

Одномодовые резонаторы на частоту 172 и 178 МГц

А.А.Бушуев, В.Н.Волков, Э.И.Горникер, А.А.Данилевич, Е.К.Кенжебулатов, А.Н.Косарев,
В.Я.Крестьянский, С.А.Крутихин, Я.Г.Крючков, Г.Я.Куркин, И.Г.Макаров, В.Ю.Мараев,
Н.В.Митянина, Д.Г.Мякишев, В.М.Петров, И.В.Полетаев, И.К.Седяров,
А.Г.Трибендис, Н.Г.Фомин

Институт ядерной физики, Новосибирск, Россия

Представлены проекты двух ускоряющих резонаторов с сильным подавлением высших мод при помощи специальных вакуумных нагрузок. Описана конструкция резонаторов и нагрузок. Приводятся расчетные характеристики резонаторов, их спектры высших мод и результаты расчета устойчивости фазового движения пучков в накопителях ВЭПП-2000 и NANOHANA.

Введение

Важной проблемой в современных накопителях является повышение накопленных токов. Одним из ограничений является возникновение неустойчивостей из-за взаимодействия пучка с высшими модами резонатора. В данном докладе на примерах двух резонаторов рассмотрены варианты подавления высших мод с помощью специальных вакуумных нагрузок, которые являются элементами самого резонатора.

1. Одномодовый резонатор ВЭПП-2000

Для проведения экспериментов в области энергий от 1400 до 2000 МэВ в ИЯФ решено модернизировать коллайдер ВЭПП-2М [1]. Модернизированный накопитель будет работать на энергии 2×1000 МэВ и с токами 2×100 мА. Относительно низкая энергия частиц пучка представляет определенную проблему для обеспечения устойчивости фазового движения сгустков. Разработан проект одномодового ускоряющего резонатора с сильной подгрузкой высших мод, что повышает порог возникновения когерентной неустойчивости пучка.

На рис. 1 представлен схематический чертеж резонатора.

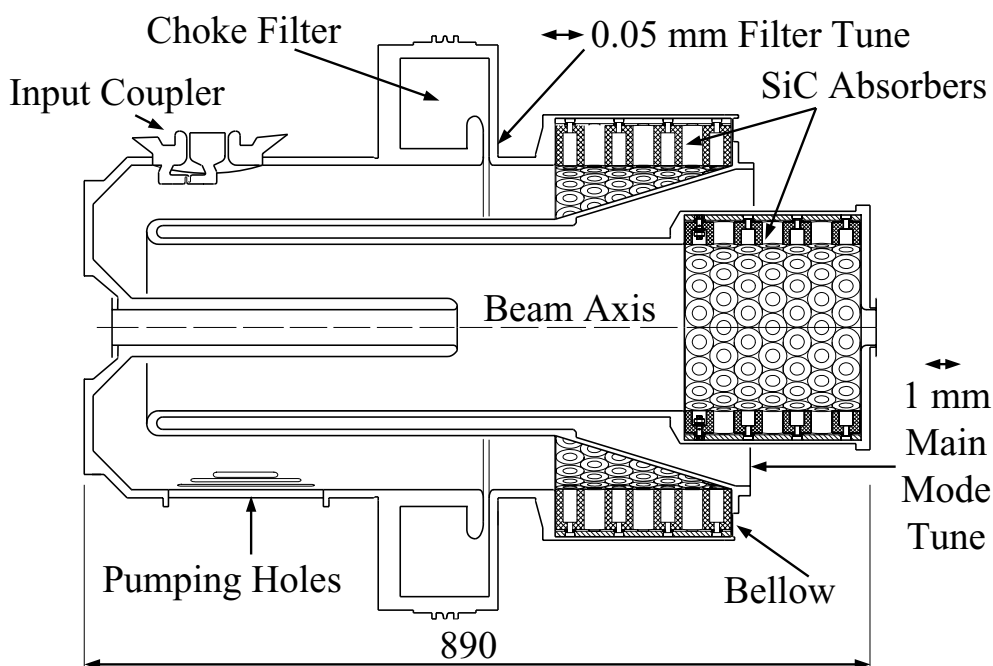


Рис. 1. Резонатор накопителя ВЭПП-2000.

