

Модернизация конструкции магнитной системы для спиральной ЛБВ X-диапазона частот

Е.А. Богомолова, А.В. Галдецкий, Н.М. Коломийцева

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

Аннотация: Рассмотрены вопросы, связанные с различными аспектами фокусировки протяженных интенсивных электронных трубчатых пучков магнитными периодическими полями. Представлена конструкция магнитной системы для ЛБВ X-диапазона частот, улучшающая фокусировку электронного потока в статическом режиме. Представлены результаты исследования магнитной периодической фокусирующей системы.

Ключевые слова: трубчатый электронный поток, спиральная замедляющая система, ЛБВ, магнитная периодическая фокусирующая система

1. Введение

В современных мощных СВЧ-усилителях типа лампы бегущей волны (ЛБВ) зачастую используются магнитные периодические фокусирующие системы (МПФС), которые существенно уменьшают массогабаритные параметры прибора. При разработке приборов с такими магнитными системами приходится решать задачи, связанные с поиском структуры распределения продольной и поперечной составляющих магнитного поля и основных геометрических параметров МПФС, обеспечивающих требуемое распределение магнитного поля [1].

В настоящей работе рассмотрена возможность улучшения токопрохождения в спиральной ЛБВ X-диапазона частот с МПФС за счет введения конструктивных элементов в систему, обеспечивающих распределение магнитного поля в области катода с амплитудой более 30 Гс. Приведены результаты исследования предложенной конструкции магнитной системы и траекторного анализа при фокусировке ею электронного потока.

Электронно-оптическая система (ЭОС) прибора содержит кольцевой катод, формирующий трубчатый электронный поток (ТЭП) с током 420 мА при напряжении анода 9 кВ (рис. 1).

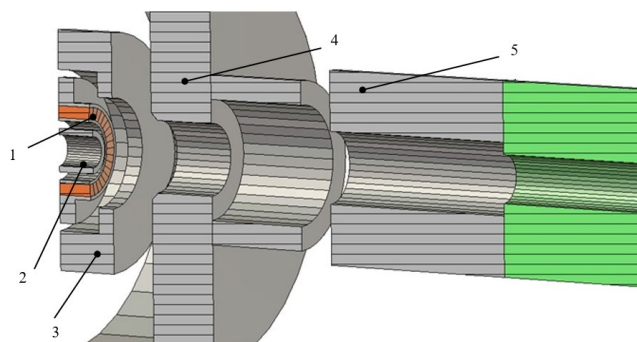


Рисунок 1. Модель ЭОС прибора: 1 – кольцевой катод, 2 – центральный штырь, 3 – фокусирующий электрод, 4 – первый анод и 5 – анод.

Фокусировка ТЭП осуществляется в периодическом магнитном поле с 3-й гармоникой. Базовая конструкция МПФС состоит из аксиально-намагниченных кольцевых магнитов (30 шт.), полюсных наконечников (15 шт.) и ферромагнитных вставок (14 шт.). Магниты с внутренним и внешним диаметрами 8 мм и 17 мм

соответственно, толщиной 3 мм в каждой двух соседних ячейках имеют противоположную намагниченность и выполнены из самарий-кобальта. На рисунке 2 представлена расчетная кривая распределения осевой компоненты магнитной индукции в рабочем зазоре ~ 193 мм.

