

- [6] Ш и л е й к а А. Оптические исследования зонной структуры соединений $A_2B_4C_5$. В кн.: Многодолинные полупроводники (серия электроны в полупроводниках). Вильнюс, Мокслас, 1979, с. 143-193.
- [7] М е д в е д к и н Г.А., Р у д ь Ю.В. - Письма в ЖТФ, 1980, т. 6, № 16, с. 986-990.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
19 февраля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 10

26 мая 1988 г.

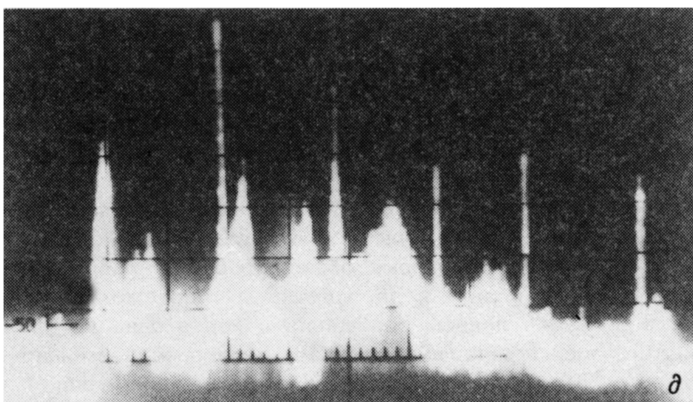
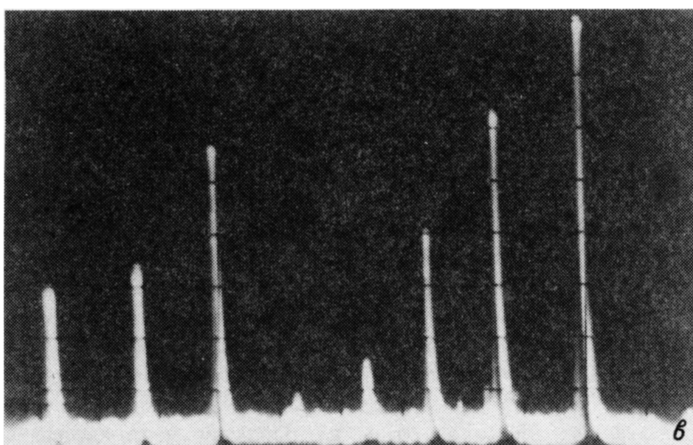
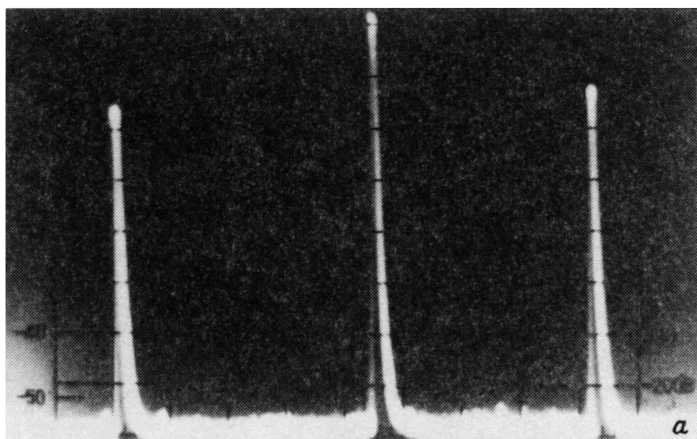
ДИНАМИЧЕСКИЙ ХАОС В СИНХРОНИЗИРУЕМЫХ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПРИ НИЗКОЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ ПАРАМЕТРОВ

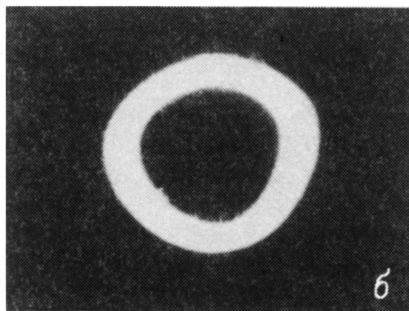
Д.М. В а в р и в, О.А. Т р е т ь я к о в,
И.Ю. Ч е р н ы ш о в

Низкочастотное воздействие на синхронизируемые автоколебательные системы широко используется для управления характеристиками выходных колебаний. В качестве примера можно сослаться на лазеры с модулированной добротностью [1], электронные генераторы [2], где применение модуляции параметров позволяет расширить полосу синхронизации. При теоретическом анализе такого воздействия на колебательные системы обычно использовались квазистатические методы (см., например, [3]), применимость которых предполагает, что низкочастотное воздействие не приводит к нарушению устойчивости системы в том смысле, что колебания остаются детерминированными. Проведенные нами систематические исследования показали, что это предположение не всегда является справедливым. Оказалось, что при периодическом изменении параметров синхронизируемого генератора с частотой f_M , которая значительно меньше его собственной частоты f_α , в системе возможно возникновение стохастической неустойчивости.

