

Дауменов Т.Д., Хизирова М.А.,
Бисариева Ж.Б.

**Электростатическая
фокусировка для объемных
резонаторов**

В данной работе рассматривается вопрос о возможности использования одиночной линзы для модуляции электронного потока по скорости. Показано, что применение одиночной линзы в качестве модулятора по скорости не влияет на величину коэффициента взаимодействия электронного потока с полем линзы. Объемный резонатор предлагаемой конструкции может выполнять одновременно роль модулятора электронов по скорости с одной стороны, и транспортирующей системы в дрейфовом пространстве с другой и поток сгустков электронов может быть сфокусирован на поверхности входного окна выходного резонатора. Объемный резонатор с электростатической фокусировкой способствует повышению мощности СВЧ приборов клистронного типа за счет увеличения конвекционного тока.

Ключевые слова: модуляция, линза, электронный поток.

Daumenov T.D., Khizirova M.A.,
Bisarieva Zh.B.

**Electrostatic Focusing for cavity
resonators**

In this paperwork we consider the possibility of using a single lens to modulate the electron beam velocity. It is shown that the use of a single lens as a modulator in speed does not affect the value of the coefficient of interaction with the electron flux field lens. Cavity proposed design can simultaneously perform the role of the electron modulator on the one hand speed and conveying system in the drift space, and the other stream of electrons clots can be focused on the surface of the input window of the output resonator. Cavity resonator with electrostatic focusing improves power klystron type microwave devices by increasing the convection current.

Key words: modulation, lens, electron beam.

Дауменов Т.Д., Қызырова М.А.,
Бисариева Ж.Б.

**Көлемді резонаторлар
үшін электрстатикалық
шоғырландыру**

Берілген жұмыста жылдамдықтар бойынша электрондық ағынды модуляциялау үшін линзаны қолдану мүмкіндіктері туралы мәселе қарастырылады. Жылдамдықтар бойынша модулятор ретінде қолданылған линза электронды ағынның линза өрісімен әсерлесу коэффициентіне әсер етпейтіндігі көрсетілген. Ұсынылған конструкцияның көлемдік резонаторы ретінде бір жағынан жылдамдықтар бойынша модулятор және екінші жағынан дрейфты кеңістікте тасымалдаушы жүйе атқара алады және электрондар шоғыры ағыны резонатор шығысындағы терезе бетінде фокусталған болуы керек. Электрстатикалық фокусталған көлемдік резонатор конвекциялық токтың ұлғаюы есебінен жоғары жиілікті құрылғының қуатының артуына жағдай туғызады.

Түйін сөздер: модуляция, линза, электронды ағын.

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ФОКУСИРОВКА ДЛЯ ОБЪЕМНЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Введение

В объемном резонаторе роль сосредоточенной емкости играет плоский зазор в виде плоскопараллельных секторов в центре резонатора, роль сосредоточенной индуктивности – тороидальная поверхность, образующая один виток с развитой поверхностью. В СВЧ приборах с клистронным механизмом взаимодействия в качестве входных и выходных устройств используются объемные резонаторы. Емкость входного резонатора находится под высоким положительным потенциалом, там же сосредоточено преимущественно электрическое высокочастотное поле. Под действием этого высокочастотного поля электронный поток модулируется по скорости, в дальнейшем преобразуясь в модуляцию по плотности в дрейфовом пространстве СВЧ приборе, а в выходном резонаторе снимают энергию модулированного электронного потока при вхождении в выходной резонатор в тормозящем режиме электрического поля.

Трехэлектродная одиночная линза

Рассмотрим трехэлектродную одиночную линзу с большим фокусным расстоянием, электроды которой состоят из трех плоских соосных диафрагм, расположенных на равном расстоянии друг от друга, параллельных между собой (рисунок 1).

Осевое распределение электростатического потенциала $\Phi(z)$ представим в виде [1,2].

$$\Phi(z) = \Phi_0 \left(1 - \frac{\chi^2}{1 + \left(\frac{z-s}{d} \right)^2} \right) \quad (1)$$

Начало координат совместим с плоскостью среднего электрода, а ось Z является осью симметрии системы. Пусть на крайние электроды одиночной линзы подается переменное напряжение с частотой ω , амплитудой U_m

$$U = U_m \sin \omega t . \quad (2)$$

Обозначим через t_0 момент прохождения некоторого электрона через центр среднего электрода линзы. Тогда, пренебрегая малым изменением скорости электрона внутри линзы, можно написать:

$$t = t_0 + \frac{z}{g_0} . \quad (3)$$

Полная кинетическая энергия электрона, вошедшего в линзу с начальной скоростью

$$g_0 = \sqrt{\frac{2e\Phi_0}{m}} , \quad (4)$$

на выходе из линзы имеет величину

$$W = e\Phi_0 + \Delta W , \quad (5)$$

где приращение кинетической энергии ΔW может быть представлено в следующем виде:

$$\Delta W = \frac{eU_m}{2s} \left[\int_{-s}^s \sin \left(\omega t_0 + \frac{\omega z}{g_0} \right) dz + \frac{2s}{\Phi_0} \int_{-s}^s \Phi'(z) \sin \left(\omega t_0 - \frac{\omega z}{g_0} \right) dz \right] . \quad (6)$$

