

Численно проведено исследование влияния на параметры разрядной плазмы площади эмиссионной поверхности электронов. На рис. 4 показаны экспериментальные [2] и расчетные значения тока эмиссии. Из вычислений следует, что при увеличении относительной площади поверхности маски от 0 до 0,46 концентрация плазмы увеличивается с  $9,2 \times 10^9 \text{ см}^{-3}$  до  $12,5 \times 10^9 \text{ см}^{-3}$ , при этом температура плазмы и ее потенциал меняются незначительно. Маска, уложенная на эмиссионную сетку (рис. 1), играет роль дополнительной поверхности разрядной полости, что оказывает влияние на параметры плазмы.

**Заключение.** Проведенные численные исследования показывают, что характеристики разрядной плазмы (концентрация, температура и потенциал плазмы) зависят от сопротивления в цепи анода и площади поверхности маски. При наличии маски увеличивается роль отраженных от фольги электронов в ионизации газа и количество вторичных электронов образующихся на маске, что также приводит к потерям тока пучка. Характеристики разрядной плазмы влияют на коэффициент извлечения электронов в ускоряющий промежуток и на распределение плотности электронного пучка выводимого в атмосферу.

### Список литературы

1. Коваль Н.Н., Окс Е.М., Протасов Ю.С., Семашко Н.Н. Эмиссионная электроника. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 596 с.
2. М.С. Воробьев, Н.Н. Коваль, С.А. Сулакшин. «Исследование энергетической эффективности источника электронов с многоапертурным плазменным эмиттером и выводом пучка большого сечения в атмосферу», в печати.
3. Hagelaar G.J.M., Pitchford L.C. Solving the Boltzmann equation to obtain electron transport coefficients and rate coefficients for fluid models // Plasma Sources Sci. Technol. 2005. Vol. 14. – P. 722–733.
4. Коваль Т.В., Лопатин И.В., Огородников А.С., Нгуен Бао Хынг. Исследование генерации низкотемпературной плазмы в тлеющем разряде с полым катодом большой площади // Изв. вузов. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 3.2. – С. 129–125.

## ПЕРЕДАЧА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ В КОАКСИАЛЬНОМ ВИРКАТОРЕ

*Нгуен Мань Хынг*

*(г. Томск, Томский политехнический университет)*

*E-mail: hungnm.k52tnvlkt@gmail.com*

## POWER TRANSMISSION ELECTROMADNETIC WAVE IN COAXIAL VIRCATORS

*Nguyen Manh Hung*

*(Tomsk, Tomsk Polytechnik University)*

**Abstract.** This paper presents the results of numerical researches of influence of the electrodynamic's system vircator geometry and aperture on mode selection and transmission of electromagnetic waves energy and radiation power.

**Keywords:** coaxial vircator, wave mode, radiation power, transfer ratio, radiated power, radiation pattern.

**Введение.** Коаксиальные виркаторы являются генераторами мощных импульсов электромагнитного излучения и представляют интерес благодаря малым весо-габаритным характеристикам, простоте конструкции и отсутствию внешнего фокусирующего магнитного поля [1–4]. В работе [5] были приведены результаты исследований влияния геометрии системы и параметров пучка на формирование виртуального катода процесса генерации в коаксиальном виркаторе. Для более эффективного взаимодействия электронного пучка с полем резонансной системы виркатора необходимо знать ее электродинамические характеристики, оп-

ределить условия одномодовой генерации и установить влияние диафрагмы на мощность излучения в дальней зоне.

**Передача мощности электромагнитной волны.** Резонансная система виркатора представлена на рис. 1, *а*, формируемая анодом-сеткой, соединенная с волноводом и рупором. Селекция мод осуществляется с помощью диафрагмы, которая выполнена в виде кольца (с внутренним диаметром 8 см) с перемычкой.