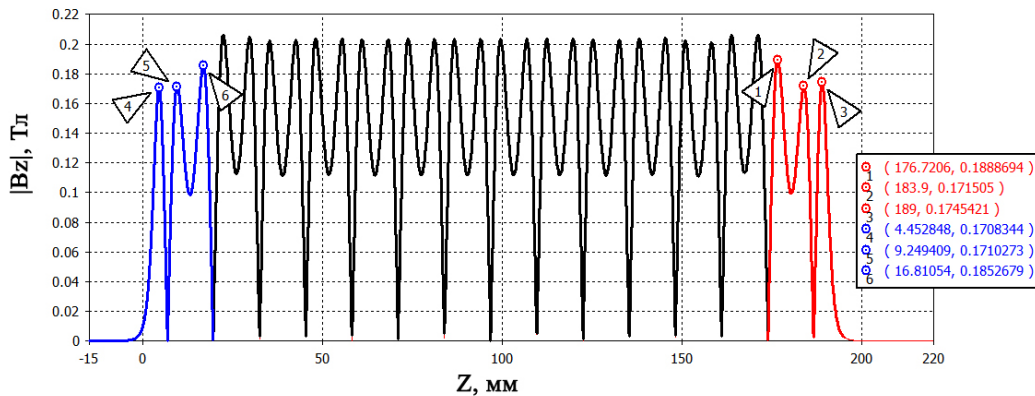
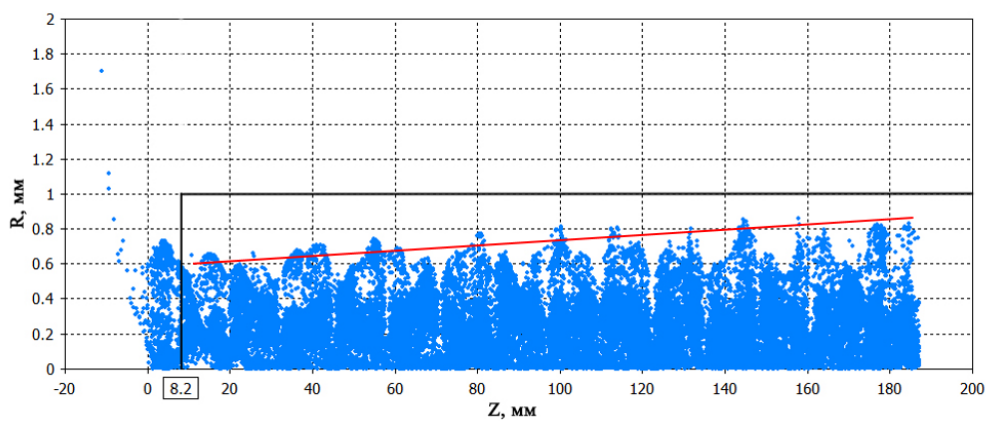


Рисунок 2. Несинусоидальное распределение осевой компоненты магнитной индукции $|B_z|$ в рабочем зазоре.

Маркеры 1-3 (рис. 2) определяют значение магнитной индукции для пиков В28-В30 в области коллектора, а маркеры 4-6 (рис. 2) – для пиков В1-В3 в области катода. Амплитуда магнитного поля в регулярной части составляет 0.2 Тл. Магнитное поле на катоде отсутствует.

Распределение частиц ТЭП по радиусу на длине 180 мм в статическом режиме представлено на рис. 3а. Радиус пролетного канала a составляет 1 мм. Анализ рис. 3а показывает, что ТЭП имеет средний радиус 0.55 мм. Отсутствие магнитного поля на катоде приводит к перемешиванию электронного потока после прохождения первого анода (рис. 3б). В пролетном канале электронный поток становится сплошным, при этом приосевые трубки тока имеют большой угол отклонения, что приводит к расширению потока и увеличению пульсаций в области влета в коллектор, создавая в динамическом режиме тепловую нагрузку на внутреннюю поверхность пролетного канала.



а)

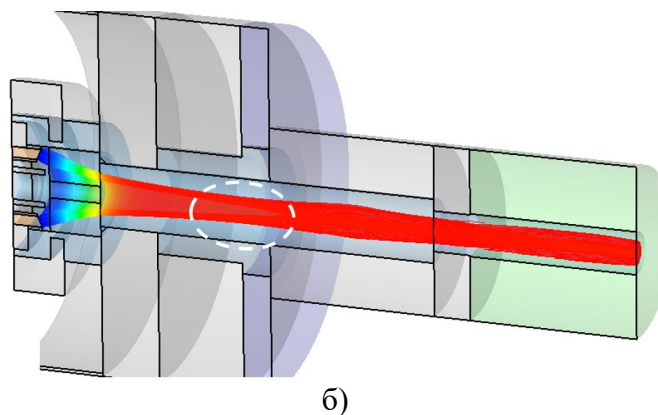


Рисунок 3. а) распределение частиц ТЭП по координате Z от радиуса R ($a=1$ мм); б) траектории ТЭП в ЭОС.

Несмотря на 100% токопрохождение на коллектор в статическом режиме (рис. 3а), необходимо уменьшить динамическое токооседание, а также получить трубчатую структуру электронного потока на всей длине пролетного канала. Для достижения поставленной цели требуется модернизировать базовую конструкцию магнитной системы, для получения магнитного поля на катоде.