Подавление высших мод в резонаторе осуществляется при помощи двух поглощающих цилиндрических нагрузок (SiC Absorbers): коаксиальной и волноводной.

Коаксиальная нагрузка хорошо согласована с ТЕМ волной ($KCBH < 1.5$) и обеспечивает подавление высших мод в диапазоне частот до 3500 МГц. Фильтр – пробка (Choke Filter), расположенный перед этой нагрузкой, настроенный на частоту рабочей моды, исключает подгрузку этой моды.

Волноводная нагрузка, расположенная в вакуумной камере резонатора диаметром 187 мм, нагружает высшие моды, частоты которых выше критической частоты волновода (1235 МГц). Волновод является запертым для волны, связанной с полем рабочей моды, поэтому нагрузка на нее не влияет.

Нагрузки составлены из отдельных элементов в форме стаканов, изготовленных из проводящей керамики КТ-30. Эти элементы с помощью винтов прикрепляются к водоохлаждаемой стенке цилиндра. На рис. 2 представлен схематический чертеж керамических элементов нагрузок.

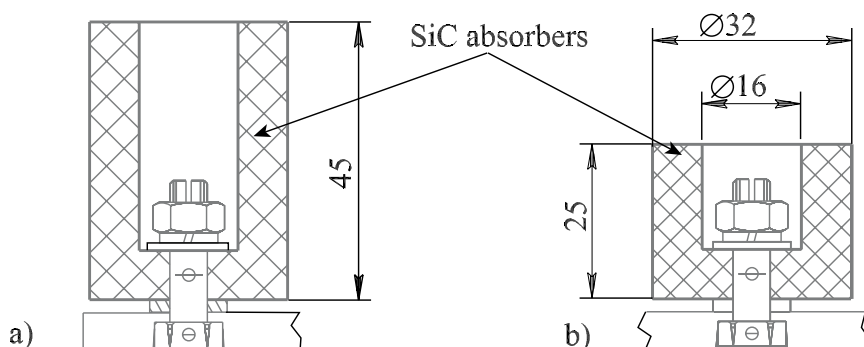


Рис. 2. Поглощающие элементы нагрузок из керамики КТ-30: а) для коаксиальной нагрузки, б) для волноводной нагрузки.

В табл. 1 приведены свойства проводящей керамики КТ-30.

Таблица 1. Свойства керамики КТ-30.

Объемная проводимость, 1/Ом·м	1.67
Тангенс потерь $\text{tg}\delta$ при $f=10$ ГГц	Не меньше 0,2
Диэлектрическая постоянная ϵ при $f=10$ ГГц	15
Теплопроводность, Вт/(м·К)	5

ВЧ-характеристики одномодового резонатора на частоте ускоряющей моды представлены в табл. 2.

Таблица 2. ВЧ-характеристики резонатора ВЭПП-2000 на рабочей частоте.

Частота, МГц	172.099
Диапазон перестройки, кГц	32
Добротность	8800.7
Ампл. ускоряющего напряжения, кВ	120
Коэффициент пролета	.9898
Характеристич. сопр. *, Ом	28.07
Шунтовое сопротивление*, кОм	246.99
Макс. температура поверхности	60°
Общие тепловые потери, кВт	29.15

* С учетом коэффициента пролета

С помощью программы CLANS [2] проведены расчеты импеданса связи высших мод в диапазоне до 3500 МГц. Результаты расчета приведены на рис.3.