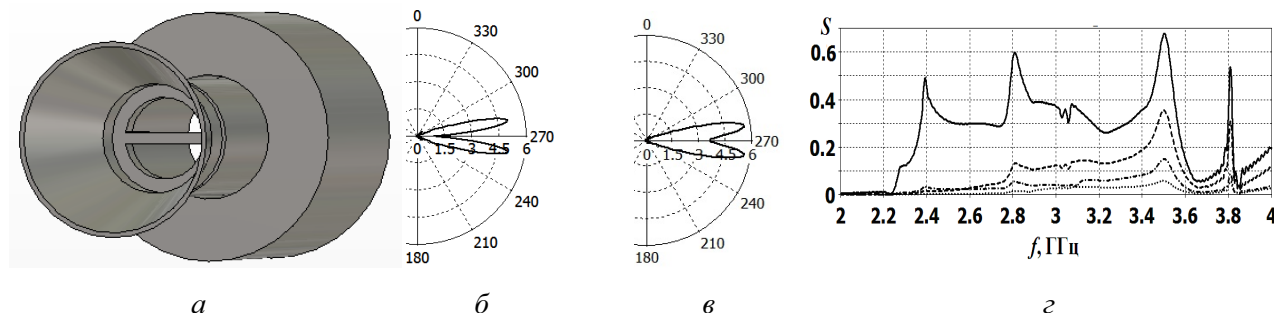


Рис. 1. Расчетная электродинамическая модель (*а*), диаграммы направленности (*б*, *в*) и частотная зависимость коэффициента передачи энергии  $S(f)$  волны  $TM_{01}$  при  $Zd = 30$  см (*г*)

Наличие перемычки у диафрагмы существенно уменьшает коэффициент прохождения одной из двух вырожденных волн  $TE_{11}$ , силовые линии электрического поля которой параллельны перемычке. Наибольший интерес представляет мода  $TM_{01}$ , которая возбуждается в виркаторе аксиально-симметричным пучком. На рис. 1, *в* показана частотная зависимость коэффициента прохождения  $S$  волны  $TM_{01}$ , пунктирные линии относятся к высшим модам ( $TM_{11}$ ,  $TM_{21}$ ), которые возникают в результате рассеяния волны  $TM_{01}$  на диафрагме. Из рис. 1, *б* видно, что зависимость  $S(f)$  имеет резонансный характер. На рис. 2, *а* в диапазоне частот 3,2...3,5 ГГц представлена зависимость коэффициента  $S$  от местоположения диафрагмы, которая также имеет периодический характер.

Область между левой стенкой триода и диафрагмой является резонатором. Для определения резонансных частот решалось 3-х мерное волновое уравнение. Получено, что собственная частота волны  $TM_{01}$  имеет периодическую зависимость при изменении координаты  $Zd$ , изменяясь в интервале частот 3,42...3,26 ГГц.

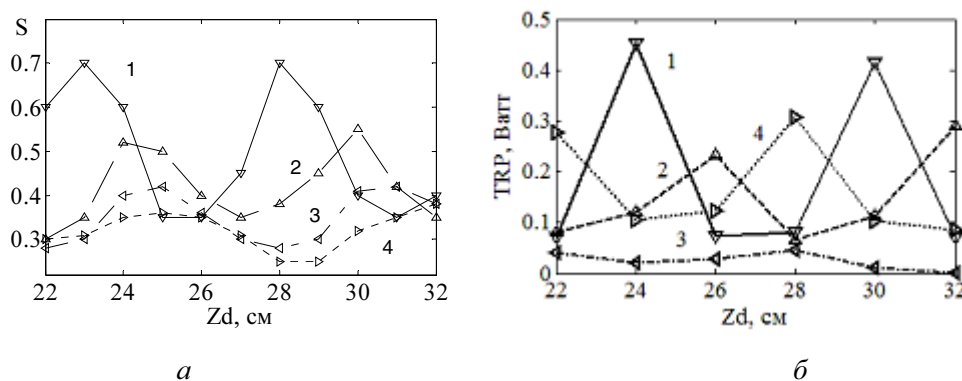


Рис. 2. Зависимость коэффициента прохождения энергии и мощности волны  $TM_{01}$  от координаты местоположения диафрагмы (*а*); зависимость мощности излучения волны  $TM_{01}$  в дальней зоне (*б*); 1 –  $f = 3,5$ ; 2 – 3,4; 3 – 3,3; 4 – 3,2 ГГц

