

## The simplified figure of merit rate of the aerial thermal imaging equipment

V. A. Ovsyannikov, V. L. Philippov  
FSUE NPO "State Institute of Applied Optics", Kazan, Russia

*For the comparison of the efficiency of the samples of the aerial thermal imaging equipment it is advisable to use the maximum effective productivity – maximized (by carrier altitude) area, which is scanned per unit of time with the ground resolution no worse than the set value. The design procedure of this figure of merit.*

УДК 621

## Динамика автогенераторов на диоде Ганна с магнитной перестройкой

И. Н. Антонов, А. В. Пивоваров  
Саратовский государственный технический университет, г. Саратов, Россия

Г. А. Овчинникова  
Московский авиационный институт (Технический университет), Москва, Россия

*Представлены результаты исследования функциональных возможностей СВЧ-автогенераторов на микрополосковых линиях передачи.*

Для определения функциональных возможностей СВЧ-автогенераторов на микрополосковых линиях передачи исследовались лабораторные макеты, реализующие известные физические принципы воздействия на распространение электромагнитной волны (ЭМВ) в линии с помощью локальных магнитных полей, влияющих на ЖИГ-среду.

Генератор на диоде Ганна типа 3А726Д выполнен в микрополосковом варианте на несимметричной микрополосковой линии с ферритовым заполнением в качестве диэлектрика. На рис. 1 представлена топология автогенератора, диод Ганна 2 расположен в центре микрополоскового резонатора 1 на подложке из феррита марки ЗОСЧ 5. Конструкция позволяет отбирать максимальную мощность от активного элемента в режиме генерации монохроматического сигнала. Внесение локальной неоднородности приводит к динамической неустойчивости всей системы.

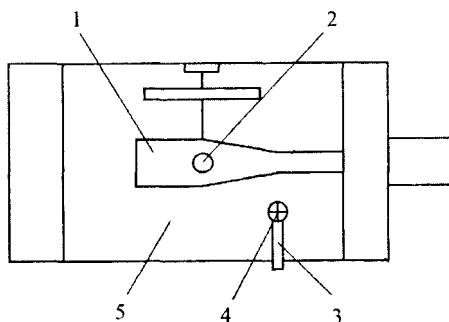


Рис. 1. Топология автогенератора

Наличие неоднородности в тракте микрополоскового автогенератора создает условия для возникновения дополнительного резонатора. Соотношение частот основного и созданного дополнительного резонаторов, характер и величина связи резонаторов собственно определяют режимы работы автогенераторов (монохроматический, многочастотный, дискретный, шумовой). Локальная неоднородность в тракте автогенератора создается цилиндрическим магнитом 3 с конусным наконечником 4 из магнитомягкого материала. Магнит может свободно перемещаться в плоскости ферритовой подложки 5. Величина магнитного поля между подложкой и конусным наконечником регулируется в пределах 0—0,06 Тл за счет изменения расстояния от магнита до подложки, что приводит к изменению величины локальной неоднородности по магнитному полю. На рис. 2 приведены результаты исследования перестройки по частоте шумового автогенератора внешним магнитным полем. Из рис. 3 следует, что с ростом внешнего магнитного поля от 0,01 до 0,15 Тл  $f_0$  увеличивается от 12,0 до 13,5 ГГц.

Система критична к размещению магнита, и поэтому положение его для установления того или иного режима подбиралось экспериментально. Теоретический анализ таких динамических систем приведен ниже.

