

Физическая аппаратура

УДК 538.6

Магнитные системы на основе магнитотвердых сплавов ниодима с железом и бором

П. И. Акимов, Д. В. Козырев, Ю. В. Лаврентьев, Д. А. Терентьев,
С. В. Сергеев, К. Л. Сергеев

Рассмотрены преимущества и различные возможности проектирования и разработки магнитных систем на основе сплавов Nd—Fe—В для мощных электровакуумных приборов СВЧ. Приведены примеры использования магнитов из указанных сплавов для изделий иного назначения.

PACS: 81.05.-t

Ключевые слова: магнитные системы, СВЧ, сплав, электровакуумный прибор.

Введение

Преимущества использования магнитных систем (МС) на основе постоянных магнитов (ПМ) вместо электромагнитов в различных технических устройствах очевидны и неоспоримы. Наиболее перспективными для изготовления ПМ являются на сегодняшний день магнитотвердые материалы из сплавов неодима с железом и бором.

Основные достоинства применения подобных сплавов по отношению к другим, традиционно используемым в отечественной промышленности (в частности, применяемым для электровакуумных приборов СВЧ-систем на основе сплавов самарий—кобальт), заключаются в больших удельных величинах магнитной энергии в сочетании с более низкой стоимостью исходных материалов. В предлагаемой работе представлены материалы по проектированию и разработке МС на основе сплавов

Nd—Fe—В для мощных электровакуумных приборов СВЧ и приведены примеры использования магнитов из указанных сплавов для изделий иного назначения.

Магнитные фокусирующие системы

Опыт разработки мощных клистронов, накопленный на предприятии ФГУП «НПП "Торий"», убедительно продемонстрировал возможность использования для транспортировки электронных пучков в подобных приборах магнитных фокусирующих систем (МФС) на ПМ, включая реверсные конструкции. При этом наибольшего эффекта удалось достичь при применении таких МФС в пакетированных конструкциях многолучевых клистронов [1], позволив в итоге создать уникальные по сочетанию массогабаритных и выходных параметров усилители СВЧ-мощности.

Так, например, представленные на рис. 1 безреверсные МС на ПМ позволяют получать достаточно высокие величины индукции магнитного поля при значительно меньшей массе, чем аналогичные системы на соленоиде.

Однако безреверсные системы выгодно использовать только при незначительной протяженности пролетных каналов электронно-лучевого прибора. Для организации магнитного сопровождения электронного потока на большей протяженности применяются реверсные МС на ПМ (рис. 2).

Увеличение числа реверсов обеспечивает эффективную магнитную транспортировку пучка на достаточно большие расстояния (рис. 3).

Акимов Павел Иванович, начальник отдела,
д-р физ.-мат. наук

Козырев Денис Васильевич, начальник лаборатории,
д-р физ.-мат. наук

Лаврентьев Юрий Вячеславович, начальник лаборатории.
Терентьев Денис Алексеевич, старший научный сотрудник.
ФГУП «НПП "Торий"».

Россия, 117393, Москва, ул. Обручева, 52.

E-mail: torlab107@mail.ru

Сергеев Сергей Владимирович, генеральный директор.

Сергеев Константин Леонидович, главный конструктор.

ООО «НПК "Магниты и магнитные системы"».

Россия, 127238, Москва, Дмитровское шоссе, 58.

E-mail: klsergeev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 6 июня 2009 г.

© Акимов П. И., Козырев Д. В., Лаврентьев Ю. В.,
Терентьев Д. А., Сергеев С. В., Сергеев К. Л., 2010

