

Рис. 1. Отношение энергии возмущений, рассеянной вне угла  $\theta_0 < 5 \cdot 10^{-4}$  рад в усилительном модуле с оптимальной компоновкой, к соответствующему значению рассеянной энергии на выходе усилителя с эквидистантно расположенными элементами

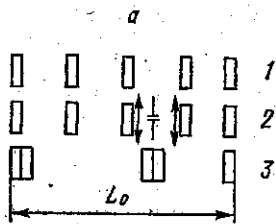
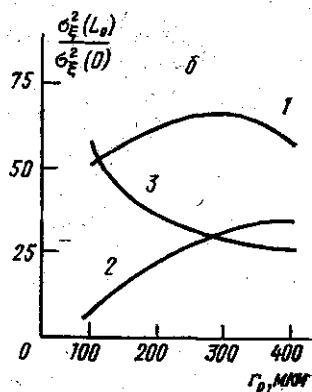


Рис. 2. а — Расположение фрагментов активной среды в усилителе: эквидистантный дисковый усилитель (1), усилитель с пространственным фильтром внутри секции (2), модуль с оптимальным расположением дисков (3). б — Дисперсия флуктуаций светового поля  $\sigma_E^2$  на выходе соответствующего усилителя (номера кривых соответствуют конфигурациям (а))



спектра флуктуаций поля на входе в усилитель, и уменьшение коэффициента передачи пространственных гармоник возмущений путем оптимизации позволяют снизить энергетические потери на рассеяние излучения.

Автор выражает благодарность В. П. Кандидову за полезные обсуждения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Байнов В. И., Мак А. А., Серебряков В. А., Яшин В. Е. Квант. электроника, 1979, 6, с. 902. [2] Бабиченко С. М., Быковский Н. Е., Севатский Ю. В. Там же, 1982, 9, с. 161. [3] Баранова Н. Б., Быковский Н. Е., Зельдович Б. Я., Севатский Ю. В. Там же, 1974, 1, с. 2435. [4] Бабиченко С. М., Кандидов В. П. Изв. вузов, сер. радиофиз., 1984, 27, с. 56. [5] Бабиченко С. М., Кандидов В. П., Черткова И. А. В кн.: Тез. докл. IV Всесоюз. конф. «Оптика лазеров». Л., 1984, с. 182.

Поступила в редакцию  
27.02.85

УДК 621.373

### ВЛИЯНИЕ СВЯЗЕЙ НА СПЕКТРЫ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ГЕНЕРАТОРОВ

И. Ю. Грачева, Ю. И. Кузнецов, И. И. Минакова

(кафедра физики колебаний)

В современной радиофизике, механике, биофизике изучение систем многих взаимосвязанных генераторов вызывает все больший интерес. Несмотря на то что этой тематике посвящено много работ, как правило, рассматривались одночастотные режимы взаимной синхронизации или синхронные режимы при дробно-кратном соотноше-

нии частот генераторов для малых параметров нелинейности  $\epsilon (\epsilon \ll 1)$ , расстройек и связей [1—3]. Численными методами исследован случай больших связей также при малых  $\epsilon$  [4]. Существует ряд работ, где рассмотрена взаимная синхронизация релаксационных генераторов при больших  $\epsilon$  [5]. Исследование многочастотных режимов при взаимодействии генераторов с близкими несоизмеримыми частотами, а также и одночастотных режимов при промежуточных  $\epsilon (\epsilon \sim 1-2)$  и больших связях потребовало вычислительного эксперимента [6].

В настоящей работе исследовались механизмы перехода к синхронным режимам в зависимости от типов связи и эволюции многочастотных спектров при изменении величины связи в системах двух и четырех связанных генераторов, а также оценивалась возможность управления спектрами системы. Предложенная методика включает в себя численное интегрирование системы полных дифференциальных уравнений, накопление массивов значений координат сигнала каждого из генераторов в зависимости от времени и обработку этого массива с помощью дискретного преобразования Фурье с целью получения спектров частот, амплитуд и фаз колебаний системы.

