

СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ ПИТАНИЯ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАГНИТОВ

В.В. Васильев, В.Н. Исайкин, О.Д. Канзюба, В.Г. Козорезов,
В.И. Котов, А.А. Марков, Б.А. Серебряков, Н.Е. Тюрин,
А.А. Форостенко

Институт физики высоких энергий
Серпухов, 142284

Введение

В настоящее время при проектировании каналов заряженных частиц на современных ускорителях высоких энергий планируется широкое использование сверхпроводящего (СП) магнитооптического оборудования. В некоторых научных центрах СП магнитные элементы частично уже используются на каналах частиц.

Общепринятый способ питания СП магнитных элементов от «теплых» источников токами в несколько тысяч ампер значительно снижает экономическую эффективность использования СП магнитных элементов. Поскольку каналы частиц создаются, как правило, с широкими возможностями, то для большинства магнитных элементов требуется индивидуальное питание с токовводами в криогенную среду. Для компенсации тепловых потерь на токовводах требуется значительное увеличение мощности системы криогенного обеспечения. Кроме того, основная часть мощности, потребляемой «теплыми» источниками питания от сети, идет на тепловые потери в шинпроводах, питающих СП магнитные элементы.

Чтобы упростить системы электропитания и криогенного обеспечения, а также снизить их энергопотребление, наиболее целесообразно использовать СП источники тока, работающие в среде жидкого гелия в единых с СП магнитными элементами криостатах.

Из известных СП источников тока наиболее приемлемым представляется так называемый топологический генератор (ТГ) или «магнитный насос»^{1,2} осуществляющий накачку тока в СП обмотку магнитного элемента в течение некоторого периода времени, зависящего от мощности ТГ, индуктивности СП обмотки и величины необходимого тока.

Соединенные параллельно ТГ и СП обмотка магнитного элемента образуют замкнутый СП контур. По достижении заданного тока в СП обмотке ТГ выключается и начинает выполнять функцию СП перемычки, шунтирующей обмотку.

При этом в СП контуре течет незатухающий ток (так называемый «замороженный ток»). Постоянная времени спада тока исключительно велика и определяется, в основном, качеством контактных соединений выводов ТГ и СП обмотки. В этом режиме энергию потребляет лишь система криогенного обеспечения, а ТГ включается периодически для поддержания уровня тока в заданных пределах.

Конструкция ТГ

В ИФВЭ было разработано, изготовлено и испытано несколько макетов ТГ³. Наилучшие параметры имеет макет цилиндрического типа диаметром 130 мм и высотой 250 мм, представленный на рис. 1. В качестве активного СП элемента использована фольга толщиной 17 мкм из сплава на основе ниобия.

Ротор 1 генератора — 4-лопастный, размер полюса лопасти 2×120 мм, пространство между лопастями заполнено пенопластом, он базируется на радиально-упорных шарикоподшипниках, запрессованных в крышки 2. Восемь лент СП фольги 3 шириной 80 мм уложены с перекрытием в два слоя по внутренней цилиндрической поверхности статора 4, концы лент фиксируются в кольцевых прижимных соединителях 5 и электрически соединяются с выводами 6 нагрузочного СП соленоида 7. Ротор 1, статор 4 и крышки 2 изготавливаются из магнитомягкой электротехнической

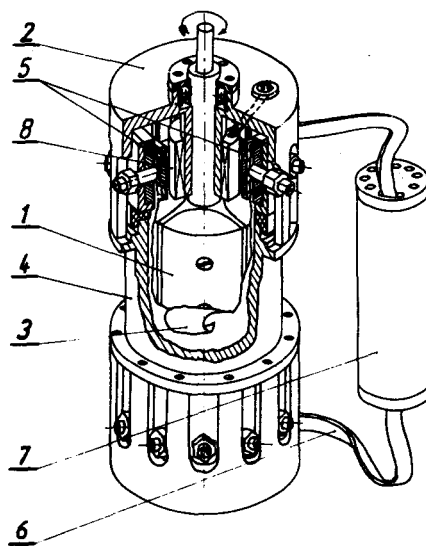


Рис. 1. Топологический генератор:
1 — ротор, 2 — крышка, 3 — сверхпроводящая фольга,
4 — статор, 5 — прижимной кольцевой соединитель,
6 — вывод соленоида, 7 — СП соленоид, 8 — катушка
возбуждения.

стали. На внутренних поверхностях крышек 2 имеются керны, на которые надеты СП катушки возбуждения 8.

Нагрузкой ТГ является СП соленоид 7 длиной 300 мм, с апертурой 20 мм и холодной индуктивностью $1,6 \cdot 10^{-3}$ Г, намотанный 16-проволочным трансформированным СП кабелем, используемым для изготовления обмоток СП диполей УНК. Критический ток кабеля 7,5 кА в поле 5 Т. При подаче тока в катушку возбуждения магнитный поток замыкается по цепи: керн катушки возбуждения, катушка, статор, полюсы ротора, ротор, вал ротора, керн катушки возбуждения.

