

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

## РАДИОФИЗИКА

УДК 621.373.121.14.029.64

## МНОГОЧАСТОТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕАВТОНОМНЫХ СТАБИЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРАХ

И. И. Минакова, Б. Г. Симеонова (Болгария)

*(кафедра молекулярной физики и физических измерений)*

Показана возможность получения сложных управляемых спектров автоколебаний в стабилизированном многорезонаторном генераторе при действии внешней гармонической силы. Определена связь вида спектров и расстройки между частотами внешней силы и собственными частотами генераторов.

Современные стабильные генераторы, как многорезонаторные [1], так и генераторы на поверхностных акустических волнах [2] или генераторы с запаздыванием [3], являются по своей природе многорезонансными генераторами. В автономном режиме параметры колебательной системы генератора подбираются таким образом, чтобы возникала одночастотная генерация с высокостабильной частотой системы.

В неавтономном режиме в многорезонансном генераторе возможны как синхронные режимы — одночастотные и многочастотные, так и асинхронные многочастотные со сложными спектрами, вплоть до хаотических колебаний.

Влияние внешнего воздействия может приводить к синхронизации и увеличению стабильности частоты генератора при использовании более стабильных внешних источников. Вместе с тем действие внешней силы вне полос синхронизации приводит к нарушению стабильных одночастотных процессов, возбуждению колебаний со сложным спектром, а также, при определенном соотношении частот, — к комбинационной синхронизации. При изменении параметров внешней силы возможно управление многочастотным спектром генерации. Типичным примером системы, в которой многочастотные неавтономные процессы практически важны, может служить стабилизированный добротным резонатором генератор СВЧ [1, 4]. Если моды стабилизирующего резонатора достаточно далеки друг от друга, вблизи одной из мод поведение системы может быть описано уравнениями

$$\ddot{x} + 2\delta_1 \dot{x} + v_1^2 x + \alpha_1 y = P \cos(pt + \theta), \quad (1a)$$

$$\ddot{y} + 2\delta_2 \dot{y} + v_2^2 y + \alpha_2 x + \beta_1 z = 0, \quad (1б)$$

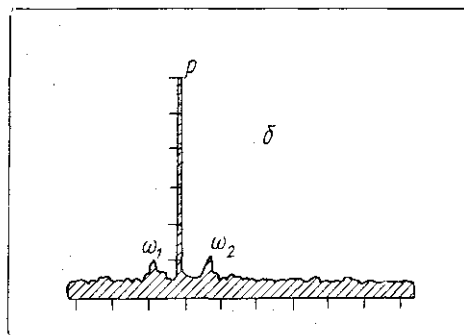
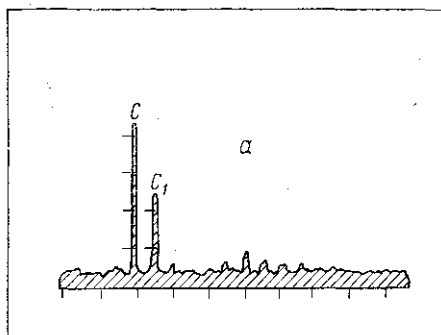
$$\ddot{z} + 2\delta_3 \dot{z} + v_3^2 z + \beta_2 y = 0, \quad (1в)$$

где  $\delta_i$  — линейные и нелинейный коэффициенты затухания,  $v_i$  — парциальные частоты колебательных элементов,  $\alpha_i$  и  $\beta_i$  — коэффициенты связи между колебательными элементами,  $P$  и  $p$  — амплитуда и частота внешнего воздействия.

При  $P=0$  в автономном режиме в такой системе могут возбуждаться одночастотные, близкие к гармоническим, автоколебания. Полагая, что  $x = A \sin \omega t$ ,  $y = B \sin(\omega t + \varphi)$ ,  $z = D \sin(\omega t + \psi)$ , из системы уравнений (1) можно получить амплитуды и частоты колебаний в отдельных элементах системы. Типичная зависимость частоты колебаний  $\omega = F(v_1)$  при фиксированных параметрах  $v_2 \approx v_3$  и  $\delta_2 \gg \delta_3$  приведена на рис. 1. Это частотная кривая стабильного генератора; на средней, стабильной ветви ее частота колебаний определяется частотой третьего стабилизирующего контура. В определенном диапазоне расстройек в областях затягивания АВ в системе в зависимости от начальных условий устанавливаются колебания с одной из альтернативных частот. На рис. 1 частоты устойчивых колебаний отмечены сплошной линией, неустойчивых — пунктиром.

