

## Библиографический список

1. Солнцев В.А. Анализ уравнений дискретного электронно-волнового взаимодействия и группировки электронных потоков в периодических и псевдопериодических замедляющих системах / В.А.Солнцев, Р.П. Колтунов // Радиотехника и электроника. 2008. Т.53. № 6. С. 738-751.
2. Мухин С.В. Исследование полосовых свойств локального импеданса связи замедляющих систем / С.В. Мухин, Д.Ю. Никонов, В.А. Солнцев // Радиотехника и электроника. 2008. Т.53. №10. С. 1324 -1332.
3. Солнцев В.А. Разностное уравнение возбуждения периодических волноводов нестационарным продольным током. / В.А. Солнцев // Актуальные проблемы электронного приборостроения: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Саратов: ИЦ «Наука», 2010. С. 82-86.
4. Трубецков Д.И. Лекции по СВЧ-электронике для физиков: в 2 т. / Д.И. Трубецков, А.Е. Храмов. М.: Физматлит, 2003. Т.1. 496 с.
5. Мелихов В.О. Моделирование нестационарных процессов в лампе обратной волны с автомодуляцией эмиссии (карсинотроде) / В.О. Мелихов, М.В. Назарова, В.А. Солнцев // Радиотехника и электроника. 2009. Т.54. № 12. С. 1481-1490.

УДК 621.385.632

**М.В. Назарова, В.А. Солнцев**

Московский государственный институт электроники и математики,  
e-mail: av169543@comtv.ru

### **ТРАЕКТОРНЫЙ АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ КАРСИНОТРОДА**

M.V. Nazarova, V.A. Solntsev

Moscow State Institute of Electronics and Mathematics

### **TRAJECTORIES ANALYSIS FOR AN OPTIMAL REGIME OF CARSIHOTRODE**

The non-stationary model and its program realization for simulating carsinotrodes show the opportunity of a considerable increase of the efficiency  $\eta$ . The four main parameters are chosen for the optimal variant with  $\eta=82\%$  and the phase trajectories are presented for several time moments. The physical explanation of such high efficiency are considered.

Карсинотрод представляет собой лампу обратной волны (ЛОБ) с цепью катодной обратной связи (КОС), по которой мощность выходного сигнала ЛОБ полностью или частично передается на катод и модулирует электронный поток, влетающий в замедляющую систему (ЗС) [1].

Физические соображения, теоретическое исследование и моделирование стационарных и нестационарных процессов в карсинотроде показали возможность существенного увеличения КПД карсинотрода (до 80 %) по сравнению с обычной ЛОВ при сохранении присущей ЛОВ электронной перестройки частоты [2-4]. Целью настоящей работы является анализ трансформации траекторий и группировки электронов в процессе установления колебаний для найденного в [4] режима работы карсинотрода с КПД=80%. Напряжение между катодом и сеткой (первым анодом) электронной пушки карсинотрода представляет сумму статического напряжения и ВЧ-напряжения, передаваемого по КОС с выхода ЗС

$$U = U_0 + U_1 \cos \omega t_0 = U_{\text{макс}} (1 - \mu + \mu \cdot \cos \omega t_0), \quad (1)$$

где  $\mu = U_1 / U_{\text{макс}}$  - коэффициент модуляции по отношению к максимальному напряжению  $U_{\text{макс}} = U_0 + U_1$ . Как и в [4], рассматриваем термокатоды и используем для тока эмиссии  $J$  закон степени «3/2»

$$J = P \cdot U^{3/2}, \quad (2)$$

где  $P$  - первеанс. В процессе установления колебаний величина  $\mu$  возрастает, т.к. увеличивается напряжение  $U_1$ . При малом ВЧ-напряжении отсечки тока нет, когда  $\mu \leq 0,5$ . С ростом  $\mu$  появляется отсечка тока с углом отсечки  $\theta$ , определяемым соотношением

$$\cos \theta = 1 - 1/\mu \quad \text{при } \mu > 0,5. \quad (3)$$

При  $\mu = 1$  имеем  $\theta = \pi/2$ , что соответствует режиму класса «В» диода катод-сетка.

При моделировании процесса установления колебаний в карсинотроде используются система уравнений, математическая модель и программа GAMS3, приведённые в [4]. Рассматривается безразмерное медленно меняющееся во времени поле  $F(0, \tau) = U(0, \tau) / U_{\text{нор}}$  на выходе ЗС, определяющее модулирующее эмиссию поле на катоде  $F_k(\tau) = K_{\text{ос}} \cdot F(0, \tau)$ , где  $K_{\text{ос}}$  - коэффициент передачи цепи КОС,  $U_{\text{нор}}$  - постоянная нормировки. Коэффициент модуляции  $\mu$  удобно представить через  $|F(0, \tau)|$  в виде

$$\mu = \frac{|K_{\text{ос}}| \cdot U(0, \tau)}{U_0 + |K_{\text{ос}}| \cdot U(0, \tau)} = \frac{G \cdot F(0, \tau)}{1 + G \cdot F(0, \tau)},$$

где параметр  $G$  имеет смысл параметра обратной связи и определяется отношением коэффициента модуляции к величине нормированного статического напряжения.

