



СИНХРОНИЗАЦИЯ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПУТЕМ ПОДАВЛЕНИЯ ХАОСА В КЛИСТРОННОМ АВТОГЕНЕРАТОРЕ ВНЕШНИМ ГАРМОНИЧЕСКИМ СИГНАЛОМ

Б.С. Дмитриев, Ю.Д. Жарков, В.Н. Скороходов, А.М. Геншафт

Экспериментально показано, что синхронизация хаотических колебаний в резонансных СВЧ-автогенераторах выражается в эффектах подавления собственной хаотической динамики, установления периодических колебаний, захвате частоты внешним гармоническим сигналом, заметным падением мощности этих колебаний.

Введение

Явление синхронизации в хаотических системах привлекает внимание исследователей [1]. В настоящее время большой интерес вызывают проблемы генерации и управления хаотическими колебаниями, их взаимодействия и синхронизации, прежде всего, с целью использования этих колебаний в системах передачи и обработки информации [2].

Для экспериментальных исследований общих закономерностей нелинейной динамики распределенных систем в СВЧ-диапазоне весьма удобным прибором является многорезонаторный клистронный автогенератор с запаздыванием, поскольку он легко может быть переведен в режим сложных, в том числе хаотических, колебаний, демонстрирует разнообразные сценарии перехода к хаосу, имеет многократное чередование регулярных и хаотических режимов, допускает простое изменение в широком диапазоне различных управляющих параметров [3].

1. Результаты экспериментальных исследований

В настоящей работе приводятся результаты экспериментального исследования эффекта хаотической синхронизации через полное подавление хаоса внешним гармоническим сигналом в резонансных СВЧ-автогенераторах с запаздыванием.

Изучаемый эффект состоит в следующем. При изменении частоты внешнего гармонического сигнала, однонаправленно воздействующего на развитый хаос исследуемого автогенератора, сначала наблюдается дискретизация спектра колебаний, а затем полное подавление собственных хаотических колебаний и установление генерации периодических колебаний, полностью совпадающих по частоте с частотой

вынуждающего сигнала. Первые исследования этого эффекта в распределенных динамических системах были проведены на ЛОВ-автогенераторе, работающем в режиме хаотических колебаний. Однако в этих опытах при воздействии внешнего сигнала наблюдалась лишь дискретизация спектра колебаний [4].

Для подробного экспериментального исследования этого эффекта в резонансных СВЧ-автогенераторах клистронного типа была собрана специальная измерительная установка, позволяющая провести исследования в широком диапазоне частот и мощностей внешнего гармонического сигнала. Схема установки приведена на рис. 1.

Установка содержит исследуемый пятирезонаторный клистрон среднего уровня мощности, генератор стандартных сигналов (ГСС), лампу бегущей волны среднего уровня мощности (ЛБВ), анализатор спектра (АС), цифровой частотомер (F_0), измеритель мощности высокочастотного сигнала (Рвч), осциллограф для наблюдения проекции фазового портрета (ФП), ферритовые вентили (ФВ), поляризационный аттенюатор (ПА), направленный ответвитель (НО), тройники и переключатели.

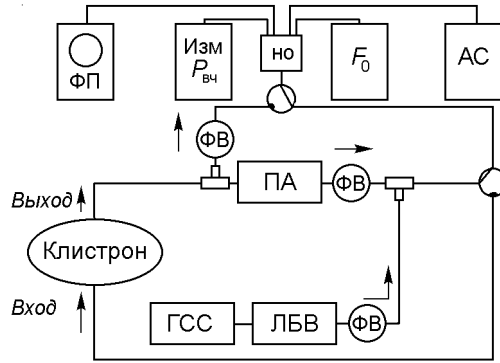


Рис. 1.

Использованная измерительная установка является универсальной, поскольку позволяет исследовать характеристики автономного клистронного автогенератора, контролировать частоту и уровень мощности внешнего гармонического сигнала от ГСС, усиленного ЛБВ, изучать характеристики неавтономного автогенератора под воздействием внешнего гармонического сигнала. Кроме того, можно исследовать параметры клистрона в режиме усиления.