Математическая модель системы  $N$  связанных генераторов выбрана в виде

$$\ddot{x}_i - \epsilon_i (1 - x_i^2) \dot{x}_i + \nu_i^2 x_i = \sum_{j \neq i}^N \alpha_{ij} x_j + \sum_{j \neq i}^N \gamma_{ij} |x_j|,$$

где  $i, j = 1, \dots, N$ ;  $\nu_i$  — парциальная частота контура генератора,  $\alpha_{ij}, \gamma_{ij}$  — коэффициенты реактивной и резистивной связи,  $\epsilon_i$  — параметр нелинейности  $i$ -го генератора.

Для изучения особенностей поведения системы в многочастотных режимах в первую очередь была исследована эволюция спектров системы двух связанных генераторов при изменении связи. Это позволило определить зависимость формы спектра и механизма перехода к синхронному режиму от типа связи.

При резистивной связи ( $\alpha_{ij} = 0, \gamma_{ij} \neq 0$ ) зависимости амплитуды  $A_i$  и частоты  $\omega_i$  от  $\gamma_{ij}$  для  $\epsilon = 0,6$  показывают, что механизмом синхронизации является подтягивание. Амплитуда  $A_1$  основной составляющей спектра 1-го генератора (рис. 1, а) при

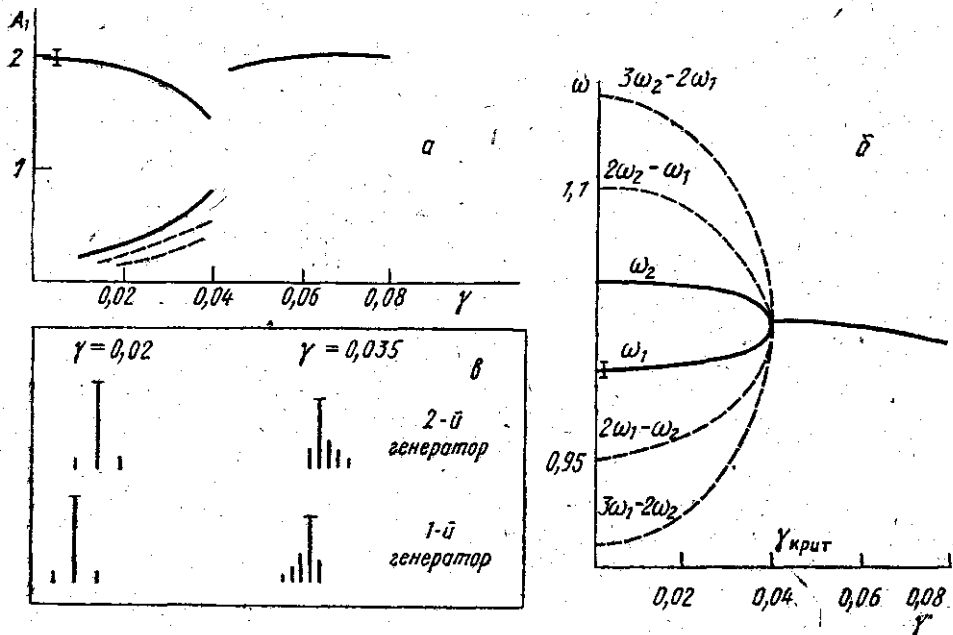


Рис. 1

увеличении связи уменьшается на 20%, частоты  $\omega_1$  и  $\omega_2$  плавно подтягиваются друг к другу (рис. 1, б) ( $\dot{\gamma}_{ij} \equiv \gamma$ ). Спектры в каждом из генераторов носят выражено асимметричный характер (рис. 1, в). Помимо основного тона и наведенной составляющей в каждом из генераторов присутствуют заметные комбинационные составляющие с частотами  $(n\omega_r - m\omega_{нав}) \sim \omega_r$ , где  $n > m$  — целые. При увеличении связи  $\gamma$  проис-

ходит рост амплитуд и сближение комбинационных составляющих до совпадения их частот с частотой синхронного режима.

