



КОГЕРЕНТНЫЙ РЕЗОНАНС В КАСКАДНОМ КЛИСТРОННОМ АВТОГЕНЕРАТОРЕ НА ПОРОГЕ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ

С.А. Садовников

Приводятся результаты экспериментальных исследований явления когерентного резонанса в каскадном клистронном автогенераторе, работающем на пороге самовозбуждения. Сопоставлены меры когерентности, соотношения сигнал–шум и ширина полосы синхронизации для одиночного и каскадного автогенераторов.

Ключевые слова: Клистронный генератор с запаздывающей обратной связью, индуцированные шумами колебания, синхронизация, когерентный резонанс.

В нелинейных динамических системах, управляемых белым шумом, проявляется так называемое явление когерентного резонанса [1], заключающееся в следующем: при подаче внешнего шумового сигнала в нелинейной динамической системе, находящейся на пороге самовозбуждения, возникает резонансный отклик. Это явление наблюдается, когда собственные шумы динамической системы, находящейся на пороге самовозбуждения, малы по отношению к внешнему шуму, и состоит в том, что амплитуда индуцированных шумом колебаний достигает максимума при вполне определённом уровне внешнего шумового сигнала. Однако в СВЧ динамических системах этот эффект мало исследован. Представляется интересным изучить явление когерентного резонанса и синхронизации в каскадном клистронном автогенераторе [2] на пороге самовозбуждения и сравнить результаты исследований с автогенератором на одиночном клистроне [3].

Каскадный автогенератор представляет собой два последовательно соединённых многорезонаторных почти идентичных клистрона, выход каждого соединён со входом другого. Такое соединение позволяет получить большой коэффициент усиления. Для проведения исследований эффекта когерентного резонанса на каскадном клистроне была собрана измерительная установка, принципиальная схема которой представлена на рис. 1.

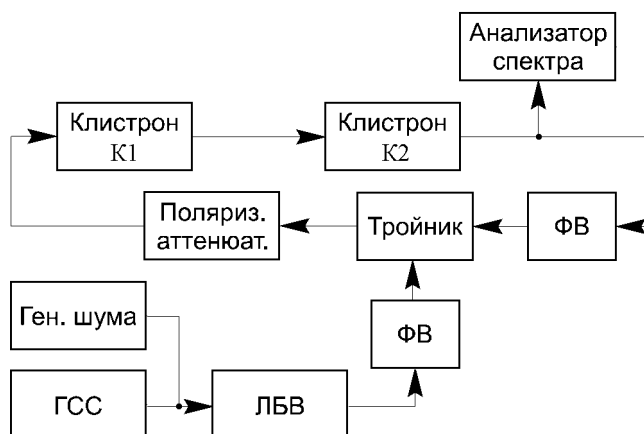


Рис. 1. Схема измерительной установки

В кольцо обратной связи двух последовательно соединенных пятирезонаторных клистронов, с токами пучков меньше пускового значения, вводятся шумы. При токе меньше пускового значения кольцевая система является резонансным регенеративным усилителем. Управляющими параметрами в системе служили ускоряющие напряжения на клистронах, токи пучков клистронов, затухание в цепи обратной связи, мощность шумового сигнала, частота и мощность гармонического сигнала ГСС. Источником шумов являлся цифровой генератор шума, сигнал с которого усиливался ЛБВ.

Подбором ускоряющих напряжений клистронов устанавливался максимум резонансного отклика. Аттенюатор в кольце обратной связи позволяет регулировать пусковой ток системы. Для фиксации характеристик системы применялась современная цифровая измерительная аппаратура Agilent Technologies, обработка результатов проводилась на компьютере.

Проведенные с помощью высокочастотного осциллографа экспериментальные исследования показали, что вид временной реализации выходного сигнала существенно зависит от уровня шумов (рис. 2). При малом шумовом сигнале временная реализация выходного сигнала имеет резко негармоническую нерегулярную форму. При уровне шумов, соответствующем когерентному резонансу, выходной сигнал приобретает форму, близкую к гармонической.

