

Д.А. Комаров, Е.П. Якушкин, Ю.Н. Парамонов
ФГУП "Научно-производственное предприятие "Торий""

Исследование искажений импеданса зазора фильтровой системы мощного многолучевого клистрона

В настоящей работе исследуется искажение импеданса зазора активного резонатора многолучевого широкополосного клистрона. Представлен метод усреднения импеданса зазора в каналах транспортировки, основанный на вычислении координат центра тяжести функции реально части импеданса зазора, полученной с помощью численного моделирования.

Ключевые слова: СВЧ, фильтровые системы, импеданс, мощные многолучевые клистроны

Характерной особенностью выходной фильтровой системы мощных многолучевых клистронов является неравномерность импеданса зазора в разных каналах транспортировки. Идеальную равноволновую характеристику удастся получить только в одном канале активного резонатора, в то время как в остальных каналах импеданс зазора претерпевает существенные искажения, обусловленные наличием связи активного резонатора с фильтровой системой. Очевидно, что подобные искажения приводят к снижению электронного КПД прибора. Однако, вопрос об уменьшении КПД остается открытым вплоть до экспериментального исследования прибора, поскольку отсутствуют критерии, позволяющие дать количественную величину усредненного значения импеданса взаимодействия.

Рассмотрим фильтровую систему многолучевого клистрона, состоящую из активного резонатора, пронизываемого электронным потоком и связанного с пассивными резонаторами посредством щелей связи (рис. 1).

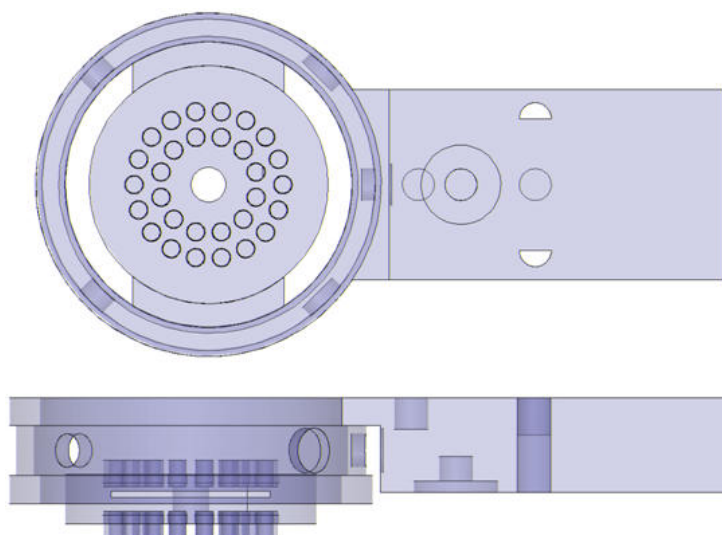


Рисунок 1

Известно [1], что фильтровая характеристика, настроенная в одном из пролетных каналов (называемым тестовым каналом), имеет вид равноволновой чебышевской кривой.

Под действием возмущений от щелей связи, в остальных каналах системы могут наблюдаться существенные отклонения от тестового канала (рис. 2).

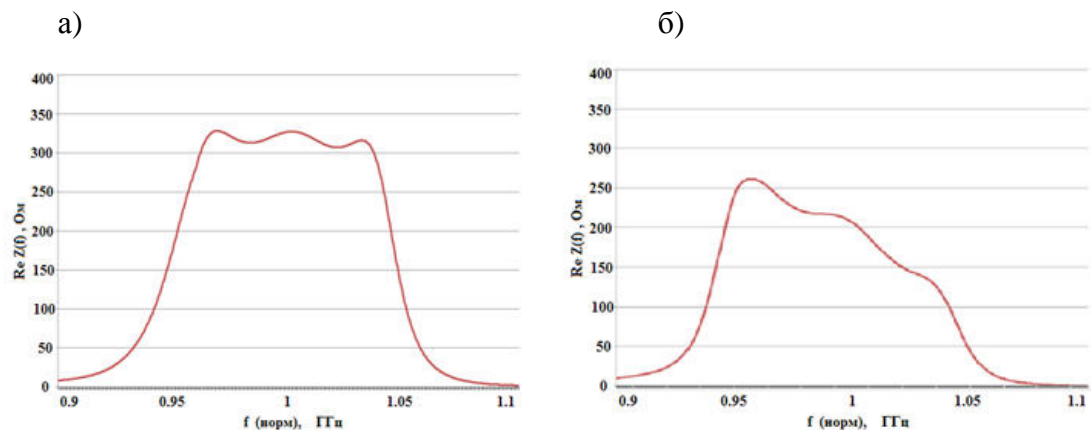


Рисунок 2. Фильтровая характеристика многолучевого активного резонатора:

а) В тестовом канале.