Механизмом перехода к синхронному режиму при реактивной связи является гашение собственных колебаний в каждом из генераторов и изменение скачком их частоты и амплитуды до значений, соответствующих синхронному режиму. Спектр многочастотного режима в каждом из генераторов имеет симметричный вид. В области заметного гашения основной составляющей при связи, близкой к критической (рис. 2, а), спектр имеет два максимума (рис. 2, б) на частотах комбинационных составляющих, которые превышают амплитуду основного колебания. Аналогичные результаты были получены и для  $\varepsilon=2$ .

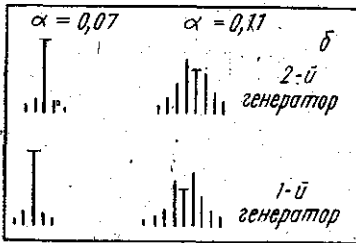
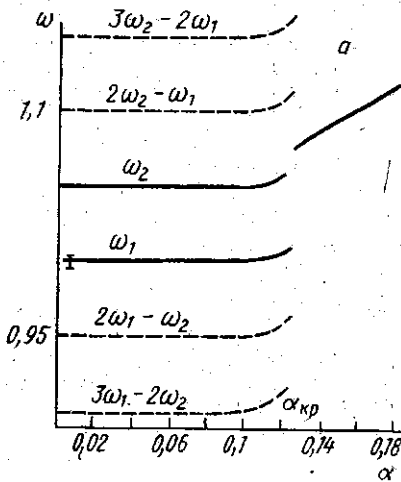


Рис. 2

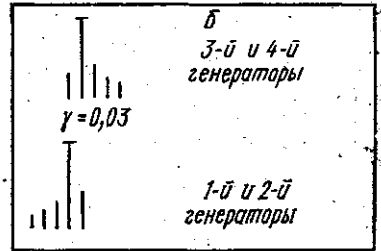
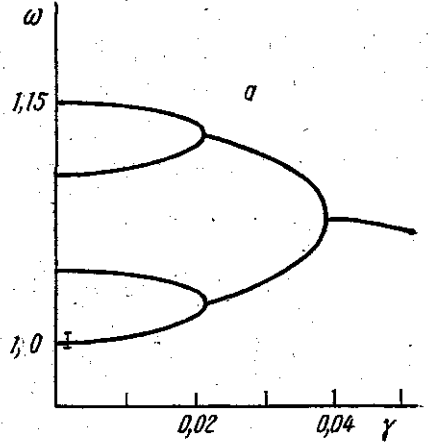


Рис. 3

Качественное объяснение такой эволюции спектров и зависимости их от типа связи может быть дано при учете резонансных свойств линейной колебательной части генератора. В случае резистивной связи резонансные частоты амплитудно-частотной характеристики двухконтурной линейной системы с отличающимися парциальными частотами контуров сближаются при увеличении связи и при некотором критическом значении ее совпадают. При реактивной связи процесс обратный: увеличение связи вызывает расхождение резонансных частот даже при равенстве парциальных частот контуров двухконтурной системы.

Таким образом, полученная в эксперименте форма спектра многочастотного режима для различных типов связи определяется резонансной характеристикой линейной колебательной части системы. Сближение или расхождение резонансных частот системы определяет и переход к синхронному режиму плавно, путем подтягивания, или скачком (при наличии гашения).

Аналогичный эксперимент был проведен для более сложной системы четырех связанных генераторов при  $v_1=1$ ,  $\Delta v=0,05$ ,  $\varepsilon=0,6-2,0$ , и сделано сравнение эволюции спектров с результатами для описанной выше системы двух связанных генераторов. Было установлено, что при увеличении числа генераторов механизмы перехода от многочастотного к синхронному режиму те же: механизм подтягивания для резистивной связи и механизм гашения колебаний основных составляющих для реактивной. При взаимной синхронизации двух генераторов и их взаимодействия с двумя другими, также взаимно синхронизованными, каждая пара может рассматриваться

как некоторый эквивалентный генератор, так как и форма спектров генераторов, и характер эволюции те же, что и для более простой системы с аналогичными связями. Для примера на рис. 3 приведен график зависимости частот основных колебаний генераторов системы от величины резистивной связи  $\gamma$ .

