

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГДИ-ОРБИКТРОНА СО СДВОЕННОЙ ГРЕБЕНКОЙ

Демченко М. Ю., Еремка В. Д., Мирошниченко В. С.
 Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
 ул. Академика Проскуры, д.12, Харьков, 61085, Украина
 тел.: (057) 720-33-93; e-mail: mirosh@ire.kharkov.ua

Аннотация — Приведены результаты оптимизации параметров электродинамической системы ГДИ-орбитрона с периодической структурой в виде сдвоенной гребенки, размещенной в прямоугольной канавке на одном из зеркал открытого резонатора (ОР). Прямоугольная канавка играет роль четвертьволнового трансформатора и способствует повышению амплитуды резонансного поля в пролетном канале между гребенками. При оптимальном выборе ширины и глубины канавки наблюдается стягивание поля рабочей TE_{m0q} -моды к канавке и снижение радиационных потерь при эффективном высвечивании высших мод в ОР.

I. Введение

Вакуумные генераторы с длительным взаимодействием и высокодобротным ОР в качестве колебательного контура, такие как оротрон и ГДИ, остаются перспективными источниками средней мощности в миллиметровом и терагерцовом диапазонах. В упомянутых источниках излучения с укорочением рабочей длины волны возрастают омические потери, обусловленные высокочастотным скин-эффектом, и как следствие этого растет величина стартового тока и требуемая его плотность в ленточном электронном пучке. В связи с этим, осуществляется поиск оптимальной геометрии пространства взаимодействия электронов и волн, которая обеспечивает увеличение коэффициента использования ленточного электронного пучка. Для улучшения распределения интенсивности высокочастотного поля по толщине ленточного пучка в ГДИ было предложено использовать канал между двумя идентичными гребенками (сдвоенная гребенка), расположенными зеркально симметрично в параллельных оси ОР плоскостях [1], а в оротроне – многорядную гребенку [2]. При укорочении рабочей длины волны возникает проблема, обусловленная сгущением спектра колебаний в ОР. Проблему селекции колебаний решают путем размещения ступенчатых неоднородностей на неподвижном зеркале ОР ГДИ [3, 4].

В докладе представлены результаты оптимизации параметров колебательного контура ГДИ, в котором сдвоенная гребенка согласована с резонансным полем ОР при помощи волноводного трансформатора в виде прямоугольной канавки, выполненной на неподвижном зеркале. С помощью двумерной модели резонансной системы ГДИ-орбитрона проведены оценки коэффициента использования ленточного пучка при взаимодействии с резонансным полем и радиационных потерь рабочей TE_{0q} -моды в полосе перестройки.

II. Основная часть

Электродинамическая система ГДИ-орбитрона, представленная на рис. 1а, содержит двухзеркальный сфероцилиндрический ОР. Сдвоенная гребенка с пролетным каналом для ленточного электронного пучка размещена на дне прямоугольной канавки, выполненной в теле неподвижного цилиндрического зеркала. С помощью 2D-модели был проведен анализ E -поляризованных колебаний в ОР ГДИ-

орбитрона, в котором элементарные волноводы, образованные щелевыми резонаторами сдвоенной гребенки, заменены отрезком двумерного волновода шириной c и длиной d (см. рис.1б). Незаполненная часть прямоугольной канавки в 2D-модели представлена отрезком двумерного волновода шириной a и длиной b . Строгий анализ радиационной добротности TE_{mq} -мод и структуры полей в 2D-модели (рис.1б) выполнен с использованием комплекса программ анализа двумерных ОР с произвольным профилем зеркал [5].