Рассмотрим сначала эволюцию спектра колебаний неавтономного клистронного автогенератора при изменении частоты внешнего гармонического сигнала при условии, что мощность этого сигнала остается постоянной. Предварительно отметим, что частота автономного автогенератора в режиме периодических колебаний составляла 2798 МГц. На рис. 2, а показан исходный спектр колебаний автономного клистрона в режиме развитого хаоса.

При частоте внешнего гармонического сигнала $f = 2781$ МГц возникала дискретизация спектра колебаний исследуемого автогенератора (рис. 2, б). При дальнейшем увеличении частоты сигнала воздействия наблюдался каскад бифуркаций, обратных удвоению периода колебаний, и переход к режиму регулярной автомодуляции (рис. 2, в, г). При частоте внешнего сигнала $f = 2796$ МГц, близкой к частоте периодических колебаний автономного клистронного автогенератора, наблюдалось полное подавление собственной хаотической динамики и установление периодических колебаний, совпадающих по частоте с частотой внешнего сигнала (рис. 2, д). Полное подавление хаоса и захват частоты происходили в полосе частот $\Delta f = 6$ МГц. При дальнейшем увеличении частоты возникала дискретизация спектра колебаний, наблюдался переход к режиму хаотических колебаний и затем вновь хаотическая синхронизация.

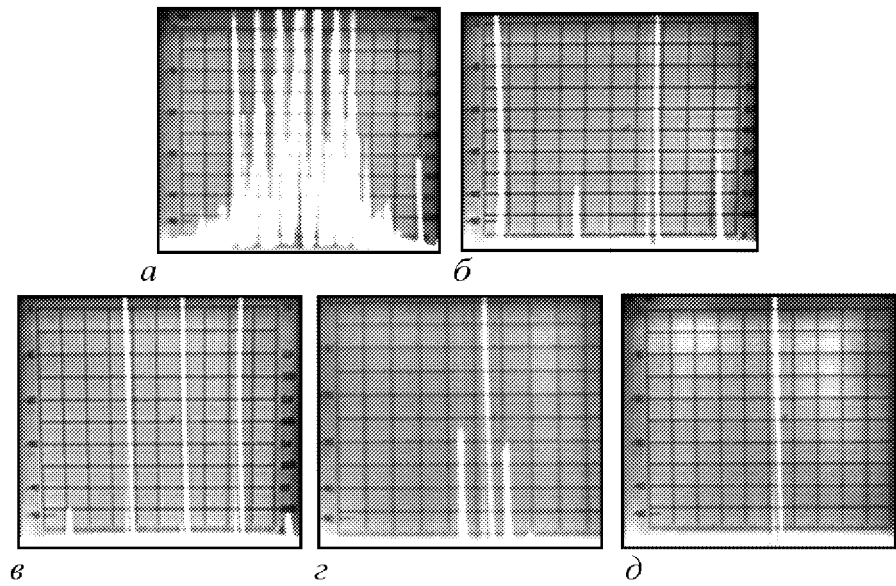


Рис. 2.

Следует указать, что подобная эволюция спектра колебаний наблюдалась и при введении затухания в линию обратной связи автономного автогенератора. Режим развитого хаоса тоже через каскад бифуркаций, обратных удвоению периода колебаний, превращался в режим генерации периодических колебаний. Захват частоты в этом случае, естественно, отсутствовал.

Таким образом, можно выделить два схожих механизма подавления собственных хаотических колебаний – либо введение внешнего гармонического воздействия определенной частоты и мощности, либо введение заметного дополнительного затухания в линию обратной связи автогенератора. Такая же аналогия была отмечена при теоретическом исследовании механизмов обобщенной синхронизации [5].