Для моделирования траекторий в программе GAMS3 задавались безразмерные параметры, введенные в [4]:  $L$  - безразмерная длина лампы,  $\varepsilon$  - параметр усиления,  $G$  - параметр обратной связи,  $\varphi_{\text{ос}}$  - фаза обратной

связи. На рис. 1-4 представлены результаты, показывающие изменение безразмерного ВЧ-поля  $|F|$  на выходе ЛОВ и траекторий электронов в процессе установления колебаний для варианта  $L=1$ ,  $\varepsilon=0,1$ ,  $G=1,3$ ,  $\varphi_{oc} = -2,3$ . Этому варианту соответствует максимальный КПД карсинотрода, равный 82 % в установившемся режиме, который вычисляется через  $F(0, \tau)$  по формуле (35) статьи [4]. Отметим, что на графиках рис. 1-6 в обозначениях полагается, что  $t \equiv \tau$  - безразмерное время,  $z \equiv \zeta$  - координата вдоль длины лампы.

Из рис. 1 видно, что на начальном этапе развития колебаний при  $0 < t < 3$  происходит медленное нарастание выходного поля, которое сменяется при  $\tau \approx 3$  его интенсивным ростом и переходом в стационарное состояние с максимальным для данного варианта КПД. Такое поведение поля можно объяснить изменением группировки электронов во времени, которое представлено на рис. 2-4 для фазовых траекторий. При  $\tau < 3$  происходит медленное образование сгустка электронов, а при  $\tau = 3$  образуется плотный сгусток в середине лампы ( $\zeta \approx 0,5$ ). Далее он смещается к началу лампы, переходя в интенсивное ВЧ-поле и продолжая уплотняться. В результате получается указанный высокий КПД. На рис. 5 показано изменение во времени коэффициента модуляции  $\mu$  с максимальным значением  $\mu = 0,98$  в стационарном режиме. Таким образом, образованный катодом и сеткой (первым анодом) диод переходит в режим работы класса «В» с небольшой фазовой шириной сгустка (рис. 6), что объясняет полученный высокий КПД.

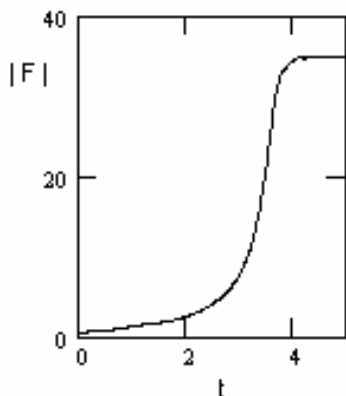


Рис. 1

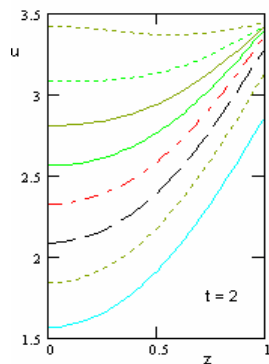


Рис. 2

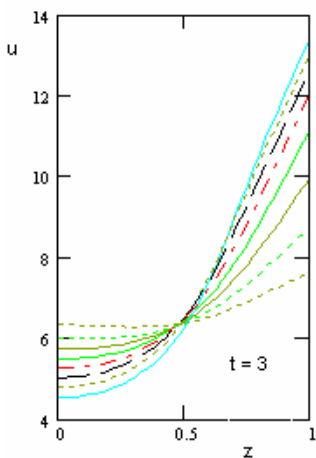


Рис. 3

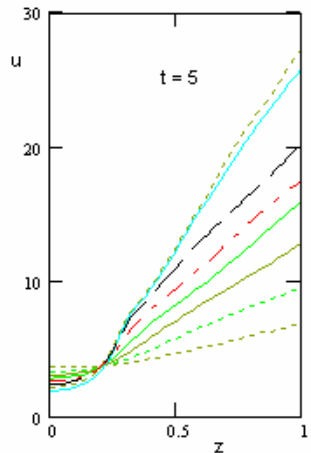


Рис. 4

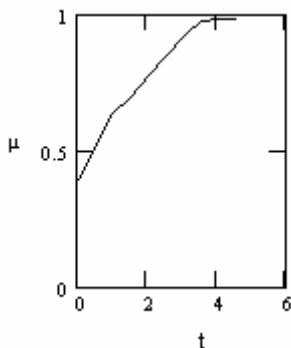


Рис. 5

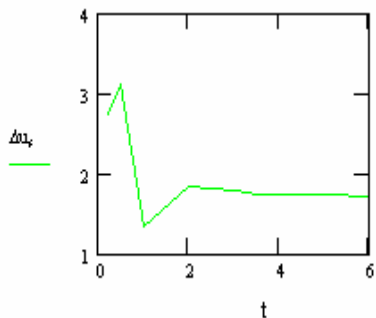


Рис. 6

#### Библиографический список

1. Патент на изобретение 2121194RU2121194C1. Карсинотрод. В.А. Солнцев. Б.И. № 30. 27.10.98.
2. Солнцев В.А. Нелинейные явления в вакуумных микронных структурах / В.А. Солнцев // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 1998. Т. 6. №1. С. 54-74.
3. Солнцев В.А. Исследование характеристик лампы обратной волны с автомодуляцией эмиссии / В.А. Солнцев, Р.П. Колтунов, В.О. Мелихов // Радиотехника и электроника. 2005. Т.50. № 14. С. 483-490.
4. Мелихов В.О. Моделирование нестационарных процессов в лампе обратной волны с автомодуляцией эмиссии (карсинотроде) / В.О. Мелихов, М.В. Назарова, В.А. Солнцев // Радиотехника и электроника. 2009. Т.54. № 12. С. 1481-1490.