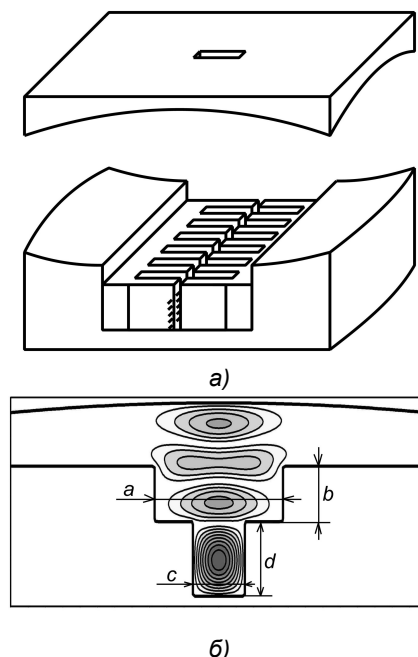


Рис. 1. Схема ГДИ-орбитрона со сдвоенной гребенкой (а) и распределение электрической компоненты TE_{04} -моды в 2D-модели ОР (б)

Fig. 1. The sketch of DRO-orbitron with doubled comb (а) and the electric field distribution of TE_{04} -mode in 2D-model of OR (b).

При $b = \frac{n}{4} \cdot \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}$, ($n = 1, 3, 5, \dots$) прямоуголь-

ная канавка является четвертьволновым трансформатором, стягивающим поле резонансного колебания в область полости канавки, что приводит к снижению радиационных потерь и повышению амплитуды высокочастотного электрического поля в сдвоенной гребенке E_{gr} . Для TE_{03} -моды ($n = 1$) превышение амплитуды поля в гребенке над амплитудой поля в объеме ОР составляет $E_{gr}/E_0 = 5,06$, а для TE_{04} -моды ($n = 3$) превышение амплитуды составляет $E_{gr}/E_0 = 4,70$. Коэффициент использования пучком резонансного поля по сравнению с [1] возрастает в 1,21 раза для TE_{03} -моды ($n = 1$) и в 1,30 раза для TE_{04} -моды ($n = 3$).

При глубине канавки $b \approx \lambda_w/4$ полоса перестройки частоты TE_{03} -моды с радиационной добротностью $\log Q_{rad} \geq 1 \cdot 10^4$ не превышает 1% (рис.2, кривая 1). Для канавки с глубиной $b \approx 3\lambda_w/4$ полоса перестройки частоты ОР на TE_{04} -моду возрастает до 6% (рис.2, кривая 2).

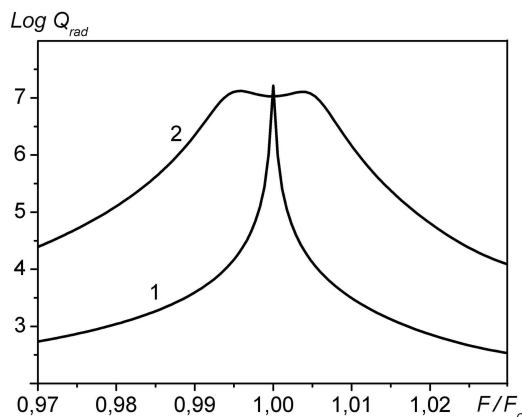


Рис. 2. Радиационные потери для TE_{03} -моды (1) и TE_{04} -моды (2) в 2D-модели ГДИ-орбитрона.

Fig. 2. The radiation losses for TE_{03} -mode (1) and TE_{04} -mode (2) in 2D-model of DRO-orbitron.

Если в спектре ОР со двоекной гребенкой [1] присутствует до 6 мод ($TE_{0q}-TE_{5q}$), то размещение двоекной гребенки в канавке способствует существенному высвечиванию высших мод: в спектре ОР ГДИ-орбитрона остается только рабочая TE_{0q} -мода и высшая TE_{1q} -мода, поле которой не проникает в двоекную гребенку.

III. Заключение

Размещение двоекной гребенки в прямоугольной канавке на зеркале ОР приводит к увеличению коэффициента использования электронным пучком резонансного поля в ГДИ-орбитроне и способствует эффективному высвечиванию высших мод, что позволяет преодолеть трудности при продвижении в терагерцевый диапазон.