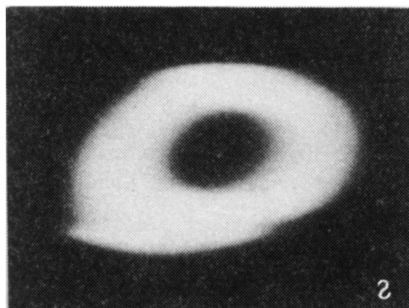
Исследование конкретных условий возникновения данной неустойчивости представляет также интерес в связи с интенсивными исследованиями в последнее время общей проблемы разрушения квазипериодических колебаний в диссипативных системах [4-6]. С этой точки зрения в данном сообщении описана одна из физических ситуаций, не рассматривавшаяся ранее, в которой возможно возникновение хаоса в результате разрушения таких колебаний.

Рассмотрим результаты экспериментальных исследований резонансного генератора волноводной конструкции [8] на диоде Ганна, который синхронизировался путем подачи стабильного колебания с





б



в



г

Рис. 1. Спектры колебаний и соответствующие им фазовые портреты для режимов синхронизации (а, б), биений (в, г) и стохастических колебаний (д, е).

частотой f_c , близкой к f_a , в колебательную систему. Добротность колебательной системы Q выбиралась достаточно большой ($Q \geq 50$), здесь не наблюдалось возбуждения стохастических колебаний в автономном режиме работы, что характерно для генераторов на диоде Ганна с низкодобротными резонаторами (см., например, [7]). В экспериментах нами использовалась схема отражательного типа, в которой синхронизируемый клистронный генератор, а также нагрузка развязаны с помощью Y -циркулятора. Низкочастотное изменение параметров генератора осуществлялось путем модуляции напряжения питания диода. В широком диапазоне изменения параметров системы и синхронизирующего сигнала при отсутствии модуляции стохастические колебания не возбуждались. Они возникали, начиная с определенных значений амплитуд модуляции и при определенных соотношениях между частотой модуляции и мощностью синхронизирующего генератора.

На рис. 2 приведена плоскость параметров (f_m, f_c), на которой выделены области, соответствующие различным режимам работы генератора при $P_c/P_a = -20$ дБ, где P_c и P_a — мощности синхросигнала и автоколебаний. Наличие низкочастотной модуляции, как и следовало ожидать, приводит к появлению дополнительных областей синхронизации в окрестности

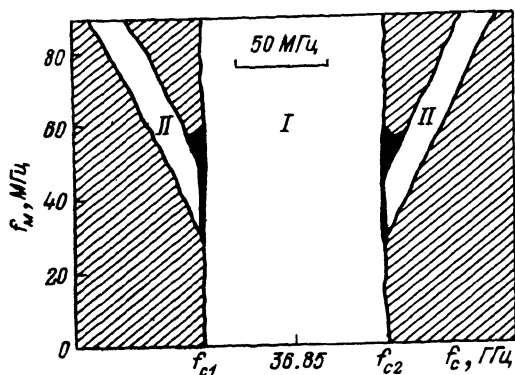


Рис. 2. Области различных режимов возбуждения генератора: I – и II – синхронизация на основной частоте их комбинационных частотах, штриховка – биения, закрашено – стохастические колебания.

комбинационных частот $f_c \pm f_M$, отходящих от основной области синхронизации. В экспериментах обнаружилось, что области синхронизации на основной частоте и комбинационных частотах разделяются областью стохастического поведения генератора (см. рис. 2). Режимы возбуждения колебаний идентифицировались путем контроля спектров выходных колебаний и фазовых портретов системы. Типичные спектры и соответствующие им фазовые портреты приведены на рис. 1 для режимов биений, синхронизации и стохастических колебаний. Относительная ширина спектров Δf всегда удовлетворяла условию $\Delta f/f_c \ll 1$ (узкополосные колебания), что характерно для квазилинейных колебательных систем. Для наблюдения фазовых портретов использовалась следующая методика. Низкочастотный сигнал, используемый для модуляции генератора, подавался на горизонтально отклоняющие пластины, а продетектированный выходной сигнал – на вертикально отклоняющие пластины осциллографа. Детерминированным колебаниям (рис. 1, а, в) соответствует цикл и тор (б, г), стохастическим колебаниям (рис. 1, д) – странный аттрактор системы (е).

Частоты модуляции, при которых возникают стохастические колебания (см. рис. 2), примерно в 10^3 раз меньше частоты автоколебаний. Данные значения f_M также меньше f_a/Q – полосы пропускания системы, что позволяет говорить именно о возникновении динамического хаоса при низкочастотном воздействии на генератор.