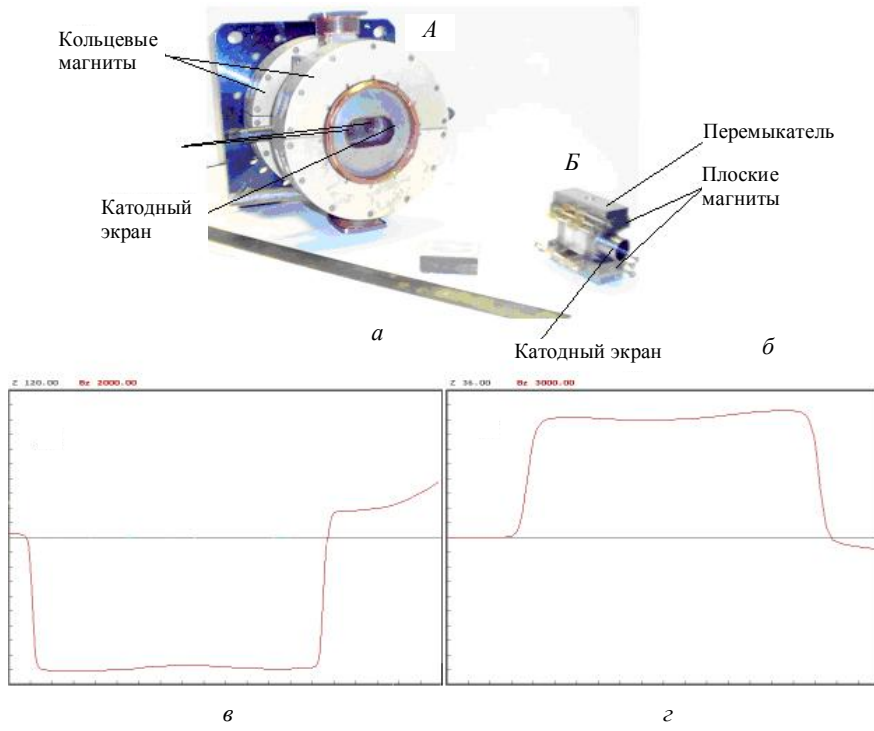
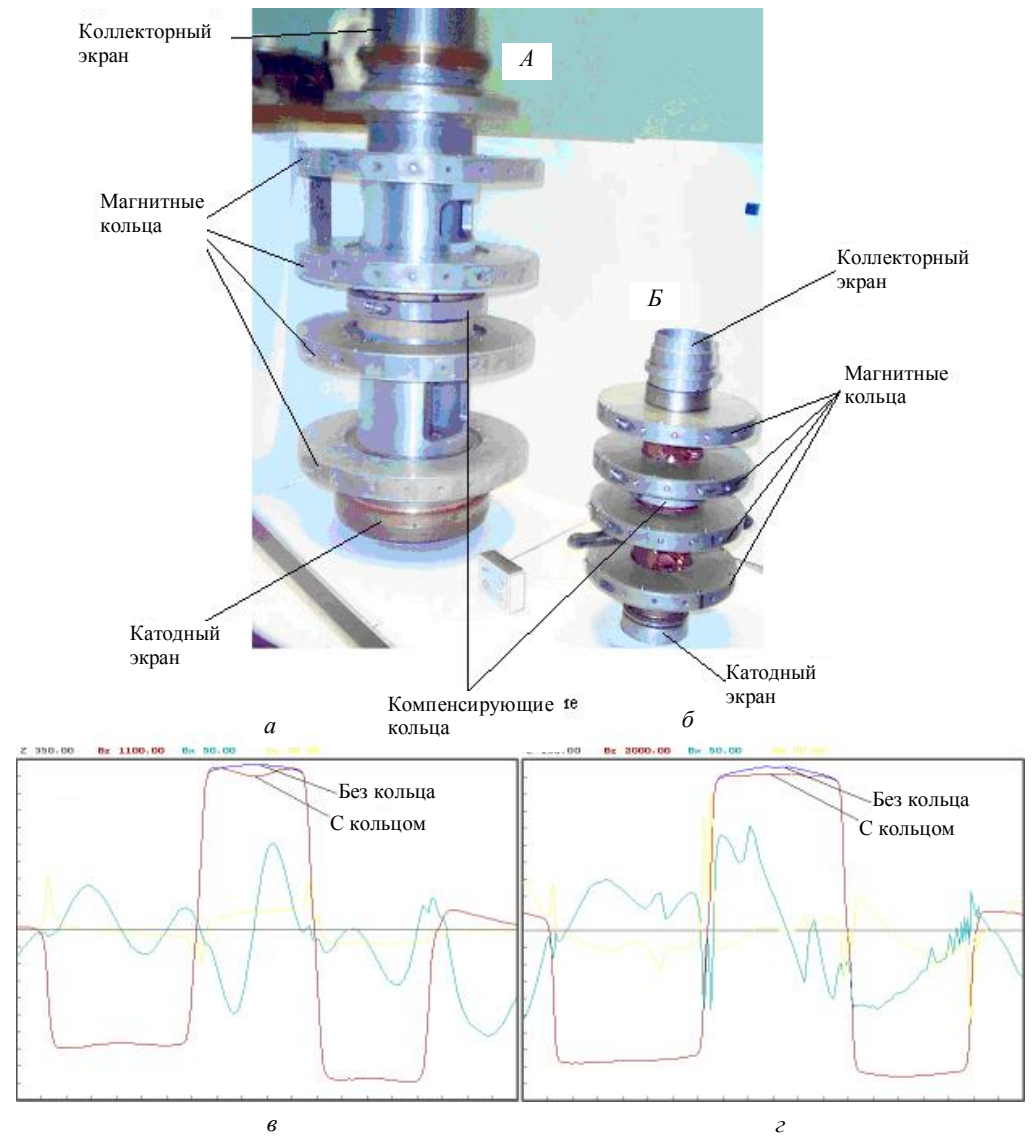