2. Модернизация конструкции магнитной периодической фокусирующей системы

Известны конструкции магнитных систем, в которых магнитное поле в области катода обеспечивается за счет пушечного магнита [2-4]. К недостаткам подобных конструкций относится наличие магнита в области электронной пушки, который создает значительные поля рассеяния, добавляя трудности при настройке и эксплуатации СВЧ-прибора. Кроме того, значительно увеличиваются массогабаритные параметры прибора.

Предложена конструкция магнитной системы (рис.4), технический результат которой состоит в улучшении токопрохождения электронного потока, уменьшении тепловой нагрузки на замедляющую систему и увеличении уровня выходной мощности ЛБВ при сохранении габаритов.

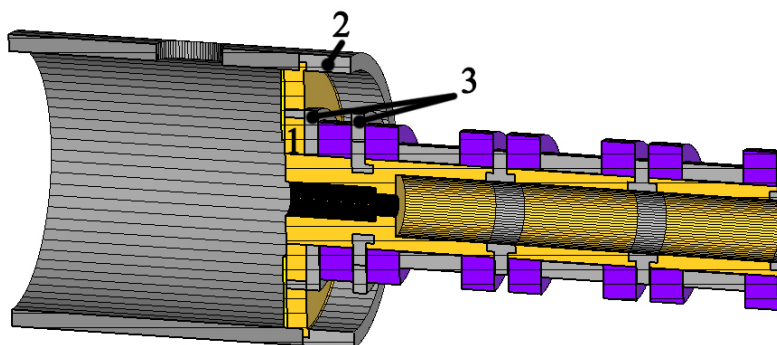


Рисунок 4. Поперечный разрез конструкции МПФС для ЛБВ X -диапазона: 1 – медная деталь; 2 – стальная деталь и 3 – «Г-образные» стальные ступицы первого магнита.

Торцевая стенка магнитного экрана («1» рис. 4) выполнена из немагнитного материала, а сам экран («2» рис. 4) выдвинут в сторону периодической системы на 4.6 мм. Конструктивные изменения позволили регулировать амплитуду магнитного поля в области катода намагниченностью только первого магнита в системе. Для исключения влияния остальных магнитов, необходимо модифицировать первые два полюса, окружающие первый магнит со стороны электронной пушки. В поперечном

сечении полюса выполнены «Г-образной» формы («3» рис.4), где первый полюс обращен «носиком» к катодному полюсу, а второй – к центру периодической системы, остальные полюса системы имеют геометрию от базовой конструкции. Для сохранения технологического процесса изготовления и сборки МПФС все магниты в системе имеют одинаковые размеры. Для получения требуемого распределения осевого магнитного поля первый магнит имеет намагниченность $B_1 = 0.98$ Тл, второй и третий – $B_2 = B_3 = 0.66$ Тл, в регулярной части – 0.8 Тл.

Для оценки чувствительности амплитуды магнитного поля на катоде к изменению величины намагниченности первого и ближайших магнитов периодической системы проведено численное моделирование (рис. 5).