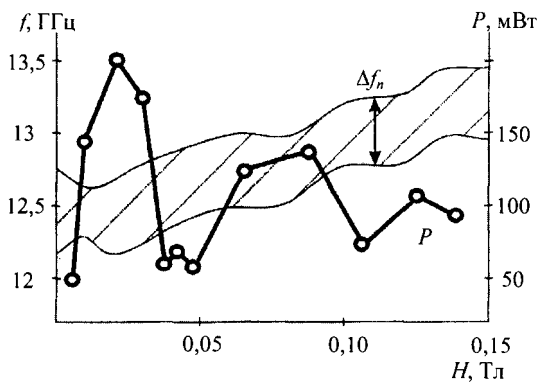


Рис. 2. Перестройка по частоте шумового автогенератора внешним магнитным полем

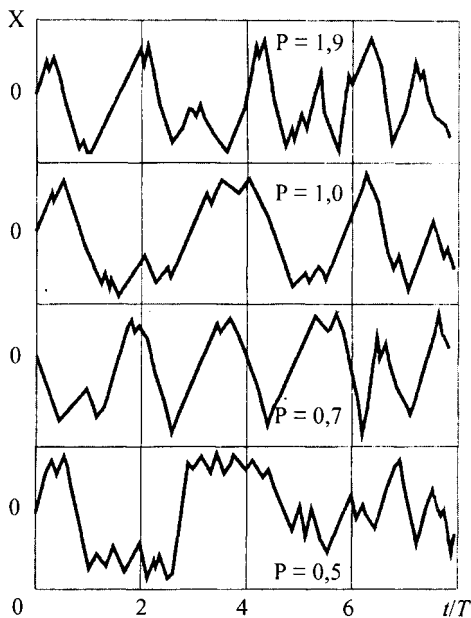


Рис. 3. Амплитудные реализации системы при различных значениях параметра P

Для исследования влияния внешнего однородного магнитного поля  $H_0$  на работу шумового автогенератора он размещался в зазоре между полюсами электромагнита так, чтобы однородное поле  $H_0$  было касательным к поверхности ферритовой подложки 5 (см. рис. 1). При  $H_0 = 0$ , когда внешнее от электромагнита поле отсутствует, генератор в стохастическом режиме имеет выходную мощность  $P_{out} = 100-150$  мВт, полосу шумового спектра  $\Delta f_n = 200-300$  МГц, а в частотном диапазоне — 12–14 ГГц в зависимости от выбора рабочей точки диода (см. рис. 2 при  $H_0 = 0$ ), напряжение на диоде  $U = 6,2-7,4$  В. Введение внешнего магнитного поля  $H_0$  при значениях  $H_{01} = 0,001-0,010$  Тл приводит к переключениям по частоте и режиму неустойчивости шумовой генерации, что, по-видимому, связано с процессом установления взаимодействия электродинамической системы с внешним полем. При этом можно наблюдать чередование дискретного и шумового спектров. Дальнейшее увеличение  $H_0$ , начиная с  $H_0 > H_{01}$ , обеспечивало

стабильную шумовую генерацию. Наблюдалась перестройка центральной частоты шума в пределах  $f_0 = 12,41-13,94$  ГГц. Мощность на выходе устройства  $P_{out} = 30-60$  мВт. Дальнейшее увеличение  $H_0 > 0,16$  Тл привело к срыву генерации, что можно объяснить существенным изменением резонансной системы автогенератора под воздействием внешнего поля и нарушением условий генерации.

В основе физических представлений развития стохастических процессов в автогенераторе на диоде Ганна с основным и дополнительным резонаторами лежит анализ динамических систем с малым числом степеней свободы (в нашем случае две).

Рассмотрим связанные системы на примере двухконтурных автогенераторов. В индуктивно связанных контурах будем считать токи независимыми координатами. Характеристику нелинейного элемента можно аппроксимировать кубическим полиномом

$$U = r_0 i_1 - \frac{1}{3} r_2 i_2^3.$$

Такая схема описывается системой дифференциальных уравнений вида

$$\begin{aligned} i_1 &= x; \\ i_2 &= y; \\ x' + 2(\delta_0 + \delta_1 i_1^2)x + v_1^2 i_1 + \alpha_1 i_2 &= 0; \\ y' + 2\delta_2 y + v_2^2 i_2 + \alpha_2 i_1 &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $v_1^2, v_2^2$  — квадраты парциальных частот контуров соответственно равны

$$v_1^2 = \frac{1}{L_1 C_1}; \quad v_2^2 = \frac{1}{L_2 \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)};$$

$$\alpha_1 = \frac{1}{L_1 C_2}; \quad \alpha_2 = \frac{1}{L_2 C_1};$$

$$2\delta_0 = \frac{R_1 - r_0}{L_1}; \quad 2\delta_1 = \frac{r_2}{L_1}; \quad 2\delta_2 = \frac{R_2}{L_2}.$$

Очевидно, что решение системы (1) может быть весьма сложным в зависимости от коэффициентов и характера нелинейности. Подробно рассмотрим модель динамической системы, состоящей из двух контуров с емкостной связью между ними.