Рис. 1. Магнитные системы с постоянным магнитным полем для многолучевых клистронов:
a — двухствольного (вариант А);
б — сверхминиатюрного (вариант Б);
в — с магнитными полями на длине 120 мм (вариант А);
г — с магнитными полями на длине 34 мм (вариант Б)

Рис. 2. Двухреверсные МС с компенсирующими кольцами для многолучевых клистронов.
 Магнитные поля систем с X- и Y-компонентами радиальной составляющей магнитного поля.
 (Продолжительность участка магнитной транспортировки 350 мм (А) и 150 мм (Б)):
a — вариант А;
б — вариант Б;
в — с продолжительностью участка магнитной транспортировки 350 мм (вариант А);
г — то же, 150 мм (вариант Б)



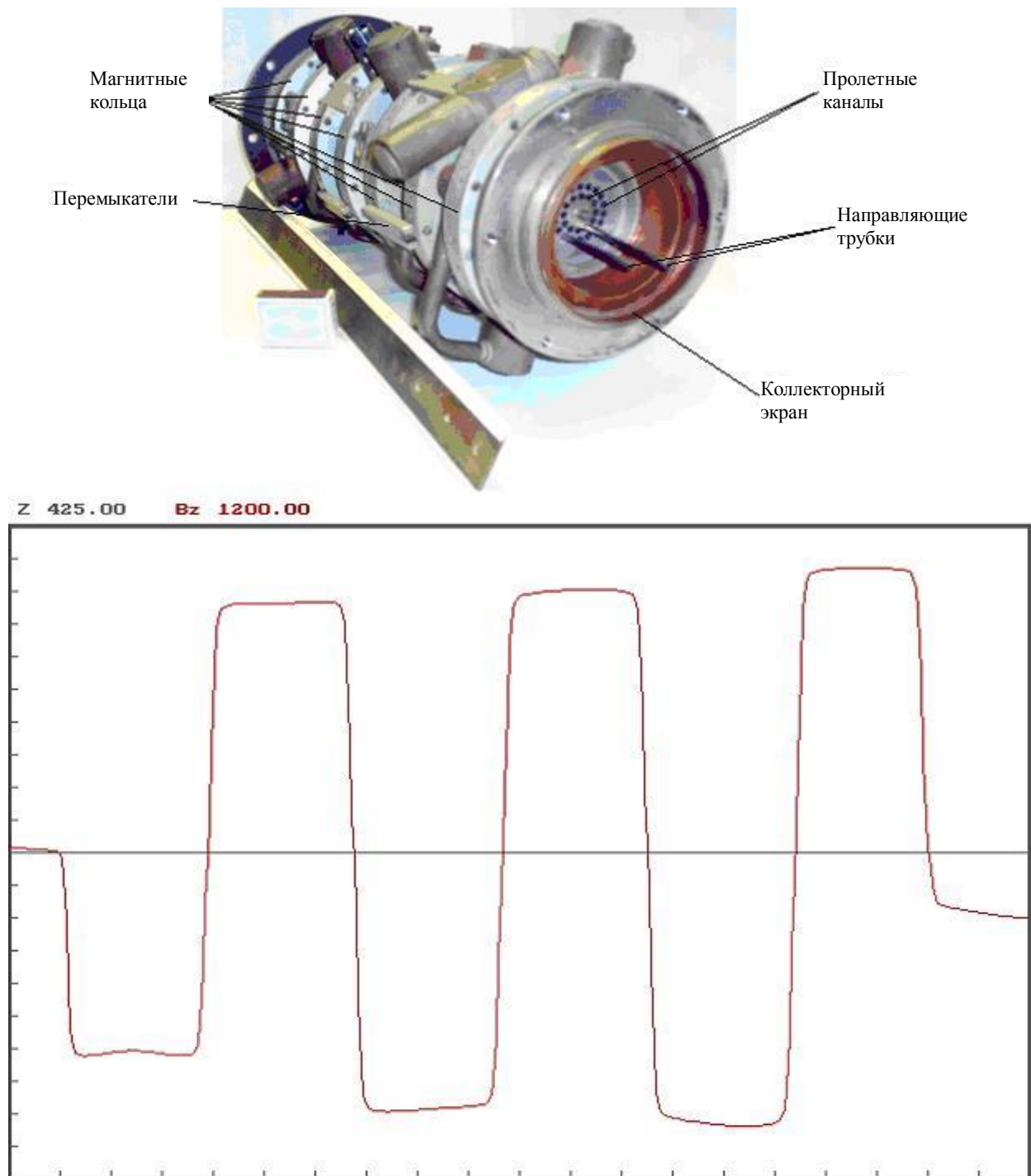


Рис. 3. Пятиреверсная МС мощного электронно-лучевого прибора на имитаторе, выполненном из резонаторного блока прибора с магнитным полем, создаваемым на расстоянии 425 мм

Проведенные исследования поведения электронного пучка в магнитном поле МФС на постоянных кольцевых радиально намагниченных магнитах позволяют выработать подходы по оптимизации токопрохождения в приборе уже после окончательной сборки МС.

Один из действенных способов изменения величины продольной составляющей индукции магнитного поля — использование внешних магнитопроводов (перемыкателей). Применение перемыкателей внешнего магнитного потока дает воз-

можность изменять значение поля индукции на однородном участке без перемагничивания самих магнитов.

