

Компьютерное моделирование нелинейных нестационарных процессов в двухкаскадном клистронном генераторе*

К. В. Белов¹✉, Н. М. Рыскин^{1,2}, В. В. Емельянов¹

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н.Г. Чернышевского

²Саратовский филиал Института радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН

✉ belovkv@sgu.ru

В последнее время значительные усилия исследователей направлены на разработку миниатюрных источников колебаний миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов, изготавливаемых при помощи современных технологий вакуумной микроэлектроники, см., например, обзорные работы [1, 2]. Недавние технологические успехи вакуумной микроэлектроники открыли пути создания миниатюрных аналогов «классических» вакуумных электронных приборов, таких как отражательный клистрон, лампы бегущей и обратной волны [4], клистроны с распределенным взаимодействием др. [3]. Они будут иметь огромное значение для систем связи, радиолокации, спектроскопии, обработки материалов и т. д. Естественным способом преодолеть эти трудности является переход к многолучевым конструкциям. В работе [5] была предложена схема двухкаскадного генератора из двух пролётных двухрезонаторных клистронов. Уравнения самовозбуждения резонаторов имеют вид:

$$\dot{A}_{11} + \frac{\omega_0}{2Q_0} A_{11} = \frac{i\omega_0\beta}{2} (A_{11} - A_{22}), \quad (1)$$

$$\dot{A}_{12} + \frac{\omega_0}{2Q_L} A_{12} = \frac{i\omega_0\beta}{2} (A_{12} - A_{21}) - i\omega_0 K M I_0 J_1(X_1) e^{i(\phi_{11} - \theta_0)}, \quad (2)$$

где $X_1 = M|A_{11}|\theta_0/2V_0$ – параметр группировки электронного пучка, $\theta_0 = \omega_0 l/v_0$ – угол пролета в пространстве между центрами зазоров резонаторов, $\varphi_{11} = \arg(A_{11})$ – фаза поля во входном резонаторе, β – коэффициент связи, Q_0 – холодная добротность резонаторов, Q_L – нагруженная добротность выходных резонаторов. Для нахождения характеристического уравнения генератора требуется отыскать решение в виде гармонического сигнала. После линеаризации получим характеристическое уравнение в виде (3):

$$D(\omega) = (i(\Delta'(\omega) - \mu') + 1)(i(\Delta(\omega) - \mu) + 1) + \mu\mu'. \quad (3)$$

*Работа поддержана РФФИ, грант № 14-02-31410.

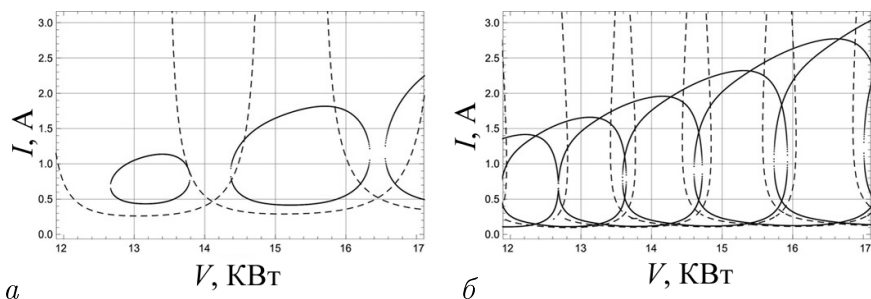


Рис. 1. Зависимость величины стартового тока от ускоряющего напряжения для двухрезонаторных (а) и трёхрезонаторных (б) клистронов. Пунктирной линией изображены кривые, соответствующие нижней границе зон генерации, построенным для кинематического случая. Сплошными линиями построены верхние и нижние границы самовозбуждения с учетом пространственного заряда. На графиках изображены зоны генерации с номерами $n = 11...13$ (а) и $n = 23...28$ (б)

Граница самовозбуждения проходит по нижней огибающей зон генерации. Из сравнения рис. 1, а и 1, б видно, что количество зон генерации на одном диапазоне напряжений выросло, вместе с тем значительно снизился стартовый ток генератора.

Список литературы

1. *Booske J. H.* Plasma physics and related challenges of millimeter-wave-to-terahertz and high power microwave generation // *Phys. Plasmas*. 2008. Vol. 15, no. 5. 055502.
2. *Booske J. H., Doobbs R. J., Joye C. D., Kory C. L., Neil G. R., Park G.-S., Park J., Temkin R. J.* Vacuum electronic high power terahertz sources // *IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol.* 2011. Vol. 1, no. 1. P. 54–75.
3. *Трубецков Д. И., Вдовина Г. М.* О современном состоянии сверхвысокочастотных вакуумных электронных и микроэлектронных приборов с управляемой эмиссией // *Известия вузов. ПНД*. 2013. Т. 21, № 1. С. 35–66.
4. *Трубецков Д. И., Храмов А. Е.* Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. В 2 т. Т. 1. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 496 с.
5. *Shin Y.-M., Han S. T., Jeon S. G., Jang K. H., So J. K., Park G.-S.* Development of counter-streaming multi-beam oscillator based on cold cathode // *Technical Digest of the 17th International Vacuum Nanoelectronics Conference, IVNC 2004*. P. 154–155.