

Особенности проектирования магнитных фокусирующих систем на постоянных магнитах для малогабаритных электровакуумных приборов

Представлены результаты разработки двух малогабаритных магнитных систем с различной компоновкой постоянных магнитов. Сформулированы основные проблемы, проявившиеся при их изготовлении и настройке, и намечены пути их решения.

Ключевые слова: постоянный магнит, термостабильность, термостойкость, магнитная текстура

Одной из последних тенденций развития электровакуумных приборов СВЧ это освоение мм-диапазона длин волн с целью составления конкуренции твердотельным приборам. Снижение массовых и габаритных характеристик таких приборов при этом выдвигается в первую очередь. Такие приборы востребованы для бортовых комплексов систем вооружения, либо для мобильных комплексов РЛС. Соответственно, требования к массе и габаритам применяемых в них магнитных систем существенно изменяются в меньшую сторону.

На первый взгляд, исходя из принципа подобия в магнитостатике, проблем с проектированием подобных магнитных систем не должно появляться. Но это не совсем так. Помимо требований к энергетическим характеристикам материала постоянных магнитов ужесточается и еще ряд требований. Так снижение габаритов прибора влечет за собой более высокие требования по однородности распределения магнитного поля в рабочих каналах прибора. Магнитная система располагается ближе к области взаимодействия, соответственно, все неоднородности постоянных магнитов не могут быть нивелированы магнитомягкими частями изделия. Кроме того, тепловые нагрузки на материал постоянных магнитов так же растут, что выдвигает ряд дополнительных требований к термостабильности и термостойкости (ОТКИ, jHc) [1], [2].

Особенности проектирования магнитных систем малогабаритных ЭВП СВЧ продемонстрируем на примере разработки описанных ниже МФС.

По техническому заданию Заказчика нашими специалистами была проведена разработка МФС для малогабаритного клистрона, планирующегося к использованию в системе АФАР.

Магнитная фокусирующая система предназначена для фокусировки многолучевого электронного потока со следующими параметрами:

- количество электронных лучей 37;
- анодное напряжение 2,0 кВ;
- микропервеанс одного луча 0,8 мкА/В^{3/2};
- суммарный ток 2,6 А;
- радиус пролетных каналов 0,4 мм;
- тип магнитной фокусирующей системы однореверсная;

Значение продольной составляющей магнитной индукции на оси пролетных каналов в центре первого и второго рабочих зазоров должны находиться в диапазоне 1670 ± 20 Гс и

1750 + 20 Гс соответственно. Максимальная неоднородность продольной составляющей магнитной индукции на оси периферийных каналов в рабочих зазорах, исключая зоны реверса, не более 3%. Максимальное значение радиальной составляющей магнитной индукции на оси периферийных каналов, исключая зоны реверса, не более 30 Гс.

В силу широкого диапазона рабочих температур и требований по термостабильности параметров поля в качестве материала постоянных магнитов был выбран сплав $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$. Геометрия магнитной системы, полученная в результате оптимизации геометрических параметров показана на рис.1

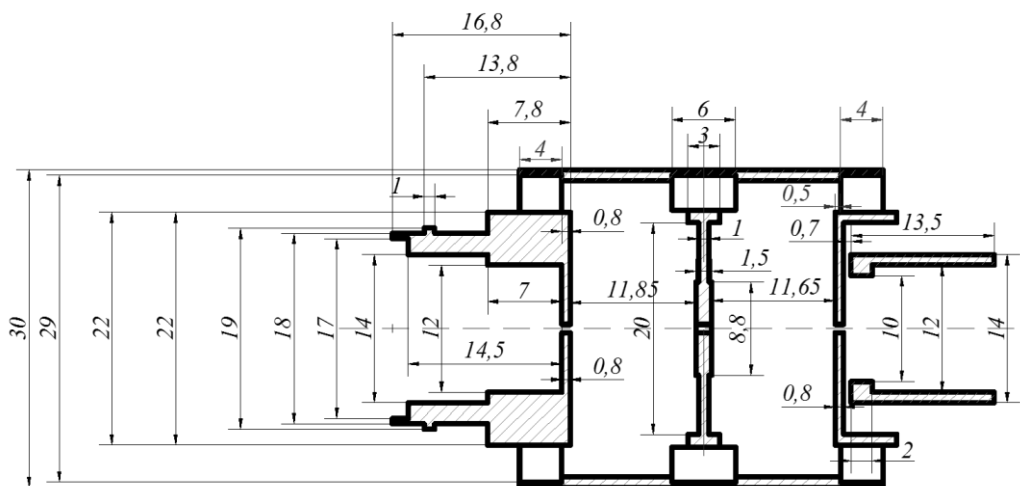


Рисунок 1.

Внешний вид и конструкция магнитной системы, пакетированной с прибором, показан на рис.2.



Рисунок 2.