В качестве опытного образца для исследования была выбрана МФС многолучевого клистрона с установленными на ней перемыкателями из магнитомягкого материала. Перемыкатели устанавливали, как показано на рис. 4, а, для увеличения продольной составляющей индукции магнитного поля на последнем однородном участке.

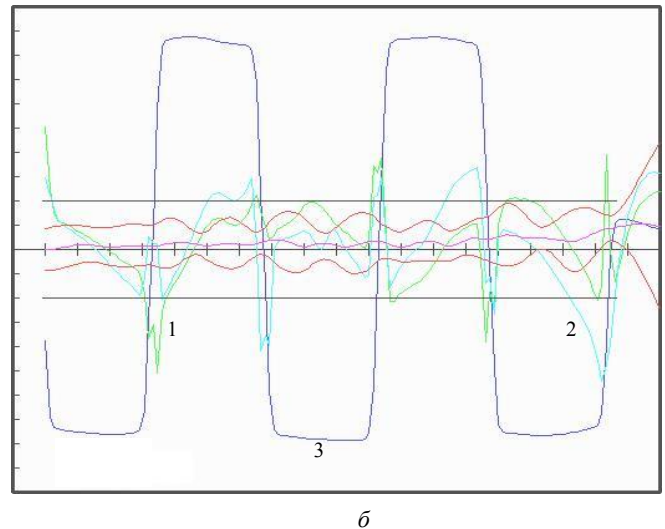
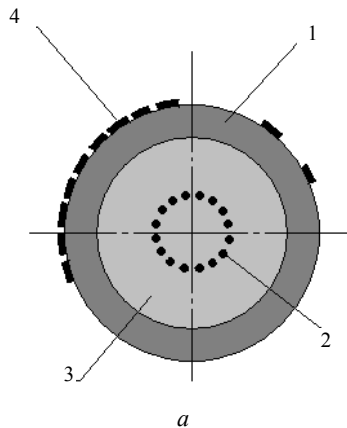


Рис. 4. Исходное расположение перемычек по поверхности магнитных колец:

a — схема: 1 — магнитное кольцо; 2 — пролетные каналы; 3 — полюсные наконечники;

4 — перемычки (внешние магнитопроводы);

б — магнитное поле и прохождение электронного пучка через пролетный канал исходной МФС: 1 — B_x ; 2 — B_y ; 3 — B_z

На автоматизированном измерительном комплексе "Медиана" было проведено экспериментальное исследование магнитного поля, создаваемого выбранной МС. По результатам измерений проводился расчет прохождения парциального электронного пучка во внешнем канале транспортировки в магнитном поле исследуемой МФС. Результаты измерений компонент индукции магнитного поля и проведенного по ним численного анализа прохождения пучка в канале приведены на рис. 4, б.

Видно, что в последнем промежутке под действием радиальной составляющей индукции магнитного поля происходит снос электронного пучка с оси пролетного канала, что может приводить к оседанию части электронов пучка на его стенки.

Перераспределив магнитопроводы по поверхности магнитной пары колец (рис. 5, а), можно снизить величину радиальной составляющей индукции магнитного поля (МП) в канале транспортировки пучка и уменьшить снос пучка с оси канала (см. рис. 5, б).

