

УДК 621.3.038.615

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОПТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ФИЛЬТРА ГАРМОНИК ДЛЯ СИСТЕМЫ
СТОХАСТИЧЕСКОГО ОХЛАЖДЕНИЯ УСКОРИТЕЛЯ ЧАСТИЦ**

Гончаров ДБ. (ИТМО), Волковский С.А. (ИТМО) Дейнека И.Г. (ИТМО)

**Научный руководитель – кандидат технических наук Алейник А.С.
(ИТМО)**

Аннотация.

В данной работе представлен обзор методов стабилизации частотных характеристик оптической реализации гребенчатого фильтра дробового шума, используемого в системе стохастического охлаждения ускорителя частиц. Рассматривается усовершенствование базовой оптической схемы фильтра с применением балансного фотоприемника в качестве разностного элемента, схемами непрерывного мониторинга и компенсации оптических мощностных потерь и коррекции фазовых искажений сигнала в ветвях фильтра.

Введение.

Система стохастического охлаждения (ССО) представляет собой систему широкополосной обратной связи в тракте коллайдера для снижения энергетического рассеяния и повышения плотности пучка частиц, увеличивая вероятность столкновений частиц в экспериментах. Блок обработки сигнала ССО может быть реализован на основе гребенчатого фильтра гармоник. Формирование требуемого амплитудно-частотного тракта передачи и получение требуемой задержки для синхронизации работы системы с перемещением пучка являются основными задачами фильтра. В ходе литературного обзора, проведенных экспериментов, моделирования и анализа технической документации на компонентную базу сделан выбор в пользу оптической реализации гребенчатого фильтра. Целью данной работы является повышение стабильности частотных характеристик фильтра гармоник, а именно глубины подавления и отклонения по частотам режекции.

Основная часть.

Главной причиной нестабильности амплитудно-частотной характеристики оптической реализации гребенчатого фильтра является разбаланс оптической мощности в ветвях. При этом стабильность оптической мощности должна поддерживаться в течении продолжительного времени эксперимента сеанса ускорителя не менее нескольких месяцев. Классификация основных мощностных потерь обусловлена двумя основными причинами в виде температурных и поляризационных эффектов компонентной базы. Не менее важной проблемой является нестабильность фазо-частотной характеристики фильтра из-за нелинейных искажений и переменной во времени рабочей точки модуляции источника, а также из-за изменения оптического пути в ветвях.

Для выравнивания мощностных потерь в ветвях фильтра как правило применяют аттенюаторы с высоким разрешением аттенюации более 0,01 дБ [1]. Однако, данный способ остается в ручном режиме, что занимает много времени при калибровке фильтра и требует определенной квалификации оператора.

В схеме организации гребенчатого фильтра SRing проекта NIAF [2] для обеспечения длительной термостабилизации в качестве компонента постоянной задержки, используют стабилизированные по фазе волокна с низким коэффициентом термостабилизации (ТСД) около 2 пс/км/К. Авторы отмечают уменьшение отклонения частоты гребней во всей рабочей полосе более чем в 6 раз при использовании фазостабилизированного волокна вместо стандартного одномодового. Однако подобные волокна достаточно экзотичны, имеют высокую стоимость, их стыковка со стандартным волокном может вызывать технологические сложности и ограничения. В дополнение к этому авторы применяют внешнюю термостабилизацию оптоволоконной линии с точностью $\pm 0,1$ °С, используя для

этого элемент Пельтье, чем предотвращают остаточный температурный дрейф частоты фильтра гармоник.

Поляризационные свойства применяемых оптических компонентов также приводят к значительным неконтролируемым колебаниям оптической мощности в тракте фильтра.

В результате анализа выявлены компоненты, наиболее чувствительные к изменению выходной мощности в зависимости от поляризации, среди которых особенно выделяется переключаемая МЭМС задержка с коэффициентом PDL в среднем до 0,3 дБ/бит. Вторым по чувствительности к поляризации элементом является балансный фотоприемник, вращение плоскости поляризации на входных портах фотоприемника приводит к снижению коэффициента качества фильтра по расчету коэффициентов передачи фильтра на 0,057. Суммарный коэффициент PDL потерь на длинной линии может составлять более 2 дБ.

Выводы

В рамках работы рассмотрены основные оптические эффекты, влияющие на итоговые частотные характеристики оптоволоконной реализации фильтра гармоник дробового шума. Предложены способы отслеживания отклонений разницы длин ветвей гребенчатого фильтра на основе интерферометрических методов Маха-Цендера и Майкельсона. Предложена обратная связь между оптической мощностью на входе в разностный элемент фильтра и системой регулировки аттенюации в каждой из ветвей. Для снижения поляризационно-зависимых потерь подобрана компонентная база с сохранением поляризации. Результатами работы являются оптические схемы с перечнем элементов, обеспечивающие стабильность глубины подавления не менее 40 дБ с нормированным на номер гармоники отклонением по частотам режекции не более 1 Гц. Выдвинутые теоретические положения подтверждаются расчетными результатами и компьютерным моделированием элементов фильтра в среде OptiSystem.

Список использованных источников:

- 1) AN OPTICAL COMB FILTER FOR THE STOCHASTIC COOLING SYSTEM AT THE NUCLOTRON ACCELERATOR (JOINT INSTITUTE FOR NUCLEAR RESEARCH, RUSSIA) Kadenko I., Bezshyyko O., Hohov D., Sidorin A., Trubnikov G., Shurkhno N., Stassen R. Physics of Particles and Nuclei Letters. 2014. Т. 11. № 5. С. 705-707.
- 2) G.Y. Zhu, J.X. Wul, Z. Du, J. Yin, Yuan Wei, etc. Stochastic cooling notch filter developments for the high-precision spectrometer ring in the high intensity heavy-ion accelerator facility project, 2023. С. 22–25. — URL: <https://accelconf.web.cern.ch/cool2023/papers/tupppm1r2.pdf> (дата обращения 2024-11-05).

Гончаров Д.Б. (автор) _____

Волковский С.А. (автор) _____

Дейнека И.Г. (автор) _____

Алейник А.С. (научный руководитель) _____