предпринята попытка увеличить степень подавления ДПВ I за счет уменьшения запасенной энергии в щелях связи за счет уменьшения их толщины, которая и определяет величину запасенной энергии, с 0.7мм в существующей конструкции до 0.5мм.

С такими анодными блоками было изготовлено и обследовано несколько магнетронов. При испытаниях на холодоустойчивость на всех изделиях изменение длительности ВЧ огибающей не наблюдалось. Характер работы магнетронов в нормальных климатических условиях и при температуре окружающей среды минус 60°C идентично по параметру «длительность ВЧ огибающей».

Однако недостатки работоспособности магнетрона, представленные в пунктах 1 и 3, этими мерами устранить не удалось.

Для уменьшения среднеквадратической величины флуктуаций переднего фронта необходимо было разработать конструкцию механизма перестройки с эффективным подавлением конкурирующих видов колебаний. Для этого была использована комбинация реактивного (пазы на кольцо настройки) и активного (поглощательная керамика) способов подавления. По идеологии, изложенной в [5, 6], изготовили кольцо перестройки следующей конструкции, показанной на рисунке 1.

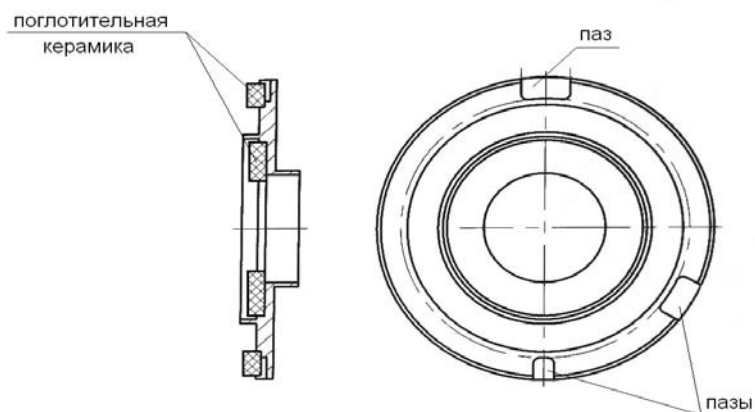


Рис. 1. Кольцо перестройки разработанной конструкции.

Неоднородности в виде пазов на кольце настройки разрушают структуры поля обеих составляющих дублета видов колебаний H_{411} и H_{311} [7]. Поворотом механизма перестройки вокруг оси достигается связь составляющих дублета с выводом энергии, которая обеспечивает дополнительное нагружение. Керамики, расположенные в местах максимумов полей H_{411} и H_{121} , поглощают энергию конкурирующих видов.

Помимо внесенных реактивностей, на кольце перестройки была введена поглотительная керамика в места максимальной амплитуды полей паразитных видов колебаний.

На кольце настройки устранен дефект конструкции, создающий замкнутый непрокачиваемый объем, а также улучшено подавление вида H_{121} уменьшением внутреннего диаметра поглотительной керамики и увеличением внутреннего диаметра кольца перестройки.

Были проведены измерения нагруженных добротностей конкурирующих видов колебаний в диапазоне перестройки с предложенным механизмом перестройки. Нагруженную добротность удалось уменьшить до значений менее $Q_n < 120$ единиц.

С такими параметрами была изготовлена партия магнетронов в количестве 5шт, на которых проводились испытания в объеме ПСИ по проверке устойчивости работы магнетронов в нормальных климатических условиях и времени готовности при температуре окружающей среды минус 60°C . Критерием годности являлась оценка среднеквадратической величины флуктуаций фронта ВЧ огибающей. Величина флуктуаций при испытаниях на всех магнетронах не превышала 5нс.

Пропуски ВЧ импульсов при работе магнетрона на $f_{\text{макс}}$ при КСВ = 1,3 на фазе нагрузки мы связываем с неправильной расстановкой π -вида колебаний относительно рабочего диапазона перестройки и с большой связью рабочего вида колебаний с нагрузкой (КСВ до 3,5). Корректировка частоты π -вида колебаний осуществлялась за счет уменьшения диаметра по лопаткам АЗС. Полученное значение частоты на $\sim 100\text{МГц}$ выше максимальной частоты рабочего диапазона. Уменьшение связи рабочего вида колебаний и перепада добротностей Q_n по диапазону перестройки конструктивно выполнено за счет уменьшения щели связи стабилизирующего резонатора. Нагруженную добротность рабочего вида удалось поднять по диапазону до величины $Q_n = 650 \div 700$ единиц.

Предложенный комплекс конструктивных решений позволил:

1. Обеспечить соответствие требованиям при испытаниях на холодоустойчивость при температуре минус 60°C и выдержке 1 час и установить нормы на величину среднеквадратических флуктуаций фронта импульса 10нс.
2. Уменьшить перепад мощности по диапазону перестройки
3. Снизить вероятность пропусков импульсов в коротковолновой части диапазона.

Проведенный анализ и разработка конструктивных решений могут быть распространены на другие типы коаксиальных магнетронов, как вновь разрабатываемых, так и находящихся в серийном производстве.

1. Э. Д. Шлифер. «Расчёт и проектирование коаксиальных и обращено-коаксиальных магнетронов», Издательство МЭИ, Москва, 1991г.
2. «Приборы СВЧ М-типа с подавлением нежелательных видов колебаний», ОНТЭИ, 1971г.
3. А. А. Гурко, Н. И. Скрипкин. «Эскизный проект по теме «Бархат-3»», 1976г.
4. А. А. Гурко. «Научно-технический отчет по теме «Бархат-К»», 1985г.
5. А. А. Гурко, Н. И. Скрипкин. «Научно-технический отчет по теме «Базилик»», 1979г.
6. А. А. Гурко, Н. И. Скрипкин. «Научно-технический отчет по теме «Бархат-1Д»», 1977г.
7. В. Б. Штейншлейгер. «Явления взаимодействия волн в электромагнитных резонаторах», Государственное издательство оборонной промышленности, Москва, 1955г.