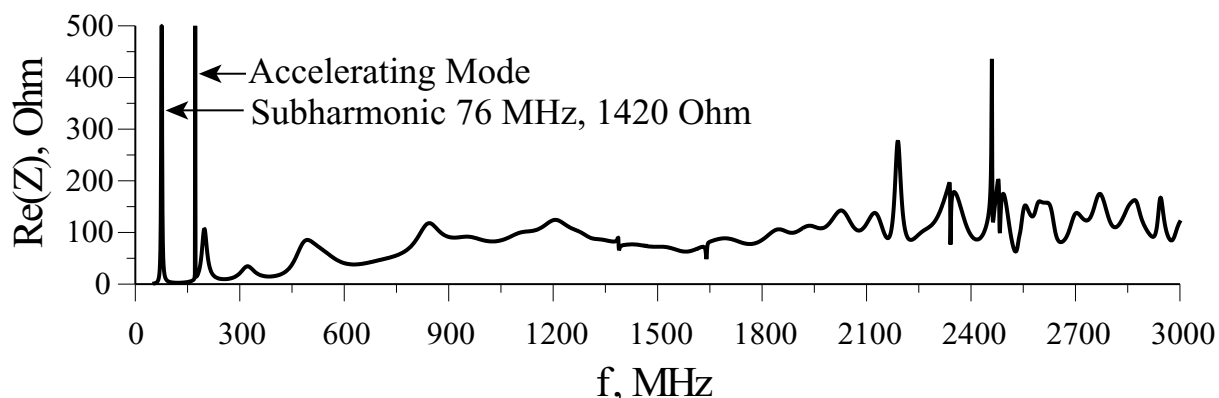


Рис. 3. Импеданс связи высших мод резонатора ВЭПП-2000 (реальная часть).

Резонатор имеет низкий (200÷300 Ом) импеданс связи высших мод (за исключением мод 76 и 2460 МГц). Более подробное описание расчетов резонатора приведено в [3]. Как показывают расчеты по программе MBI [4], такие величины импедансов связи высших мод резонатора обеспечивают устойчивое фазовое движение сгустков в накопителе ВЭПП-2000 даже при двукратном увеличении тока пучка (2×200 мА).

2. Одномодовый резонатор для проекта NANOHANA

В ИЯФ по заказу японской фирмы KAWASAKI разрабатывается проект накопителя NANOHANA [5] специализированного источника СИ с большим током пучка (300 мА) при относительно низкой энергии частиц пучка (0.5-2 ГэВ). На данном накопителе устанавливаются два одномодовых резонатора, один из которых показан на рис. 4. Резонаторы имеют один общий узел откачки, расположенный между ними (Pumping Group).

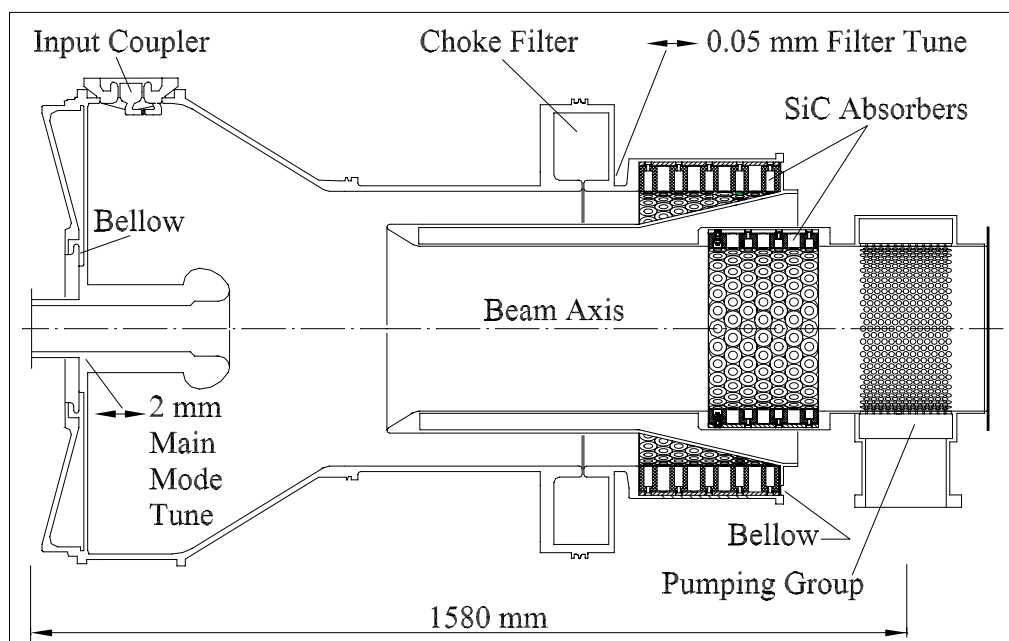


Рис. 4. Одномодовый резонатор NANOHANA.

