

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЧ СТРУКТУРЫ ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Скакун И.В.

Рак А.О. – к.т.н., доцент

Работа посвящена анализу и аналитической методике оптимизации коаксиальной структуры.

На рисунке 1 изображена модель четвертьволнового резонатора и его эквивалентная схема, представляющая отрезок длинной линии, замкнутой накоротко на одном конце и разомкнутой на другом конце. При этом, на разомкнутом конце линии имеет ёмкость, образованную трубкой дрейфа и ускоряющими зазорами. Четвертьволновый резонатор работает на частоте, при которой длина линии приблизительно равна длине волны электромагнитных колебаний $l \approx \lambda_0/4$. На разомкнутом конце образуется пучность электрического поля, которое используется для ускорения частиц в двух зазорах.

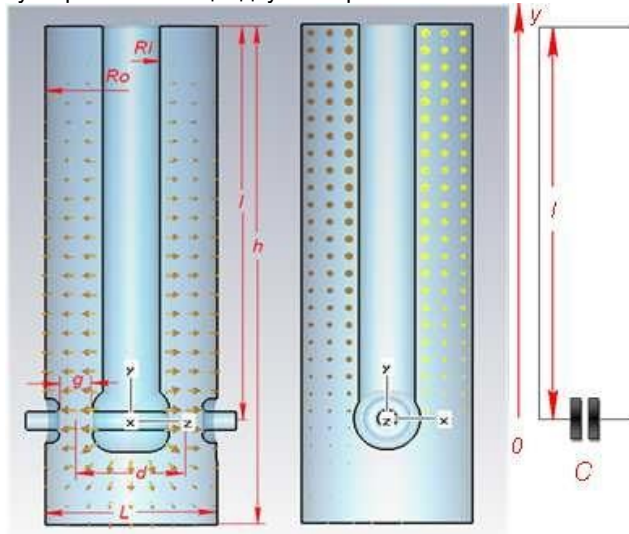


Рисунок 1 – Четвертьволновой коаксиальный резонатор и его эквивалентная схема.

На рисунке 2 представлены результаты анализа эквивалентной схемы резонатора в виде графиков коэффициента перенапряжения по магнитному полю V_p/E_a , приведённых величин шунтового к поверхностному сопротивлению r'_a , геометрического фактора G' и шунтового сопротивления к добротности (Ra/Q) в зависимости от отношения внутреннего и наружного радиусов коаксиальной линии R_i/R_o .

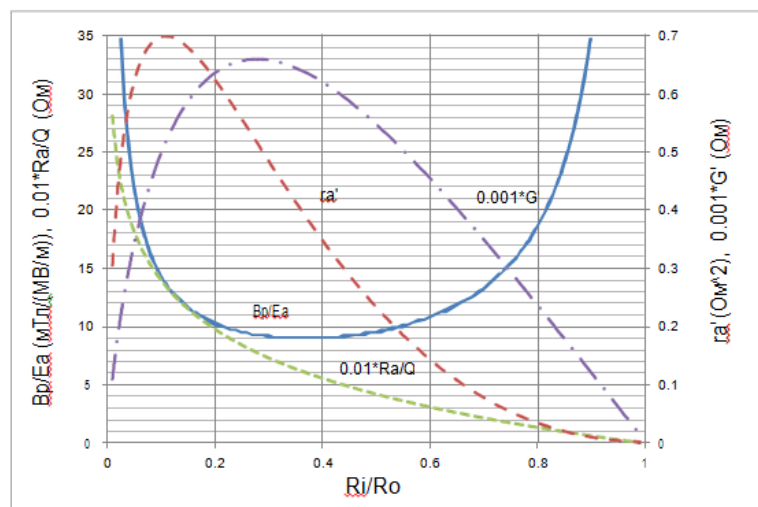


Рисунок 2 – Параметры четвертьволнового резонатора в зависимости от соотношения радиусов внутреннего и наружного проводников коаксиальной линии при $T=1$ и $l=\lambda_0/4$.

При этом для упрощения выкладок, рассматривается четвертьволновая линия ($l = \lambda_0/4$) без учёта ёмкости на разомкнутом конце ($C = 0$) и фактора пролётного времени ($T = 1$). Можно выделить два основных критерия оптимизации:

1) Минимизация Vp/Ea , которая даёт возможность увеличения ускоряющего поля при ограничении величины магнитного поля: практическая 10 максимальная величина пикового магнитного поля составляет $Vp \approx 70$ мТл. Минимум $Vp/Ea \approx 9$ мТл/(МВ/м) достигается при $Ri/Ro = 0,36$.

2) Получение максимально возможного приведённого к поверхностному сопротивлению шунтового сопротивления r'_a : при этом форма резонатора оптимизируется на максимальную эффективность преобразования СВЧ мощности в ускоряющее поле, которая достигается при $Ri/Ro = 0,12$.

Компромисс между максимальным значением r'_a , и минимальным Vp/Ea находится в диапазоне $Ri/Ro = 0,12 \dots 0,36$. Для увеличения рабочего градиента ускоряющего поля необходимо минимизировать Vp/Ea . Для получения максимальной эффективности использования криогенной мощности надо увеличивать шунтовое сопротивление r'_a . При изменении Ri/Ro от 0,36 до 0,3 шунтовое сопротивление возрастает на 25% при всего лишь 5% росте Vp/Ea . Соотношение $Ri/Ro = 0,3$ обеспечивает практический компромисс при проектировании резонатора.

Применение данной методики для расчёта параметров $Vp/Ea, G, Ra/Q$ четвертьволновых резонаторов ускорителя даёт результаты, которые находятся в хорошем согласии с данными трехмерного моделирования.

Список использованных источников:

1. Третьяков, А. Г. Оптимизация резонаторов линейных ускорителей с учетом высших видов колебаний: дис. ... канд. техн. наук: 01.04.20 / Андрей Геннадьевич Третьяков: науч. рук. Н.П. Собенин. - Москва, 1985. - 134 с.

2. Facco, J.S. Sokolovski, V. Andreev, G. Bassato, E. Chiaveri, P. Favaron, V. Zvyagintsev, "Experience with the low β resonators at LNL", Proceedings of the 7th International Conference on Heavy Ion Accelerator Technology, Canberra, 17-23 September, 1995, Nucl. Instr. And Meth. A382 (1996) p.107- 111.

3. A. Facco, V. Zvyagintsev, "Beam steering in superconducting quarter-wave resonators: An analytical approach", Phys. Rev. ST Accel. Beams 14, 070101, p.1-8 (2011).