На основе анализа проведенных измерений удалось построить подробную карту динамических режимов эффекта полного подавления хаоса внешним гармоническим сигналом на плоскости параметров: нормированная мощность $P_{\text{внешн}}/P_{\text{хаос}}$ – частота внешнего сигнала f (рис. 3, а) и сопоставить ее с частотной зависимостью

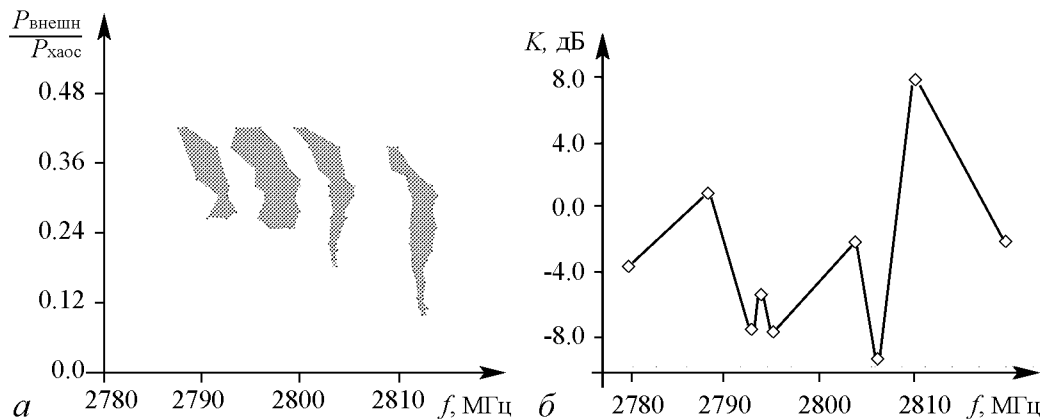


Рис. 3.

коэффициента усиления автономного клистронного усилителя (рис. 3, б). Параметры клистронного автогенератора (автономный режим): $I = 40$ мА, $U = 2190$ В, $P_{\text{хаоса}} = 1.8$ Вт (см. рис. 3, а).

Из приведенных рисунков видно, что для возникновения хаотической синхронизации через полное подавление хаоса необходимо использовать внешний сигнал значительной мощности, при которой клистронный усилитель работает в резко выраженном нелинейном режиме, о чем, в частности, свидетельствует изрезанность частотной характеристики усилительного клистрона. Отметим, что имеется несколько областей полного подавления хаоса и захвата частоты периодических колебаний автогенератора внешним сигналом, и что эти области соответствуют пикам частотной зависимости коэффициента усиления клистрона. Зависимость нормированной мощности периодических колебаний внутри области подавления и захвата имеет характерный вид: между двумя пиками наблюдается заметное падение мощности в центре области (рис. 4).

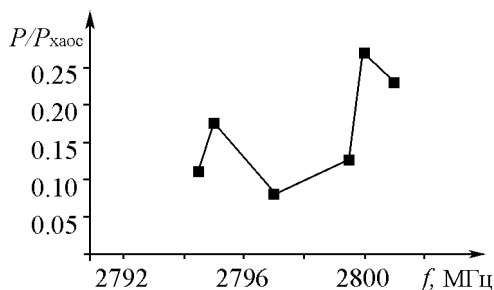


Рис. 4.

Для выяснения природы хаотической синхронизации была исследована эволюция хаотических колебаний на выходе усилительного клистрона, на вход которого через тройник одновременно подавались и хаотические и периодические колебания. Источники хаотических и периодических колебаний были независимы друг от друга. Клистронный усилитель работал в нелинейном режиме. При плавном увеличении частоты периодического сигнала на экране осциллографа не наблюдалось смены топологии фазового пространства хаотических колебаний, а на экране анализатора спектра не происходило смены динамических режимов этих колебаний (не было каскада бифуркаций удвоения периода колебаний). Наблюдалось лишь постепенное уменьшение мощности хаотических колебаний вплоть до почти полного их исчезновения при определенной частоте внешнего сигнала. Дальнейшее увеличение частоты периодического сигнала приводило к последующему увеличению мощности хаотических колебаний. Этот эксперимент явно свидетельствует о том, что эффект синхронизации через полное подавление хаоса внешним гармоническим сигналом присущ только динамическим системам с запаздыванием и имеет сугубо нелинейную природу.

Заключение

На универсальной измерительной установке проведено подробное экспериментальное исследование эффекта полного подавления хаоса внешним гармоническим сигналом в клистронном автогенераторе с запаздыванием. Исследования выполнены в широком диапазоне частот и мощностей внешнего воздействия. Обнаружено несколько частотных областей подавления хаоса и захвата частоты периодических

колебаний автогенератора внешним сигналом, соответствующих пикам частотной зависимости коэффициента усиления клистрона. Показано, что исследованный эффект присущ только динамическим системам с запаздыванием.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 06-02-16451).