В неавтономном режиме в областях АВ возможны синхронные одночастотные колебания вблизи любой из устойчивых частот. При этом область синхронизации возникает около каждой частоты при сколь угодно малой амплитуде внешнего воздействия. Расчет показывает, что ширина полосы синхронизации обратно пропорциональна запасу регенерации или коэффициенту стабилизации для данной частоты. Если ограничиваться расстройками, соответствующими участкам АВ, то поведение системы можно приближенно описать двумя уравнениями 1а и 1б, введя эффективные пара-

При  $P \neq 0$  и  $p \neq C$  или  $p \neq C_1$  в системе существуют многочастотные режимы, которые могут быть классифицированы. Простейший из них содержит спектральные составляющие на частоте  $\omega \approx C_1$ , на частоте  $p$  и на комбинационных частотах  $\omega_c = n\omega + m\omega$ , где  $n, m = 0, 1, \dots, M$ . Такой спектр имеют колебания вблизи областей синхронизации при  $p > C$  и  $p < C_1$ . При этом при  $p > C$  возможно возникновение более сложного спектра. При генерации на частоте  $C_1$  при приближении  $p$  к частоте  $C$  происходит подвозбуждение колебаний вблизи  $C$  при одновременном уменьшении амплитуды колебаний частоты  $C_1$ . Появляется «бигармонический» многочастотный спектр с со-



92

ставляющими вблизи обеих частот  $C$  и  $C_1$ , существующий до установления синхронного режима в области синхронизации около частоты  $C$ . Спектр многочастотного «бигармонического» режима приведен на рис. 3, а. При  $C < p < C_1$ , если  $p \neq (C + C_1)/2$ , влияние внешнего воздействия асинхронно и возникают более или менее сложные многочастотные «бигармонические» спектры. При  $p \approx (C + C_1)/2$  возникает сильное комбинационное взаимодействие внешнего воздействия с возможными колебаниями генератора. Происходит взаимная перекачка энергии, существенное увеличение амплитуды вынужденных колебаний с частотой  $p$ , уменьшение амплитуд составляющих с частотами  $\omega_1 \approx C_1$  и  $\omega_2 \approx C$  (рис. 3, б) и возникновение комбинационной синхронизации при сохранении точного соотношения  $(\omega_1 + \omega_2)/2 = p$  в некоторой области перестроек  $p$ .

Полученные закономерности зависимостей спектров многочастотных режимов от параметров системы и воздействия качественно аналогичны закономерностям взаимодействий неавтономных связанных генераторов, имеющих различные степени регенерации и парциальные частоты  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Минакова И. И., Панов В. И. // Радиотехн. и электроника. 1988. 33, № 8. С. 1696. [2] Дворников А. А., Огурцов В. И., Уткин Г. М. // Стабильные генераторы с фильтрами на поверхностных акустических волнах. М., 1983. [3] Кислов В. Я., Мясин Е. А., Залогин Н. Н. // Радиотехн. и электроника. 1980. 25, № 10. С. 2160. [4] Минакова И. И., Симеонова Б. Г. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1985. 26, № 5. С. 40.

Поступила в редакцию  
15.06.89

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ. 1990. Т. 31, № 2

## ГЕОФИЗИКА

УДК 551.510.534

### ЗНАЧЕНИЕ ВОЗБУЖДЕННЫХ МОЛЕКУЛ АЗОТА ДЛЯ СТРОЕНИЯ ОЗОНОСФЕРЫ

М. Н. Бидниченко, А. Х. Хргиан

(кафедра физики атмосферы и математической геофизики)

Показано, что механизм образования окиси азота NO в средней атмосфере с участием возбужденных частиц  $N(^2D)$  и  $N_2(A^3\Sigma_u^+)$  может реально привести к наблюдаемым в полярных сияниях высоким значениям концентрации NO и к существенной убыли мезосферного озона.

Как известно, свойства и изменения количества атмосферного озона привлекают особое внимание, поскольку он влияет на развитие биосферы Земли. Поэтому важно учитывать все факторы, в том числе и космические, могущие влиять на количество озона.

Концентрация озона в мезосфере зависит существенно от наличия там окиси азота NO, которая разрушает озон, превращаясь в двуокись  $NO_2$ . Количество частиц NO на высоте 85 км составляет, в зависимости от солнечной активности, от  $5 \cdot 10^5$  [1] до  $5 \cdot 10^7$  см $^{-3}$  [2]. Для практических оценок принимали поэтому значение концентрации NO, равное  $1 \cdot 10^7$  см $^{-3}$  [2].

Однако по данным ракетных зондирований [2, 3] на высотах 80—120 км в полярной атмосфере при вторжении энергичных космических частиц концентрация NO может достигать  $10^9$ — $10^{10}$  см $^{-3}$ . Это явление не находило объяснения в рамках прежних фотохимических теорий, учитывавших только невозбужденные частицы.

Спектры полярных сияний показали, что на высоте 80—120 км содержится много метастабильных молекул и атомов азота, находящихся в первом возбужденном состоянии —  $N(^2D)$  и  $N_2(A^3\Sigma_u^+)$ .

По предположению Прасада [4] и Норгена и Барта [5], реакции образования NO с участием этих частиц являются наиболее вероятным источником большого количества азотных окислов в атмосфере (табл. 1).