Колебания в системах с большим числом степеней свободы можно возбудить различными способами, причем форма колебаний и их частота зависят от способа возбуждения. Чем сильнее связь, тем эффективнее взаимное влияние контуров. За счет связи колебаний наблюдаемые при их возникновении процессы отличаются от ранее исследованных. С увеличением числа сте-

пней свободы можно без особых трудностей перейти к колебаниям сплошной среды.

Андронов и Витт исследовали динамическую систему с парциальными частотами

$$\omega_{01} = \frac{1}{\sqrt{L_1(C_1 + C_0)}}; \quad \omega_{02} = \frac{1}{\sqrt{L_2(C_2 + C_0)}},$$

где  $L_1, C_1, L_2, C_2$  — индуктивность и емкость, соответственно, первого и второго контуров;

$C_0$  — емкость связи контуров.

Рассматриваемая модель — диссипативная система, автогенератор на диоде Ганна с емкостной связью между контурами описывается системой уравнений

$$\begin{aligned} \dot{U} &= x; \\ \dot{V} &= y; \\ \dot{x} &= j \left\{ \alpha_1 \Omega^2 V + \alpha_1 \beta_2 y + U + (\beta_1 - \beta_5 (U^2 - 1)) x \right\}; \\ \dot{y} &= j \left\{ \Omega^2 V + \beta_2 y + \alpha_2 U + (\beta_1 - \beta_5 (U^2 - 1)) x \right\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $j = \frac{1}{\alpha_1 \alpha_2 - 1}$ ,  $\Omega^2 = \frac{L_1(C_1 + C_0)}{L_2(C_2 + C_0)}$  — квадрат отношения парциальных частот контура.

Коэффициенты  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \beta_5$  выражаются через параметры контуров. Динамика таких конечномерных нелинейных диссипативных систем чрезвычайно сложна, в их фазовом пространстве могут возникать различные аттракторы, включая странные. Процесс изменения режимов колебаний при изменении параметров системы подчиняется открытой Фейгенбаумом закономерности: при увеличении параметра происходят изменение устойчивого цикла и замена его циклом с удвоенным периодом. В приведенной системе дифференциальных уравнений (2) переменным параметром является  $\Omega^2$ , т. е. отношение парциальных частот. Настроив контуры на кратные частоты, в численном эксперименте важно, чтобы изменение параметра приводило к изменению одного из коэффициентов

системы уравнений, а другие оставались бы неизменными. Это существенно упрощает анализ динамической системы.

Исследование системы уравнений проводилось с помощью численного моделирования на ЭВМ комплекса программ CYCLE.

Эволюция системы (2) при изменении параметра  $\Omega^2$  развивалась по формуле

$$0,250 \leq \Omega^2 \leq 0,290,$$

т. е. цикл оставался устойчивым, гиперболическим, при значениях  $0,292 \leq \Omega^2 \leq 0,294$  размер цикла отличался от нуля и продолжал существовать, но становился седловым. При этом вблизи него рождались пара устойчивых циклов либо с ним сливалась пара седловых циклов. Возрастание  $C_0$  приводит к потере устойчивости цикла; при  $\Omega^2 = 0,950$  в системе происходит первая бифуркация. Дальнейшее увеличение связано с очередной бифуркацией, цикл исчезает, система переходит в режим стохастических колебаний. С ростом параметра  $P$  наблюдаются жесткие бифуркации, соответствующие прохождению спектра линеаризации отображения Пуанкаре через +1, в системе происходит чередование регулярного режима с «островками» хаоса. На рис. 3 представлены амплитудные реализации системы при различных значениях параметра  $P$ .

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в диссипативных системах можно реализовать несколько режимов: монохроматический, дискретный и стохастический. Эволюцией спектра можно управлять, меняя параметры контура.

Широкополосная шумовая перестройка обусловлена изменением среды во всей подложке: сохранение режима шумовой генерации в процессе перестройки объясняется тем, что в динамической системе пропорционально изменяются все соотношения связанной системы, что и позволяет ей оставаться в заданном режиме.

Статья поступила в редакцию 12 апреля 2005 г.

## Dynamics of self-oscillators on a Gunn-effect diode with magnetic reorganization

I. N. Antonov, A. V. Pivovarov  
Saratov State Technical University, Saratov, Russia

G. A. Ovchinnikova  
Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia

*The results of examination of functional capabilities of the microwave self-oscillators with microstrip transmission lines are submitted in the paper.*