Таким образом, магнитный поток проходит в зазорах (1 мм) между полюсами ротора и статором, внутри которых находится СП фольга.

При критическом значении напряженности магнитного поля в зазорах на фольге появляются нормальные пятна. С началом вращения ротора четыре нормальных пятна перемещаются поперек лент СП фоль-

ги и ТГ начинает накачку тока в соленоид. С целью компенсации осевой силы, действующей на ротор при включении катушки возбуждения, введена вторая катушка, идентичная первой, расположенная на керне нижней крышки и запитанная током противоположного направления. Магнитные потоки, создаваемые катушками, направлены встречно друг другу; таким образом, в зазоре через СП фольгу потоки проходят в одном направлении.

Экспериментальные исследования макета ТГ

На макете снимались зависимости изменения накачанного тока I_n от времени накачки t_n при различных скоростях вращения ротора и различных значениях тока возбуждения I_b . На рис. 2 представлены харак-

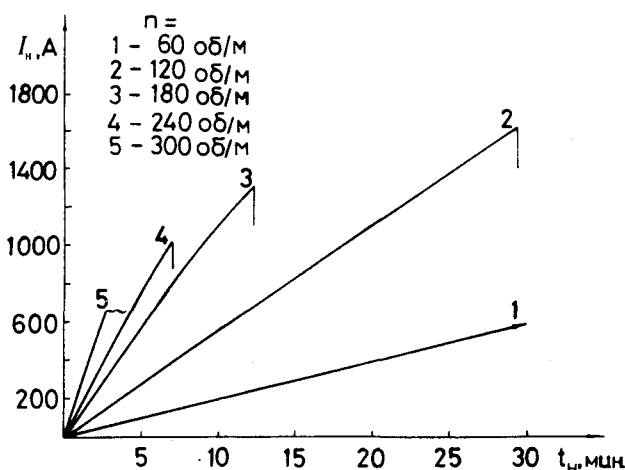


Рис. 2. Зависимость величины накачанного тока от времени накачки при различных скоростях вращения ротора и неизменном $I_b = 0,5$ А.

терные зависимости $I_n = f(t_n)$ при $I_b = 0,5$ А для скоростей вращения ротора $n = 300 \div 20$ об/мин. Видно, что с увеличением скорости вращения ротора уменьшается уровень срыва I_n , что объясняется увеличением времени восстановления сверхпроводящего состояния нормальных пятен при их перемещении по СП фольге по мере увеличения I_n .

Очевидно, что для получения от ТГ максимального тока за минимальное время следует по мере увеличения I_n уменьшать скорость вращения ротора по некоторому закону, определяемому для конкретного ТГ экспериментально. Зависимость $I_n = f(t_n)$ для $I_b = 0,5$ А при оптимальном режиме накачки приведена на рис. 3. Были проведены наблюдения режима «замороженного» тока на уровне 2200 А. За время наблюдения 4 часа спада I_n не наблюдалось.

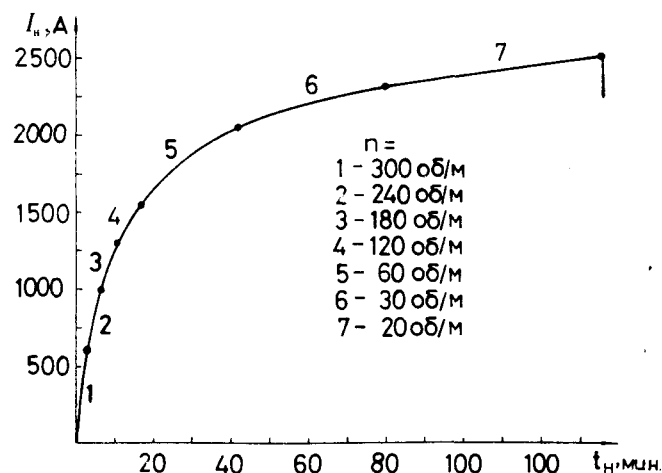


Рис. 3. Зависимость величины накачанного тока от времени накачки при оптимальном режиме накачки для $I_b = 0,5$ А.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности использования ТГ в качестве источников питания СП магнитов.

Литература

1. Казовский Е.Н. и др. Сверхпроводящие магнитные системы. — М.: Наука, 1967.
2. Буккель В. Сверхпроводимость. — М.: Мир, 1975.
3. Васильев В.В. и др. Топологический генератор как источник питания сверхпроводящих магнитов. — Препринт ИФВЭ 84-184.