Результаты проведенного экспериментального исследования и их анализа подтверждают, что за счет оптимизации азимутального распределения перемычек (меняющих внешний магнитный поток между двумя соседними кольцевыми радиально намагниченными магнитами) удается оптимизировать распределение радиальной компоненты индукции МП в промежутке между реверсами при сохранении значения индукции продольного поля и заметно улучшить прохождение самого пучка.

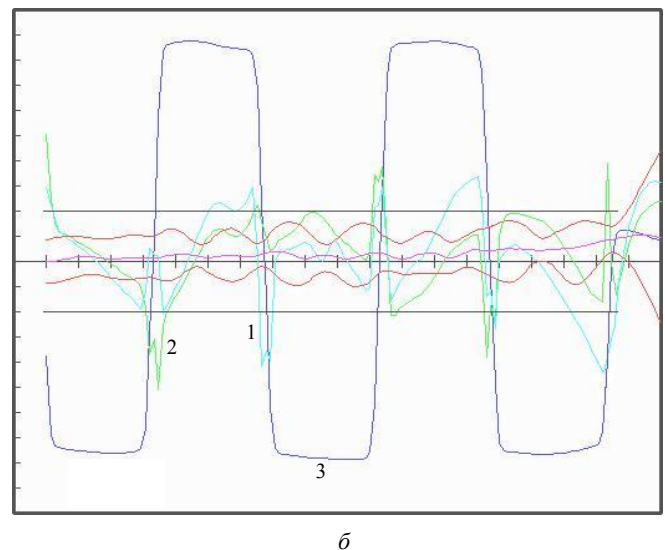
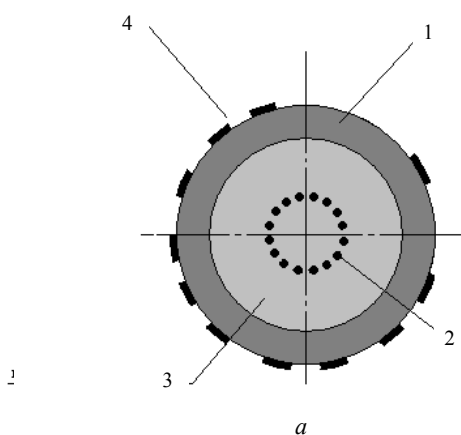


Рис. 5. Конечное расположение перемычек:

a — схема: обозначение позиций те же, что на рис. 4, а;

б — МП и прохождение электронного пучка через пролетный канал конечной системы: 1 — B_x ; 2 — B_y ; 3 — B_z

На рис. 6—8 представлены примеры выполненных ООО «НПК «Магниты и магнитные системы» разработок конструкций МС для других типов электровакуумных приборов: на рис. 6 — МС для мощного гиротрона, в которой применение разработанных материалов и технологий позволило достичь высоких результатов по амплитуде и однородности магнитного поля в рабочей области приборов; на рис. 7 — уникальные МС на основе сплавов Nd—Fe—В для установок дефектоскопии, предназначенных для работы в действующих газопроводах, а на рис. 8 — эффективное бесконтактное крупногабаритное тормозное устройство.

Заключение

Рассмотрены системы на основе магнитотвердых сплавов неодима с железом и бором. Перекрытатели системы оказывают влияние не только на продольную, но и на радиальную составляющие индукции МП. Показано, что путем оптимизации распределения этих составляющих по магнитной паре колец можно снизить величину потерь тока электронного пучка в каналах транспортировки прибора.



Рис. 6. МС для гиротрона



Рис. 7. МС для установок дефектоскопии



Рис. 8. Бесконтактное тормозное устройство для аттракциона "Баиня свободного падения" на ПМ

Magnetic systems on the basis of hard-magnetic alloys niobium with iron and a boron

P. I. Akimov, D. V. Kozirev, Y. V. Lavrentiev, D. A. Terentiev
VSUE R&P “Toriy”, 52 Obruchev str., Moscow, 117393, Russia
E-mail: torlab107@mail.ru

S. V. Sergeev, K. L. Sergeev
“Magnets and magnetic systems”, 58, Dmitrov road, Moscow, 127238, Russia
E-mail: klsergeev@mail.ru

Materials developed on the basis of alloys Nd—Fe—B alloys are represented in the work. These materials are used in multi-beam klystrons and in another microwave devices.

PACS: 81.05.-t

Keywords: magnetic systems, microwave, alloy, electric vacuum device.

Bibliography — 0 references.

Received 6 June 2009