Штрихи обозначают дифференцирование по координате z . После интегрирования

приращение кинетической энергии может быть представлено в виде:

$$\Delta W = eU_m \left[M - \frac{\omega}{g_0} \chi^2 I_1(z) \right] \sin \omega t_0 + \chi^2 \left[-\sin \frac{\theta}{2} + \frac{\omega}{g_0} \chi^2 I_2(z) \right] \cos \omega t_0 . \quad (7)$$

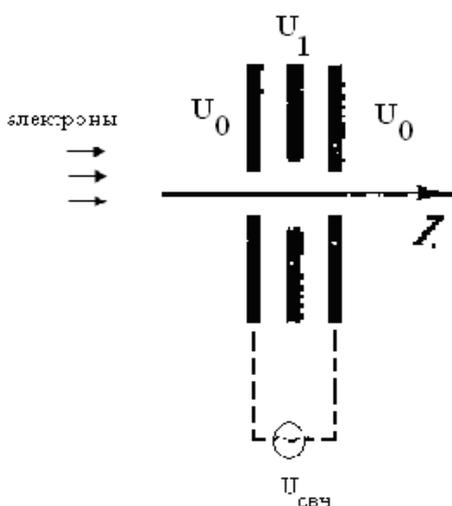


Рисунок 1 – Подключение СВЧ- поля к электродам одиночной линзы для осуществления модуляции электронного потока по скорости

Здесь введены следующие обозначения:

$$I_1(z) = \int_{-s}^s f(z) \sin \frac{\omega z}{g_0} dz, \quad (8)$$

$$I_2(z) = \int_{-s}^s f(z) \cos \frac{\omega z}{g_0} dz, \quad (9)$$

$$f(z) = \left[1 + \left(\frac{z}{d} \right)^2 \right]^{-1} . \quad (10)$$

Величина $\theta = \frac{2\omega s}{g_0}$ характеризует невозмущенный угол пролета электронов через линзу, а через M обозначен коэффициент взаимодействия электронного потока с полем одиночной линзы

$$M = \frac{\sin \frac{\theta}{2}}{\frac{\theta}{2}} . \quad (11)$$

Проведенные расчеты показывают, что интеграл $I_1(z)$ обращается в нуль (рис.2), т.е. применение одиночной линзы в качестве модулятора по скорости не влияет на величину коэффициента взаимодействия электронного потока с полем линзы.

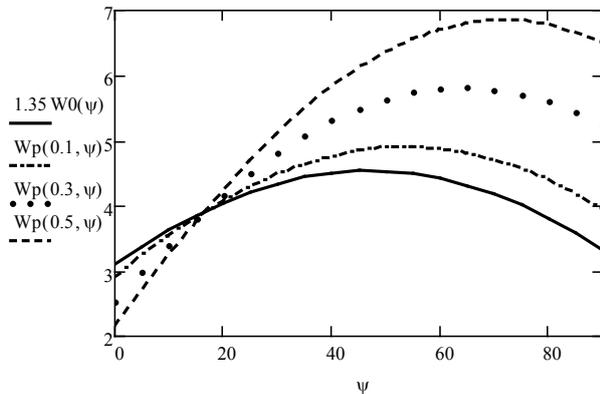


Рисунок 2 – Расчет поля

Во-вторых, ввиду малости половины невозмущенного угла пролета, при выполнении условия

$$s = \int_{-s}^s f(z) \cos \frac{\omega z}{g_0} dz, \quad (12)$$

сохраняется синусоидальный закон изменения приращения кинетической энергии

$$\Delta W = eMU_m \sin \omega t_0. \quad (13)$$

Тогда, с учетом малости амплитуды переменного напряжения по сравнению с потенциалом на крайних электродах одиночной линзы, скорость электрона g на выходе из линзы может быть представлена следующим образом:

$$g \approx g_0 \left(1 + \frac{MU_m}{2\Phi_0} \sin \omega t_0 \right). \quad (14)$$

Таким образом, применение одиночной линзы в качестве модулятора электронного потока по скорости практически не меняет величину коэффициента взаимодействия электронного потока с полем линзы, однако наличие среднего электрода дает возможность организовать объемную фокусировку электронного потока в вертикальном направлении.