Исследования описанной схемы генератора, а также других типов резонансных генераторов (ламповых, на ЛПД, транзисторных) показали, что возникновение стохастических колебаний не связано с конкретными свойствами носителей заряда в диоде, например с их инерционностью. Такая неустойчивость характерна для резонансных генераторов различных типов. Необходимым условием ее воз-

никновения является неизохронность автоколебаний генераторов, т.е. наличие зависимости частоты f_c от амплитуды колебаний в системе. Общей для всех таких генераторов является также связь между параметрами синхросигнала и низкочастотной модуляции, при которой возможно возникновение хаоса. Установлено, что стохастические колебания возникают в том случае, если одна из комбинационных частот, возбуждаемых в системе, $f_c \pm n f_M$, где $n = 0, 1, 2, \dots$, попадает в область частот f_{c1} или f_{c2} , соответствующих краям полосы синхронизации при отсутствии модуляции. При этом расстояние между комбинационными частотами должно быть примерно равно ширине полосы синхронизации генератора $\Delta f_c \equiv f_{c2} - f_{c1}$. Это соответствует требованию

$$\Delta f_c \approx k f_M, \quad \text{где } k = 1, 2, \dots \quad (1)$$

При выполнении этого условия другая спектральная составляющая комбинационных частот также попадает в окрестность другой границы полосы синхронизации. Применительно к рис. 2, ширина полосы синхронизации $\Delta f_c = 100$ МГц, а стохастизация колебаний наблюдалась в окрестности частот $f_M \approx 50$ МГц, что соответствует $k = 2$ в условии (1). При этом видно, что стохастические колебания возникают при выполнении условий $f_c \approx f_{c1}$ и $f_c \approx f_{c2}$.

Эксперименты показали, что для возникновения хаоса уровень боковых составляющих в спектре по порядку величины должен приближаться к мощности колебания на центральной частоте. Это, в частности, видно из спектров, предшествующих возникновению стохастических колебаний (см. рис. 1). Понятно, что это условие может быть выполнено только при небольших k в условии (1). Поэтому стохастическая неустойчивость реально наблюдается при частотах модуляции, сравнимых по величине с шириной полосы синхронизации.

Из результатов экспериментов следует, что в данном случае, как в ряде других радиофизических систем [5, 6], при разрушении квазипериодических колебаний могут реализоваться различные последовательности бифуркаций при переходе к хаосу. Для их полного описания необходимо проведение специальных исследований (они будут представлены отдельно), основанных на применении двухпараметрического анализа [5, 6]. Для теоретического анализа процессов в рассматриваемых генераторах при низкочастотной модуляции их параметров, как оказалось, можно применять укороченные уравнения динамики генератора. Например, для исследования генератора на диоде Ганна применимы уравнения (3.16), (3.17) работы [9], если полагать в них коэффициенты, зависящие от тока, периодическими функциями времени. Численное определение условий перехода к хаосу, основанное на их решении, дало хорошее совпадение с экспериментальными данными.

Авторы выражают благодарность Б.А. Калугину, А.В. Белогорцеву, С.А. Булгакову за помощь в исследованиях.

- [1] В и н о к у р о в Г.Н. – Оптика и спектроскопия, 1971, т. 31, № 3, с. 472.
- [2] А н д р е е в В.С., Е г о р о в М.П., Т о р о п и н В.А. – Радиотехника и электроника, 1983, т. 28, № 11, с. 2286–2288.
- [3] Р о д и н а Л.П., Ш о ш и н С.А. – Изв. вузов, Радиоэлектроника, 1986, т. 29, № 1, с. 44–48.
- [4] А ф р а й м о в и ч В.С., Ш и л ь н и к о в Л.П. Методы качественной теории дифференциальных уравнений. Горький, 1983, с. 3–25.
- [5] А н и щ е н к о В.С. Стохастические колебания в радиофизических системах, Саратов: СГУ, 1985, ч. 1, 2.
- [6] А н и щ е н к о В.С. – ЖТФ, 1986, т. 56, в. 2, с. 225–237.
- [7] Б о ч а р о в Е.П., К о р о с т е л е в Г.Н., Х р и п у н о в М.В. – Радиотехника и электроника, 1985, 1985, т. 30, № 8, с. 1670–1672.
- [8] Ц а р а п к и н Д.П. Генераторы СВЧ на диодах Ганна, М.: Радио и связь, 1982. 112 с.
- [9] Ф о м и н Н.Н. Синхронизация диодных генераторов СВЧ, М.: Связь, 1974. 72 с.

Харьковский государственный
университет им. А.М. Горького

Поступило в Редакцию
27 июля 1987 г.
В окончательной редакции
27 ноября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 10

26 мая 1988 г.

СВОЙСТВА СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК
СИСТЕМЫ γ -Ва-См-О, ПОЛУЧЕННЫХ
МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Е.А. А н т о н о в а, В.Л. Р у з и н о в, С.Ю. С т а р к

Вскоре после открытия в 1986 г. высокотемпературной сверхпроводимости в окисных керамических системах [1] стало ясно, что одной из наиболее актуальных задач является создание покрытий и тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников, способных нести высокие плотности критического тока, отсутствующие в изготовленных по керамической технологии объемных образцах из-за наличия слабых связей между сверхпроводящими гранулами. Однако получение пленок и покрытий высокотемпературных сверхпроводников натолкнулось на ряд трудностей, из которых самой существенной оказалась необходимость отжига нанесенной пленки