

Фазовая оптимизация пиковой амплитуды суммы гармоник

А.В. Немыкин

Институт автоматики и электрометрии СО РАН

E-mail: anti1985@mail.ru

DOI:10.31868/RFL.2024.221-222

Задачи оптимизации возникают повсеместно, что зачастую является следствием ограниченности ресурсов или физических параметров используемых узлов. В частности, одной из таких задач является минимизация пиковой амплитуды многочастотной функции [1], которая, например, возникает при создании широкополосных волоконных брэгговских решеток (ВБР) для перестраиваемых лазеров [2] или в линиях связи со спектральным уплотнением каналов для компенсации дисперсии [3], либо для быстрой проверки работоспособности интегральных схем на разных частотах, когда на вход устройства подается синтезированный широкополосный сигнал, не превышающий допустимое амплитудное значение [4]. Касательно ВБР суть проблемы в том, что в один и тот же участок волокна записываются профили нескольких решеток с близкими друг другу периодами, и может случиться так, что локально требуемое итоговое отклонение показателя преломления превысит технические возможности записи. В таком случае запись профилей можно осуществить с небольшой разбежкой по координате в пределах одного периода, что на групповую задержку не повлияет, но уменьшит пиковое значение итогового профиля [5].

Ограничение амплитуды вариации показателя преломления записываемой решетки через уравнения связанных мод и потенциал взаимодействия сводится к минимизации максимума модуля функционала

$$S(x; \varphi_1, \dots, \varphi_N) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N e^{inx+i\varphi_n} = \frac{e^{ix+i\varphi_N}}{\sqrt{N}} \prod_{n=1}^{N-1} (e^{ix} - \alpha_n)$$

на множестве нормированной координаты x посредством подбора вещественных параметров $\varphi_1, \dots, \varphi_N$. Здесь подразумевается, что амплитуды всех N решеток одинаковы, а их резонансные частоты эквидистантны. Попытки решать данную задачу градиентными алгоритмами занимают крайне много времени из-за специфики топологии [6] и большого количества локальных минимумов. Чтобы повторить или превзойти даже с $N < 20$ известные в литературе результаты [5,6], приходится вводить фактор случайности при выборе точки старта и выполнять сотни реализаций без гарантий на успех.

В данной работе приводится алгоритм дискретных преобразований, позволяющий за конечное время повторять, а в некоторых случаях и превосходить, уже известные значения задачи мини-макса. На первом этапе оптимизации специальным нулевым приближением определяется функция амплитуды функционала S , и методом перебора из 2^{N-2} реализаций устанавливается знак мнимой части каждого из корней α_n , при которых среднеквадратичное отклонение от единицы коэффициентов Фурье функционала S минимально. Затем во втором этапе оптимизации реализуется алгоритм Гершберга-Сакстона, при этом в координатном представлении срезаются максимумы функционала S по плавно понижающемуся уровню, а в спектральном представлении обрезаются высокочастотные гармоники, и принимаются за единицу амплитуды оставшихся.

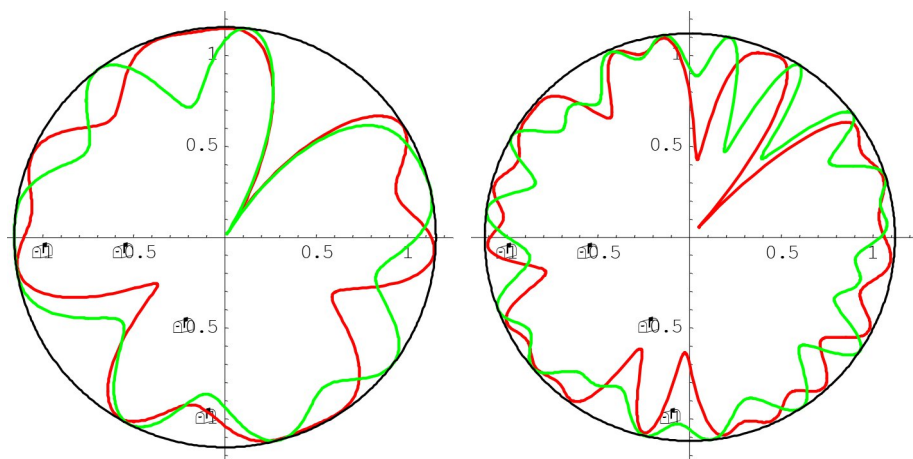


Рис. 1. Сравнение новых (красная) и полученных ранее (зеленая) профилей модуля функционала для 10 каналов (слева) и 21 канала (справа). Черными окружностями обозначены пиковые значения, полученные ранее.

На Рис.1 представлены оптимизированные модули функционала S от переменной x , взятой в качестве азимутальной, для малых чисел каналов, которые оказались лучше имеющихся в литературе, но при этом существенно отличающиеся от них по форме. На Рис.2 проведено сравнение новых результатов с полученными ранее. Большинство значений совпало, но наравне с ними имеются значительно улучшенные.



Рис. 2. Сравнение новых значений (черные квадраты) и полученных ранее (углы зеленой кривой) максимальных значений оптимизированных функционалов. Красная кривая – теоретический предел.

Литература

- [1] M. Friese, IEEE Trans. on Comm. **45**(10), 1338–1244 (1997)
- [2] J. Chow, G. Town et al, IEEE Photonics Technol. Lett. **8**(1), 62–64 (1996)
- [3] Hongpu Li, Ming Li et al, J. Lightwave Technol. **25**(9), 2739–2750 (2007)
- [4] Yukiko Shibasaki, Koji Asami et al, 2020 IEEE 29th Asian Test Symposium (ATS), 1–6 (2020)
- [5] K. Y. Kolossovski, R. A. Sammut et al, Opt. Express **11**, 1029–1038 (2003)
- [6] D.A. Shapiro, A.I. Latkin, Opt. Commun., **284**(6), 1565–1568 (2011)