

ХАОТИЧЕСКИЕ И ГИПЕРХАОТИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГИРОКЛИСТРОНА С ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

О.Б. Исаева^{1,2}, Р.М. Розенталь³, А.Г. Рожнев^{1,2}

¹Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

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

³Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

E-mail: IsaevaO@rambler.ru

Гироклистроны являются наиболее исследованным типом гиросилителей, позволяющими в миллиметровом диапазоне получать излучение с мощностью до 10 МВт. При этом определенный интерес представляет получение хаотических режимов генерации, которые, по аналогии с другими типами усилителей, могут быть реализованы путем введения запаздывающей обратной связи. Ниже представлены результаты исследования характеристик излучения гироклистрона 3 мм диапазона, выполненные на основе нестационарной модели с нефиксированной структурой поля [1], дополненной условием на входе усилителя $A_0(t) = rA(t - t_0)$, где $A(t)$ – сигнал на выходе системы.

Для распределенных моделей электронных устройств статистический анализ временных рядов [2] зачастую оказывается единственным возможным способом выявления динамических свойств системы. Полученные в моделировании временные ряды, включающие в себя $\sim 2 \times 10^5$ отсчетов, были обработаны с использованием алгоритма из работы [3] для получения спектра ляпуновских показателей. В исследуемой системе наряду с периодическими и хаотическими режимами генерации были выявлены и гиперхаотические режимы, что подтверждается положительными значениями двух показателей Ляпунова (см. табл., рис. 1). Следует отметить, что ранее возможность гиперхаоса в гиросистемах отмечалась лишь для гиротрона [4].

На графике зависимости от параметра ляпуновских показателей обнаружены участки хаоса и гиперхаоса, перемежающиеся окнами периодичности (см. рис.1 ж). На рис.1 з на диаграмме зависимости от параметра распределения автокорреляционной функции видно насколько быстрее она убывает с увеличением временного масштаба в гиперхаотических областях по сравнению с хаотическими. В окнах регулярного поведения (1, 5, 8 и 12-я вертикальные полосы) по расстоянию между достигающими единицы максимумами (черный цвет) можно определить абсолютное значение периода реализующегося цикла. Период циклов относительно собственных колебаний по количеству локальных максимумов между двумя единичными можно оценить как 4, 6, 4 и 6 для окон из полос 1, 5, 8 и 12 соответственно,

Табл. Ляпуновские показатели для трех характерных режимов генерации.

Периодический режим при $r = 0.75$	$\lambda_1\Delta t = 0.0000$, $\lambda_2\Delta t = -0.0001$, $\lambda_3\Delta t = -0.0009$, $\lambda_4\Delta t = -0.0037$, $\lambda_5\Delta t = -0.0128$
Хаотический режим при $r = 0.67$	$\lambda_1\Delta t = 0.0011$, $\lambda_2\Delta t = 0.0000$, $\lambda_3\Delta t = -0.0009$, $\lambda_4\Delta t = -0.0029$, $\lambda_5\Delta t = -0.0087$
Гиперхаотический режим при $r = 0.8$	$\lambda_1\Delta t = 0.0062$, $\lambda_2\Delta t = 0.0026$, $\lambda_3\Delta t = 0.0000$, $\lambda_4\Delta t = -0.0032$, $\lambda_5\Delta t = -0.0099$.

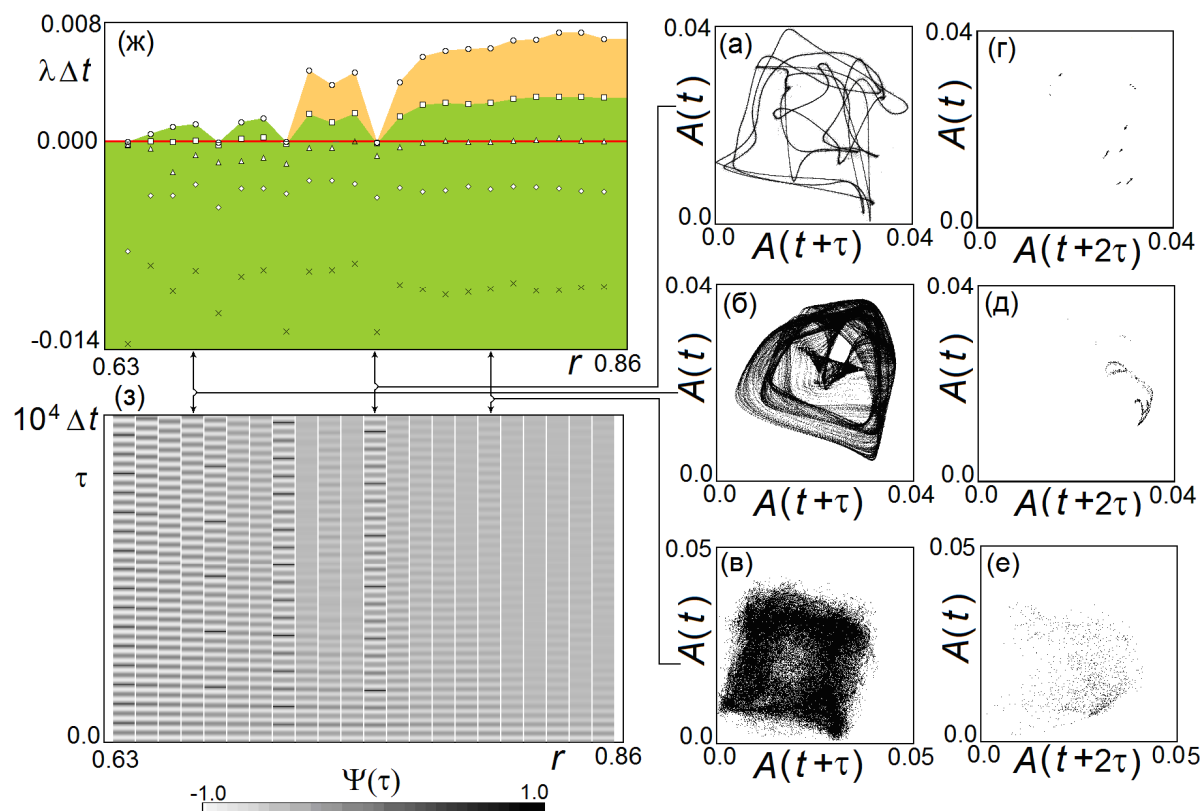


Рис. 1. Фазовые портреты при значениях параметра $r = 0.75$ (а), 0.67 (б), 0.8 (в), отвечающие им сечения Пуанкаре плоскостью $A(t) = A(t + \tau)$ (г-е). Зависимость от параметра ляпуновских показателей (ж) и автокорреляционной функции (з).

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 16-02-00745). Анализ временных рядов и расчет показателей Ляпунова выполнены за счет РНФ (проект №17-12-01008)

Библиографический список

1. Ginzburg N.S., Rozental R.M., Sergeev A.S., Zotova I.V. // Phys. Plasmas. 2016. Vol. 23. P. 033108.
2. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005.
3. Sano M., Sawada Y. // Phys. Rev. Lett. 1985. Vol. 55. P.1082.
4. Blokhina E.V., Kuznetsov S.P., Rozhnev A.G. // IEEE Trans. Electron. Dev. 2007. Vol.54, No.2. P. 188.