Основные выводы данной работы.

1. Многочастотные спектры автоколебаний системы взаимодействующих генераторов определяются типами и величинами связей между генераторами.

2. Управление спектром генерирующей системы возможно путем изменения величины и типа связи.

3. Эволюция многочастотных спектров генерирующей системы при изменении связей и расстроек парциальных частот генераторов определяется эволюцией резонансной характеристики линейной части системы.

4. Группа генераторов, работающих в синхронном режиме (кластер), может быть заменена одним эквивалентным генератором. При наличии кластеров порядок эквивалентной системы понижается.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Ланда П. С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы. М.: Наука, 1980. [2] Демьянченко А. Г. Синхронизация генераторов гармонических колебаний. М.: Энергия, 1976. [3] Грачева И. Ю., Минина Г. П., Минакова И. И. Деп. ВИНТИ № 1920-81. [4] Storti D. W., Rand R. H. J. Non-linear Mech., 1982, 17, № 3, p. 143. [5] Романовский Ю. М. Изв. вузов. Радиофизика, 1972, 15, с. 718. [6] Дудник Е. Н., Кузнецов Ю. И., Минакова И. И. Изв. вузов. Радиоэлектроника, 1984, 27, № 7, с. 37.

Поступила в редакцию  
05.04.85

После переработки —  
31.05.85

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ, 1985, Т. 26, № 6

УДК 621.377.12:621.391.822

## ДЕЙСТВИЕ ШУМОВ НА ГРАНИЦЫ ПЕРЕХОДОВ «ХАОС—ПОРЯДОК» В АВТОГЕНЕРАТОРЕ ХАОТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

О. И. Кораблев, Ю. И. Кузнецов, В. В. Потемкин, А. В. Степанов

(кафедра физики колебаний)

Исследованию динамических систем с хаосом посвящено много работ (см., например, обзор [1]). Однако принципиальный вопрос о роли естественных флуктуаций при возникновении хаоса и их влиянии на статистические свойства хаоса к настоящему времени изучен недостаточно полно.

Первоначально исследователи придерживались мнения о слабом влиянии шумов на статистические характеристики хаотических автоколебаний [2–5]. Сравнительно недавно было установлено, что в ряде случаев шумы существенно влияют на поведение систем с хаосом. Так, в работах [6, 7] показано, что в генераторе, описанном в работе [8], под действием шумов меняются статистические характеристики хаотических автоколебаний, и с ростом интенсивности шума наблюдались случаи перехода из периодического режима в режим хаоса. В работе [9] методами вычислительного эксперимента обнаружено расширение областей хаоса при увеличении уровня шумов. В работе [10] показано, что шумы сокращают время памяти системы.

Данная работа посвящена экспериментальному исследованию влияния шумов на границы переходов «хаос — порядок» в динамических системах с хаосом.

В качестве объекта исследования был использован простой автогенератор хаотических колебаний, эквивалентная схема которого приведена на рис. 1, а. Принципы работы этой схемы соответствуют описанным в работах [8, 11]. Схема содержит параллельный колебательный LC-контур с активным элементом ( $-g$ ) и ключом  $K$ , управляющим потерями в контуре. В начальный момент ключ разомкнут и происходит экспоненциальное нарастание амплитуды колебаний в контуре. При достижении напряжения  $U$  на контуре заданного уровня  $U_2$  верхнего порога срабатывания ключ замыкается, нагружая контур на малое активное сопротивление  $r$  ( $|rg| \ll 1$ ). Происходит сброс накопленной энергии, напряжение  $U$  уменьшается, и при достижении заданного уровня нижнего порога  $U_1$  ключ размыкается. Начинается развитие нового