**Диаграмма направленности.** Одним из важнейших параметров излучения мощного релятивистских СВЧ импульсных генераторов является диаграмма направленности (ДН) генерируемого излучения, которая отражает модовый состав электромагнитного излучения отражательного триода (рис. 1, *б*, *г*). На рис. 2, *б* показана зависимость полной излучаемой

мощности (TRP) волны  $TM_{01}$  в дальней зоне (3 м), излучаемой антенной (рупором), от местоположения диафрагмы  $Z_d$  в интервале частот 3,2...3,5 ГГц. Численное исследование показало, что коэффициент прохождения, полная излучаемая мощность и максимальная плотность излучения волны  $E_{01}$  обладают максимальными значениями при одном и том же значении частот и местоположении диафрагмы.

**Заключение.** Основными модами коаксиального виркатора являются моды  $TM_{01}$  и  $TE_{11}$ . В виркаторе со взрывоэмиссионном катодом может иметь место нарушение симметрии радиально-сходящегося электронного пучка и возбуждаться волна  $TE_{11}$  одновременно с волной  $TM_{01}$  (рис. 1, *в*). Однако, как показали численные исследования, с помощью диафрагмы можно проводить селекцию мод, определяя условия наиболее эффективного взаимодействия пучка с волной  $TM_{01}$  (рис. 1, *б*) и осуществляя генерацию электромагнитных колебаний в одномодовом режиме. Результаты численного исследования находятся в хорошем согласии с экспериментом, проведенным в НИ ТПУ ФТИ.

### Список литературы

1. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Жерлицын А.Г. Генерация электромагнитных колебаний в системах с виртуальным катодом // Плазменная электроника. Сб. научных трудов под ред. В.И. Курилко. – Киев. – Наукова думка. – 1989. – С. 112–131.
2. Жерлицын А.Г. Генерация СВЧ излучения в триоде с виртуальным катодом коаксиального типа // Письма в ЖТФ. – 1990. – Т.16. – № 22. – С.78–80.
3. Григорьев В.П. Электромагнитное излучение в коаксиальном триоде с виртуальным катодом // Журнал технической физики. – 1994. – Т.64. – № 7. – С. 122–129.
4. Jiang W., Woolverton K., Dickens J., Kristiansen M. High Power Microwave Generation by a Coaxial Virtual Cathode Oscillator // IEEE transaction on plasma science. – 1999. – V. 27. – N 5. – P. 1538–1542.
5. Tuan N.M., Koval T.V., Melnikov G.V., Zherlitsyn A.G. The Research of the Coaxial Vircator with a Symmetric Converging Electron Beam // Proc. of 16th International Symposium of High Current Electronics. Tomsk, Russia, September 19–24, 2010. – P. 497–500.

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ МЕРЦАТЕЛЬНОЙ АРИТМИИ СЕРДЦА ЧЕЛОВЕКА

*Нгуен Тхи Динь, А.С. Огородников  
(г. Томск, Томский политехнический университет)  
E-mail: dinhnguyen1610hv@gmail.com*

### MATHEMATICAL MODELING OF THE ATRIAL FIBRILLATION FORMATION OF THE HUMAN HEART

*Nguyen Thi Dinh, A.S. Ogorodnikov  
(Tomsk, Tomsk Polytechnic University)*

**Abstract.** This paper deals with the modeling of the electrical system of the human cardiac tissue. The paper's aim is creation of the model, which geometrical structure is closed to the actual geometry of the human heart. The processes occurring in the heart muscle are modeled by solving a system of nonlinear differential equations in COMSOL Multiphysics.

**Keywords:** the finite element method, cardiac arrhythmia, atrial fibrillation, the Landau-Ginzburg equations, COMSOL Multiphysics.

**Введение.** Под мерцательной аритмией на сегодняшний день понимают учащение ритма и беспорядочное сокращение сердечной мышцы, которые, в свою очередь, являются результатом возбуждения хаотических ионных токов [1]. В работе рассматривается построение