Недостатком описанного выше входного резонатора является: во-первых, наличие сеток, являющиеся механической преградой на пути потока электронов; во-вторых, провисания эквипотенциальных поверхностей вблизи сеток оказывают рассеивающее действие на электроны. Эти факторы снижают величину конвекционного тока, тем самым понижают мощность СВЧ прибора. Поэтому в традиционных схемах таких СВЧ приборов возникает необходимость использования различных транспортирующих систем в дрейфовом пространстве: системы однородного или неоднородного магнитного поля, системы однородного или неоднородного электрического поля.

Положительный технический результат достигается тем, что вместо емкости, состоящей из двух параллельных сеток, где сосредоточено высокочастотное электрическое поле, используется одиночная линза, состоящая из трех диафрагм.

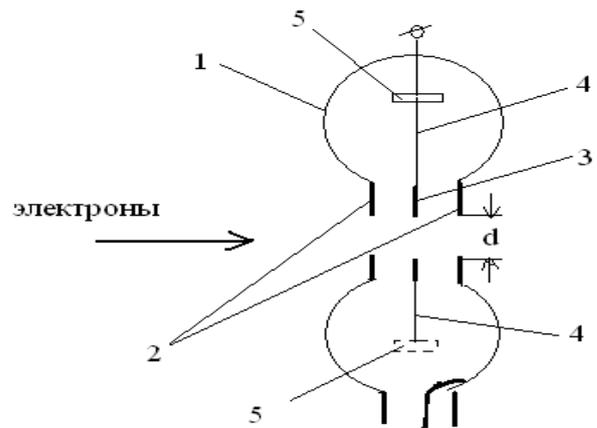


Рисунок 3 – Объемный резонатор с электростатической фокусировкой

На рисунке 3 представлена конструкция предлагаемого устройства [3]. Данное устройство представляет собой тороидальный резонатор (1), в котором в области сосредоточения высокочастотного электрического поля установлена одиночная линза, состоящая из трех диафрагм с круглыми отверстиями равного диаметра, у которой крайние электроды (2) находятся под одинаковым высоким ускоряющим потенциалом, на эти же электроды подаются высокочастотное электрическое поле. Средняя диафрагма (3) устанавливается с

помощью тонких проводящих нитей (4), пропущенных через прорези (5), параллельные линиям тока, расположенных противоположно на поверхностях тороида, на нее подается потенциал, отличающийся от ускоряющих потенциалов, поданных на крайние диафрагмы.

Устройство работает следующим образом. Электронный поток, ускоренный ускоряющим потенциалом, проходя область высокочастотного электрического поля, модулируется по скорости, преобразуясь в модуляцию по плотности в дрейфовом пространстве. Сгустки электронов, поступая в выходной резонатор в фазе тормозящего режима высокочастотного поля, отдают свою энергию. Совокупность трех диафрагм – это одиночная линза, фокусное расстояние

которой регулируется потенциалом средней диафрагмы.

Заключение

Объемный резонатор предлагаемой конструкции может выполнять одновременно роль модулятора электронов по скорости с одной стороны, и транспортирующей системы в дрейфовом пространстве с другой и поток сгустков электронов может быть сфокусирован на поверхности входного окна выходного резонатора. Объемный резонатор с электростатической фокусировкой способствует повышению мощности СВЧ приборов клистронного типа за счет увеличения конвекционного тока.

Литература

- 1 Дауменов Т. Особенности фокусировки пучков заряженных частиц при наличии полей с периодической модуляцией // Uzbek Journal of Physics. – 2009. – Т.11. – № 1. – С. 47-51.
- 2 Дауменов Т. Применение одиночных линз в динамических электронно-оптических системах // Тезисы доклада к девятому всероссийскому семинару «Проблемы теоретической и прикладной электронной и ионной оптики». – М., 2009. – 62 с.
- 3 Дауменов Т. Тороидальный резонатор с электростатической фокусировкой. // Патент РК № 23239.

References

- 1 T. Daumenov, Uzbek Journal of Physics, 11(1), 47-51, (2009) (in russ).
- 2 T. Daumenov, Primeneniye odinochnykh linz v dinamicheskikh elektronno-opticheskikh sistemakh, Tezisy doklada k devyatomu vserossiyskomu seminaru «Problemy teoreticheskoy i prikladnoy elektronnoy i ionnoy optiki», 2009, 62 s. (in russ).
- 3 T. Daumenov Toroidal'nyy rezonator s elektrostatischekoy fokusirovkoy, Patent RK N23239 (in russ).