IV. Список литературы

- [1] Еремка В. Д., Корнеев В. К., Скрынник Б. К., Шестопалов В. П. А. С. 669963 (СССР). Генератор дифракционного излучения. 1976.
- [2] Импульсные широкодиапазонные оротроны миллиметровых и субмиллиметровых волн / В.Л. Братман, В.А. Гинцбург, Ю.А. Гришин, Б.С. Думеш, Ф.С. Русин, А.Э. Федотов // Изв. вузов. Радиофизика. 2006. Т. XLIX. №11. С. 958—963.
- [3] Research on orotron oscillator with dispersive open resonant system / O.I. Belous, A.I. Fisun, A.A. Kirilenko, V.K. Korneenko, V.S. Miroshnichenko // International Journal of Infrared and Millimeter Waves. 1997. Vol. 18. No.2. P. 445—461.
- [4] ГДИ мм диапазона с резонансной ступенчатой неоднородностью на зеркале / В.С. Мирошниченко, М.Ю. Демченко, Е.Б. Сенкевич, Б.К. Скрынник // 15-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2005): материалы конф. в 2 т. (Севастополь, 12—16 сент. 2005 г.). Севастополь: Вебер, 2005. Т. 1. С. 271—272.
- [5] Открытый резонатор с прямоугольной канавкой на зеркале, теория и эксперимент / М.Ю. Демченко, В. К. Корнеев, В. С. Мирошниченко, А. Е. Поединчук, Ю. А. Тучкин, Ю. В. Свищев // Радиофизика и электроника. Сб. трудов ИРЭ НАН Украины. 2000. Т. 5. №3. С. 19—28.

Работа выполнена при поддержке гранта ГФФИ Украины №Ф41/124-2011 в соответствии с «Договором о сотрудничестве между Государственным фондом фундаментальных исследований Украины и Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований»

THE ELECTRODYNAMICAL SYSTEM OF DRO-ORBITRON WITH DOUBLED COMB

Demchenko M. Yu., Yeryomka V. D.,
Miroshnichenko V. S.

Usikov's Institute of Radio Physics and
Electronics of the NAS of Ukraine

12, Ak. Proskury st., Kharkiv, 61085, Ukraine

Ph.: (057)-720-33-93. e-mail: mirosh@ire.kharkov.ua

Abstract — The results obtained from optimizing the parameters of the electro-dynamic DRO-orbitron system with a periodic structure in the form of a binary comb placed in a rectangular groove on one of the open resonator (OR) mirror are presented. The rectangular groove acts as a quarter-wave transformer and is conducive to an increase in the resonance field amplitude in the transit channel between the combs. If the depth and the width of groove are chosen to be optimal, then the field of the operating TE_{00q} -mode tends to shrink down to the groove and one can also observe a decrease in radiation losses during the effective de-excitation of higher-order modes in an OR.

I. Introduction

The vacuum extended interaction oscillators in with the high-Q ORs acts an oscillatory circuit, specifically, orotron and FRO remain to be promising sources of medium-power radiation over the mm-wave and terahertz ranges. In the eforementioned sources, as the operating wavelength gets shortened, ohmic losses are seen to increase, which is the consequence of a microwave skin effect. It leads to a growth both in the start-up current and in the required density of a change in a sheet electron flow. In addition to this, a search stimulated for an optimal geometry of interaction space between electrons and waves, which promotes an increase in the coefficient of using an electron beam. Yet another problem to be tackled is the oscillation spectrum crowding in an OR when a wavelength gets shortened. To improve the field distribution in a sheet beam thickness a suggestion was made to use a doubled comb structure in a DRO [1], and a multi-row comb arrangement – in an orotron [2]. The problem of oscillations spectrum crowding was solved by placing the stepped irregularities on one of the mirrors of the DRO resonance system [3, 4].

The present communication carries the results obtained from optimizing the DRO OR in which the binary comb matched to the resonance field by means of a waveguide transformer in the form of a rectangular groove made on the OR immobile mirror. The estimates that have been made for a 2D-model of resonance system of the DRO-orbitron specify both an increase in the coefficient of using the sheet beam by the interaction with resonance field and the variations in the radiation losses of operating TE_{0q} -mode in frequency tuning band.