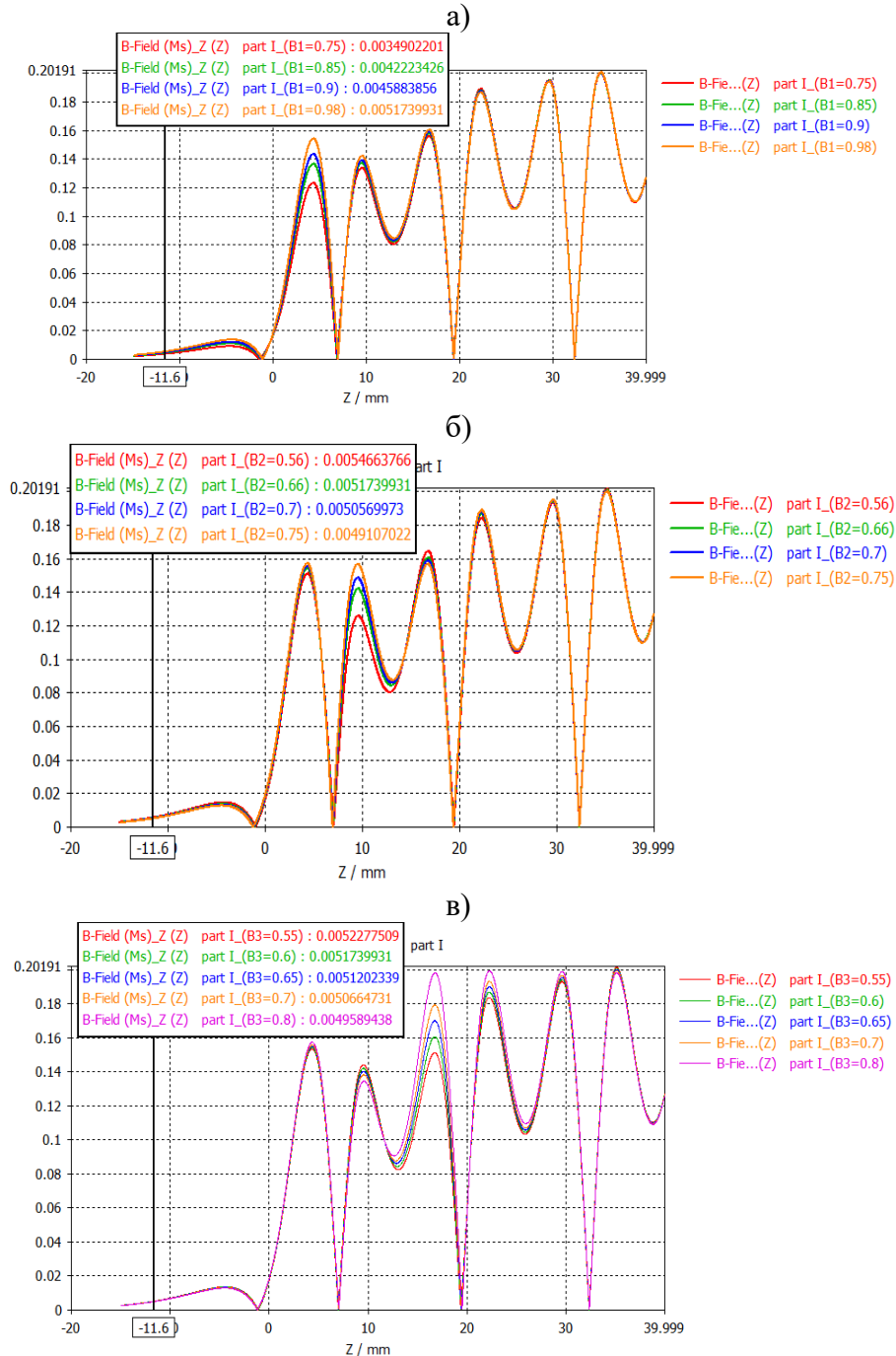


Рисунок 5. Несинусоидальное распределение осевой компоненты магнитной индукции $|B_z|$ в рабочем зазоре при изменении намагниченности: (а) B_1 от 0.75 до 0.98 Тл; (б) B_2 от 0.56 до 0.75 Тл; (в) B_3 от 0.55 до 0.8 Тл.

Анализ результатов, представленных на рис.5, показывает, что амплитуда магнитного поля на катоде в основном определяется за счет намагниченности первого магнита и имеет чувствительность к изменению B_1 33%. Влияние на величину магнитного поля на катоде при изменении B_2 и B_3 составляет 10% и 5.1% соответственно.

Таким образом, в предложенной конструкции стало возможным обеспечить требуемые распределение и амплитуду магнитного поля в области катода ~ 50 Гс, для получения ТЭП (рис. 6).