б) В канале, расположенном ближе к щели связи.

При рассмотрении, аналогично [1], криволинейной трапеции, боковые стороны которой образованы частью оси абсцисс (осью частот) и функциональной зависимостью реальной части импеданса зазора от частоты, координата центра тяжести по оси ординат может быть вычислена следующим образом:

$$R_{цт} = \frac{1}{2S} \int_0^{\infty} [\text{Re } Z(f)]^2 df, \quad (1)$$

где S – площадь криволинейной трапеции;

$\text{Re } Z(f)$ – реальная часть импеданса зазора.

Вычисление среднего импеданса по всем каналам наиболее оправдано производить усреднение координат центров тяжести криволинейных трапеций по оси абсцисс. Легко показать [1], что центр тяжести равноволновой кривой передачи при произвольном числе звеньев фильтра удовлетворяет условию:

$$R_{цт} = \frac{1}{2} (\text{Re } Z(f))_{\text{макс}},$$

где $(\text{Re } Z(f))_{\text{макс}}$ – максимальное значение реальной части импеданса.

Координата центра тяжести, как интегральная характеристика системы, содержит в себе полную информацию об искажении и позволяет поставить в соответствие каждой кривой определенное числовое значение, т.е. является некоторым обобщенным функционалом системы. Таким образом, усреднение по всем каналам многолучевой системы позволяет получить выражение для максимального среднего импеданса зазора в системе в следующем виде:

$$(\text{Re } Z(f))_{\text{макс}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{S_i} \int_0^{\infty} [\text{Re } Z(f)]_i^2 df, \quad (2)$$

Соотношение (2) легко реализуется численно при известной зависимости реальной части импеданса зазора от частоты, которая, в свою очередь, может быть получена с помощью пакетов прикладных программ.

Анализ результатов расчетов импеданса зазора в тестовом пролетном канале и в каналах с наибольшими искажениями, представленных на рисунке, показал, что по результату усреднения, реальная часть импеданса не превосходит 238 Ом, (максимальная величина импеданса зазора составила 322 Ом). Таким образом, общее снижение импеданса зазора составило 26%. Использование полученного значения усредненного импеданса зазора при вычислении электронного КПД прибора обеспечило наилучшее соответствие с экспериментальными значениями электронного КПД.

Кроме того, расчеты показали, что замена центральной втулки кольцевого активного резонатора с цилиндрической на эллиптическую (рис. 3), может привести к увеличению среднего импеданса взаимодействия (при обеспечении требуемой парциальной частоты активного резонатора за счет изменений размеров втулки).

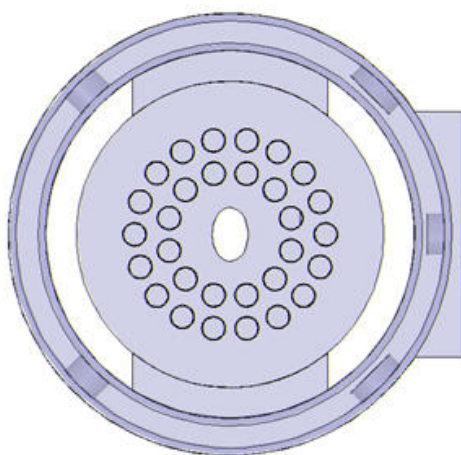


Рисунок 3

Так, увеличение среднего импеданса взаимодействия может быть получено за счет изменения отношения полуосей эллиптической втулки. В этом случае большая ось эллипса втулки должна быть направлена в сторону щелей связи, что позволило минимизировать перекосы фильтровой характеристики. При выборе соотношения осей эллипса втулки 2:1, в области, отдаленной от щелей связи, значение импеданса взаимодействия существенно возросло, а искажения фильтровой характеристики уменьшились. Для втулки эллиптического сечения средний импеданс составил 255 Ом. Таким образом, замена круглого сечения втулки на эллиптическое сечение, только за счет минимизации искажений фильтровой характеристики выходного резонатора, увеличило средний импеданс взаимодействия на 7%.

Предложенный метод среднего импеданса позволяет прогнозировать величину импеданса выходного резонатора клистрона, связанного с фильтровой системой, по результатам численного моделирования, или экспериментального исследования.

Библиографический список

1. Комаров Д.А., Морев С.П., Парамонов Ю.Н., «Управление полосовыми характеристиками мощных сверхвысокочастотных электровакуумных приборов с помощью фильтровых систем», Радиотехника и электроника, 2012г. Т. 57. №10. С.1-6.