II. Main Part

The electro-dynamical system of DRO-orbitron is shown on Fig.1a and consists of a double-mirror spherocylindrical OR. The binary comb having a transit channel for a sheet beam is located on the bottom of a rectangular groove made on the immobile cylindrical mirror. As far as E -polarized oscillation in the resonance system of DRO-orbitron is concerned, the analysis of 2D-model was performed, in which the elementary waveguides a formed by opposing slits of the doubled comb are replaced with a segment of the two-dimensional waveguide of width c and length d (Fig.1,b). A rigorous analysis of a radiation Q-factor of TE_{mq} -mode and the structure of fields in the 2D-model (Fig.1,b) has been done using a complex of programs meant for examining two-dimensional ORs with an arbitrary profile of mirrors [5].

At $b = \frac{n}{4} \cdot \frac{\lambda}{\sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}}$, ($n = 1, 3, 5, \dots$) the rectangular groove

plays the role of a quarter-wave transformer that pulls the resonance oscillation field down to the groove with, thereby reducing the radiation losses and increasing an electric field amplitude in the binary comb E_{gr} . For a TE_{03} -mode ($n = 1$), a higher field amplitude in the binary comb as compared to the field amplitude in the OR-volume is equal to $E_{gr}/E_0 = 5,06$, whereas for a TE_{04} -mode ($n = 3$) a higher value of the amplitude is $E_{gr}/E_0 = 4,70$. The coefficient of using the resonant The coupling factor between electron beam and resonance field as compared to [1] increases by a factor of 1.21 for TE_{03} -mode ($n=1$) and by a factor of 1.30 for TE_{04} -mode ($n=3$).

For a groove depth of $b \approx \lambda_c/4$ the frequency band of a TE_{03} -mode with a radiation Q-factor $\log Q_{rad} \geq 1 \cdot 10^4$ does not exceed 1% (Fig.2, curve 1). For a groove with $b \approx 3\lambda_c/4$ in depth, the frequency change band of OR frequency on the TE_{04} -mode tends to rise up to 6% (Fig.2, curve 2).

If the OR spectrum with a binary comb [1] contains up to 6 modes ($TE_{0q} - TE_{5q}$), the placement of the doubled comb in a groove is a conducive to a significant de-excitation of higher-order modes: the spectrum of the DRO-orbictron OR holds only the operating TE_{0q} -mode and the higher-order TE_{1q} -mode, the field of which does not penetrate into the doubled-comb structure.

III. Conclusion

The placement of the doubled comb in a rectangular groove on the OR immobile mirror leads to an increase in the coefficient of applying an electron magnification of a coupling factor between electron beam and resonant field in DRO-orbictron and contributes toward de-excitation of higher-order modes. This helps to overcome the difficulties in designing and developing O-type THz frequency range devices.

IV. References

- [1] V. D. Yeryomka, V. K. Korneenkov, B. K. Skrynnik, V. P. Shestopalov (in Russian). "SU Patent 669963. Diffraction Radiation Oscillator". 1976.
- [2] V. L. Bratman, V. A. Gintzburg, Ju. A. Grishin, B. S. Dumesh, F. S. Rusin, A. E. Fedotov "Pulse wide-range millimeter and submillimeter wave orotrons". *Radiophysics and Quantum Electronics*, vol. XLIX, №11. pp. 958-963, 2006.
- [3] O. I. Belous, A. I. Fisun, A. A. Kirilenko, V. K. Korneenkov, V. S. Miroshnichenko. "Research on orotron oscillator with dispersive open resonant system". *International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, vol. 18, No.2, pp. 445-461, 1997.
- [4] V. S. Miroshnichenko, M. Ju. Demchenko, E. B. Senkevich, B. K. Skrynnik. "Diffraction radiation oscillator with resonant groove on the mirror". *2005 15th International Crimean Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2005). Conference Proceedings. September 12-16, 2005 – Sevastopol: Weber Publishing Co., vol.1, pp.271-272, 2005.*
- [5] M. Ju. Demchenko, V. K. Korneenkov, V. S. Miroshnichenko, A. Ye. Poyedinchuk, Yu. A. Tuchkin, Yu. V. Svichshev. "Open resonator with rectangular groove on mirror: theory and experiment". *Svishchev. (in Russian) Radiophysiks and Electronics*, vol. 5, No 3, pp. 19-28, 2000.