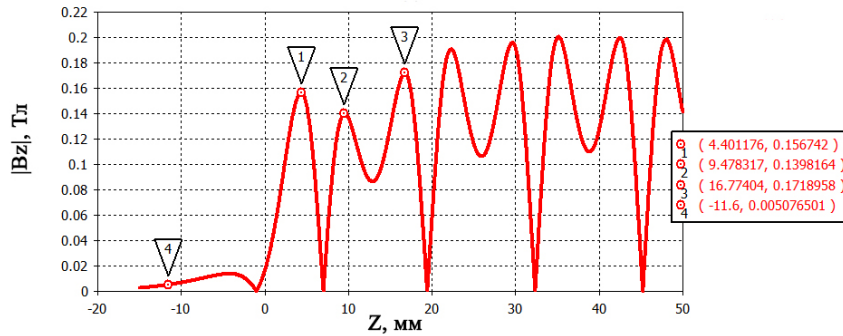


Рисунок 6. Несинусоидальное распределение осевой компоненты магнитной индукции $|B_z|$ в рабочем зазоре

Маркеры 1-3 (рис. 6) определяют значение магнитной индукции для пиков B_1 - B_3 в переходной области катода, а маркер 4 (рис. 6) – амплитуду магнитного поля на координате, соответствующей положению катода. Амплитуда магнитного поля в регулярной части составляет 0.2 Тл. Магнитное поле на катоде – более 50 Гс.

3. Траекторный анализ трубчатого электронного потока

Траекторный анализ электронного потока показал, что в пролетном канале транспортируется ТЭП с минимальными пульсациями (рис. 7). Конструкция магнитной системы с «Г-образными» ступицами толщиной 1.2 мм, где для первой ступицы длина «носика» составляет 1.8 мм толщиной 0.75 мм, а для второй – 0.7 мм толщиной 0.75 мм, обеспечивает магнитное контролируемое поле в области катода более 40 Гс.

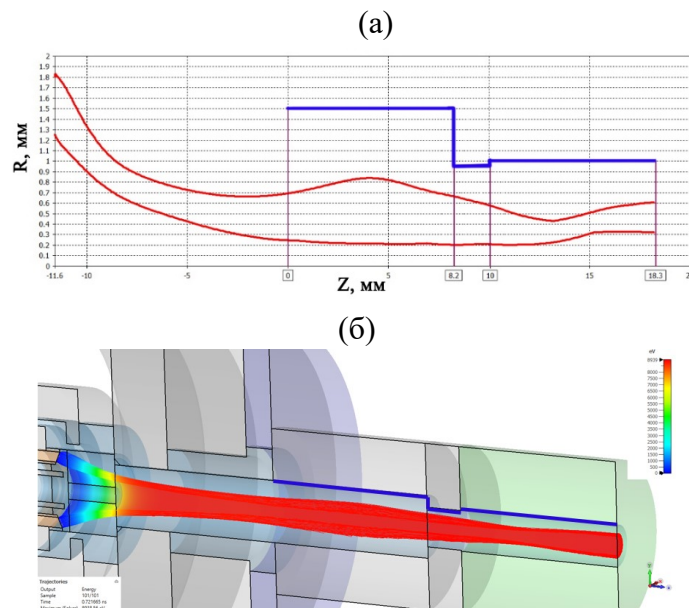


Рисунок 7. а) огибающая ТЭП по координате Z от радиуса R ($a = 1$ мм); б) траектории ТЭП в ЭОС. Синим цветом обозначен внутренний контур анодного блока.

4. Заключение

Проведена модернизация конструкции МПФС, благодаря которой достигается контролируемое магнитное поле в области катода с амплитудой более 30 Гс. Изменения коснулись процесса изготовления и сборки катодного магнитного полюса, экрана и первых двух полюсов системы.

Предлагаемая конструкция МПФС обладает следующими преимуществами: улучшение токопрохождения в СВЧ-приборе, и как следствие увеличение выходной мощности и улучшение теплового режима прибора, упрощение его настройки и эксплуатации, при сохранении массогабаритных параметров.

Список литературы

1. С.П. Морев, Д.А. Комаров, А.Н. Дармаев и др. «О взаимосвязи геометрических размеров ячейки фокусирующей магнитной системы и сложной периодической структуры формируемого ею магнитного поля», материалы XVII Координационного научно-технического семинара по СВЧ технике, Нижний Новгород, 6-8 сентября, 2011 г., стр. 47-79.
2. А.Д. Родионов, Х.Г. Загипуллина «Магнитная фокусирующая система», Авторское свидетельство № 656129 H01J23/08 от 05.04.79
3. Francis James Weaver, Great Baddow et. all «Magnetic focusing systems for travelling wave tubes», Патент № 2965782, US от 20.12.1960
4. Ryuzo Orui, « Magnetic focusing device for an electron tube», Патент № 3252033, US от 17.05.1966