Следует отметить следующую особенность, связанную с миниатюрными размерами прибора. Из соображений удобства армировки магнитной системы на прибор, угол секторных постоянных магнитов был выбран равным 60° . В силу близости магнитов к пролетным каналам по результатам оценки потерь магнитного потока было принято решение не использовать «псевдорadiaльную» текстуру магнитного материала, а изготовить весь

комплект технологической оснастки для обеспечения полностью радиальной магнитной текстуры секторов, входящих в кольцо. При этом оказалось, что использовать стандартные технологии для производства магнитов с такими малыми размерами и отработанные технологические приемы и методы, пригодные для традиционных МФС нельзя, т.к. получаемые системы не удовлетворяют выдвигаемым к МФС требованиям. На рис.2 показаны зазоры между магнитами, которых удалось избежать только после дополнительной технологической проработки.

В целях снижения габаритных размеров иногда используют магнитные фокусирующие системы с постоянными магнитами с продольным намагничиванием. В частности, такие решения используют в лампах бегущей волны (ЛБВ).

Подобное решение, например, использовано нашими специалистами при разработке малогабаритной магнитной системы для ЛБВ. Геометрия магнитной системы показана на рис.3.

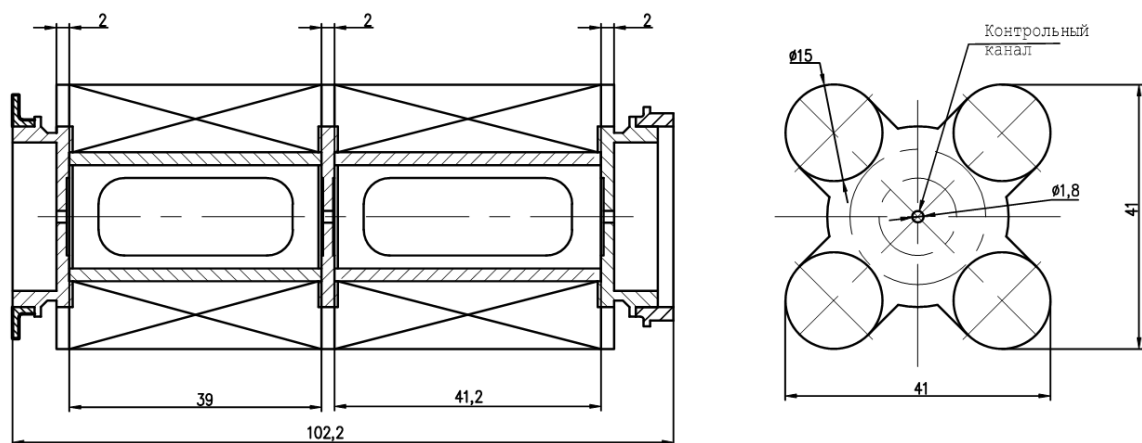


Рисунок 3.

Масса магнитов системы составляет 476 г. Для сравнения альтернативный вариант реализации магнитной системы с радиально намагниченными магнитами приводит к увеличению внешнего габарита до 96 мм и росту массы постоянных магнитов до 880 г.

Но, следует заметить, что в силу малых габаритов изделия любые неоднородности в намагниченности постоянных магнитов при продольной намагниченности более критичны и приводят к увеличению поперечной расфокусирующей составляющей магнитного поля. Данный факт необходимо учитывать при подборе постоянных магнитов для магнитной системы [3].

В заключение можно сказать, что проектирование и производство магнитных систем для малогабаритных электровакуумных приборов имеет ряд особенностей и требует более глубокой технологической проработки всех этапов создания [4]. Основные направления дальнейших исследований – это увеличение энергии постоянных магнитов при одновременном сохранении параметров термостабильности и термостойкости, обеспечение обоснованных требований к технологическому процессу с точки зрения достижения однородности и повторяемости геометрических и гистерезисных параметров постоянных магнитов.

Библиографический список

1. Лукин А.А., Дормидонтов А.Г. Магнитотвердые материалы РЗМ-Co-Fe-M с повышенной температурной стабильностью // «Радиотехника», 2001 г., №2, стр. 87-93
2. Steve Constantinides, Dale Gulick NdFeB for High Temperature Motor Applications//SMMA Fall Technical Conference, November 3-5, 2004
3. Сергеев К.Л., Лукин А.А, Акимов П.И., Козырев Д.В. Методы снижения уровня радиальной составляющей магнитной индукции на оси рабочих каналов магнитных фокусирующих систем электровакуумных приборов // «Прикладная физика», №3, 2010, с.79-83
4. Акимов П.И., Бынин А.Г., Евсеев М.П., Козырев Д.В.,Сергеев К.Л., Терентьев Д.А., Фрейдович И.А. «Особенности проектирования магнитных систем для сверхминиатюрных электровакуумных приборов при отсутствии аксиальной симметрии» // IX Всероссийский семинар "Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики", ФГУП «НПО Орион», Москва 2009 г, Тезисы докладов, стр. 66.