Принцип подавления высших мод такой же, как в случае резонатора ВЭПП-2000, при помощи двух поглощающих цилиндрических нагрузок (SiC Absorbers) – коаксиальной и волноводной. Вакуумные нагрузки высших мод (SiC absorbers) и запирающий фильтр для рабочей частоты (Choke Filter) имеют такую же принципиальную конструкцию, как описано выше.

Параметры одномодового резонатора на частоте ускоряющей моды приведены в табл.3.

Таблица 3. Параметры ускоряющего одномодового резонатора NANOHANA.

Частота, МГц	178.50
Диапазон перестройки, МГц	0.37
Добротность	25379.0
Коэффициент пролета	0.9266
Характеристич. сопр.*, Ом	103.6
Шунтовое сопротивление*, кОм	2.62853
Ускоряющее напряжение, кВ	600.0
Мощность ВЧ потерь, кВт	67.8

* С учетом коэффициента пролета

На рис. 5 показана частотная зависимость реальной части импеданса связи высших мод резонатора, рассчитанная программой CLANS [2].

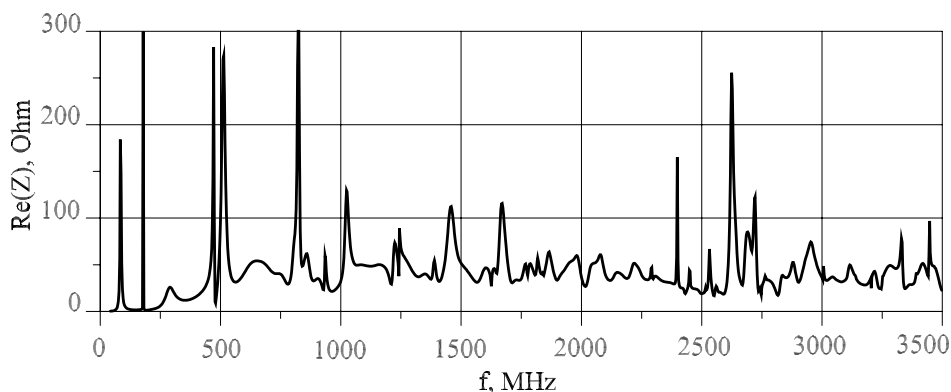


Рис. 5. Импеданс связи высших мод резонатора NANOHANA (реальная часть).

Импеданс связи высших мод резонатора имеет порядок 200÷300 Ом в диапазоне от 60 до 3500 МГц, исключая частоту моды 822 МГц, имеющей импеданс 533 Ом.

Использование двух таких резонаторов в накопителе позволяет получить устойчивое многосгустковое фазовое движение с применением цепи обратной связи. Мощность выходного усилителя в этой цепи обратной связи ~400 Вт.

Заключение

Расчеты показали, что выбранные конструкции и размеры одномодовых резонаторов обеспечивают достаточно сильное подавление высших мод резонатор, а также обеспечивают устойчивость заданных токов накопителей ВЭПП-2000 и NANOHANA. В конструкции нагрузок используются выпускаемые серийно отечественной промышленностью изделия из проводящей керамики.

Литература

- [1] Yo.M. Shatunov et al. "Project of a New Electron-Positron Collider VEPP-2000", Proc. of 7th EPAC (2000).
- [2] D.G. Myakishev. Preprint BudkerBINP 2000-55, Novosibirsk, 2000.
- [3] V.N. Volkov et al. "VEPP-2000 Single Mode Cavity", Proc. of 7th EPAC (2000).
- [4] N.V. Mityanina. Preprint BudkerINP 99-46, Novosibirsk, 1999.
- [5] V. Korchuganov et al. Nucl. Instr. and Meth. A448 (2000) 27-31.