Библиографический список

1. Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. М.: Техносфера, 2002.
2. Дмитриев А.С., Панас А.И. Динамический хаос. Новые носители информации для систем связи. М: Физматлит, 2002.
3. Дмитриев Б.С., Жарков Ю.Д., Клокотов Д.В., Рыскин Н.М. Экспериментальное исследование сложной динамики в многорезонаторном клистронном автогенераторе с запаздывающей обратной связью // ЖТФ. 2003. Т. 73, вып. 7. С. 105.
4. Безручко Б.П., Булгакова Л.В., Кузнецов С.П., Трубецков Д.И. Экспериментальное и теоретическое исследование стохастических автоколебаний в лампе обратной волны // Лекции по высокочастотной электронике (5-я зимняя школа). Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1981. С. 25.
5. Короновский А.А., Москаленко О.И., Храмов А.Е. О механизмах, приводящих к установлению режима обобщенной синхронизации // ЖТФ. 2006. Т. 76, вып. 2. С. 1.

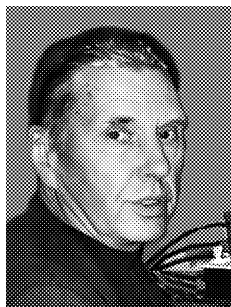
*Саратовский государственный
университет*

Поступила в редакцию 27.02.2007

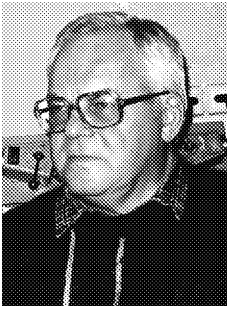
SYNCHRONIZATION OF CHAOTIC OSCILLATION BY THE WAY OF CHAOS SUPPRESSION IN KLYSTRON ACTIVE OSCILLATOR BY EXTERNAL HARMONIC SIGNAL

B.S. Dmitriev, Yu.D. Zharkov, V.N. Skorokhodov, A.M. Genshaft

It was shown experimentally that at synchronization of chaotic oscillation in the microwave active resonance oscillators the following effects take place: own chaotic dynamics suppression; periodic oscillation establishing; the frequency capture by external harmonic signal, and noticeable power decrease of these oscillation.



Дмитриев Борис Савельевич – родился в Саратове (1937), окончил физический факультет Саратовского государственного университета (1959), защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (1967). В настоящее время является профессором кафедры нелинейной физики СГУ. Ведет курсы общей физики (механика, молекулярная физика и термодинамика, электродинамика). Область научных интересов - микроволновая электроника и радиофизика. Опубликовал более 120 научных и научно-методических работ и учебных пособий. E-mail: DmitrievBS@vxfo.sgu.ru



Жарков Юрий Дмитриевич – родился в селе Терса Еланского района Волгоградской области (1931). Окончил физический факультет СГУ (1953). Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (1961) и доктора (1987) в области радиофизики и электроники СВЧ. В настоящее время – профессор кафедры электроники, колебаний и волн СГУ. Область научных интересов – физическое моделирование процессов взаимодействия потоков заряженных частиц с СВЧ-полями, исследование сложной динамики в СВЧ-генераторах с запаздывающей обратной связью. Опубликовал более 200 работ, среди них несколько учебных пособий, 20 изобретений.



Скорородов Валентин Николаевич – родился в 1959 году. Окончил физический факультет СГУ в 1982 году. В настоящее время является заведующим лабораторией кафедры электроники, колебаний и волн. Область научных интересов: нелинейная динамика в СВЧ-электронике. Автор более 15 статей в отечественных и зарубежных журналах.



Геняфт Алексей Михайлович – родился в 1984 году. Окончил факультет нелинейных процессов СГУ (2006). В настоящее время зачислен в магистратуру по специальности радиофизика и электроника. Область научных интересов – изучение хаотического поведения систем СВЧ-электроники. Имеет 5 публикаций.