В процессе исследований наблюдался эффект когерентного резонанса в каскадном клистронном автогенераторе. Для количественной оценки удобно использовать понятие меры когерентности [4] (отношение высоты шумового пика,

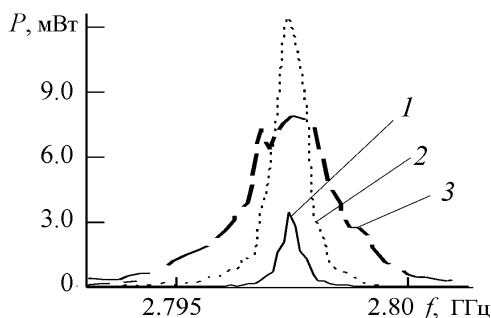


Рис. 2. Вид резонансного отклика при различных уровнях шума: 1 – малый, 2 – оптимальный, 3 – большой

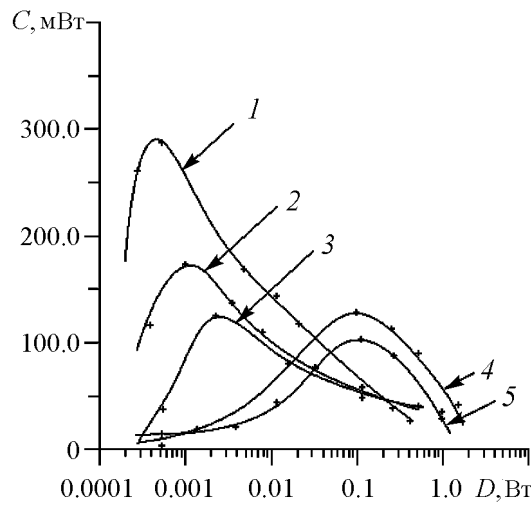


Рис. 3. Серии зависимостей меры когерентности для каскадного (1–3) и одиночного (4, 5) автогенераторов при различных отношениях рабочего тока к пусковому: 0.95 (1), 0.9 (2), 0.85 (3), 0.95 (4), 0.92 (5)

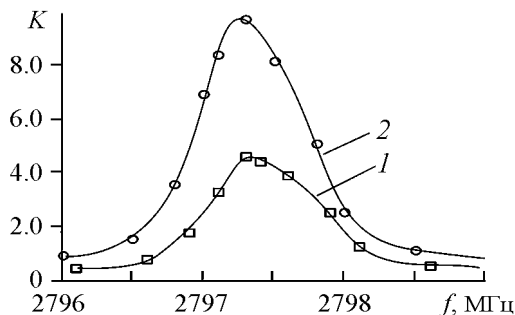


Рис. 4. Изменение соотношения сигнал–шум от частоты внешнего воздействия на выходе автогенераторов (1 – одиночный клистрон, 2 – каскадный автогенератор)

На рис. 4 показано изменение соотношения сигнал–шум на выходе по сравнению со входом для автогенераторов на одиночном клистроне и каскадном автогенераторе. Отношение рабочего тока к пусковому выбиралось равным 0.95. Видно, что использование каскадного автогенератора позволяет получить более высокое соотношение сигнал–шум.

Серии зависимостей ширины полосы синхронизации резонансного отклика от мощности внешнего гармонического сигнала для различных значений отношения рабочего тока к пусковому каскадного и одиночного автогенераторов представлены на рис. 5. Видно, что полоса синхронизации у каскадного автогенератора немного шире, чем у одиночного.

индуцированного в спектре на резонансной частоте, к относительной ширине его спектральной линии):

$$C(D) = h(D)/W(D),$$

где D – интенсивность шумового сигнала, $h(D)$ – высота шумового пика, индуцированного в спектре на резонансной частоте, $W(D) = \Delta f/f$ – относительная ширина его спектральной линии.

Полученные в эксперименте серии зависимостей меры когерентности для автогенератора на одиночном клистроне и для каскадного автогенератора приведены на рис. 3.

Из зависимостей $C(D)$ видно, что при использовании каскадного автогенератора уровень шумов, необходимый для достижения режима когерентного резонанса, значительно ниже, чем у автогенератора на одном клистроне. Это происходит благодаря большему коэффициенту усиления каскадного автогенератора.

Для реализованных схем также исследовался эффект синхронизации в режиме когерентного резонанса – подавление шумов на выходе автогенератора, сопровождаемое захватом резонансного отклика внешним гармоническим сигналом, который подавался с генератора стандартных сигналов вместе с шумами на вход ЛБВ.

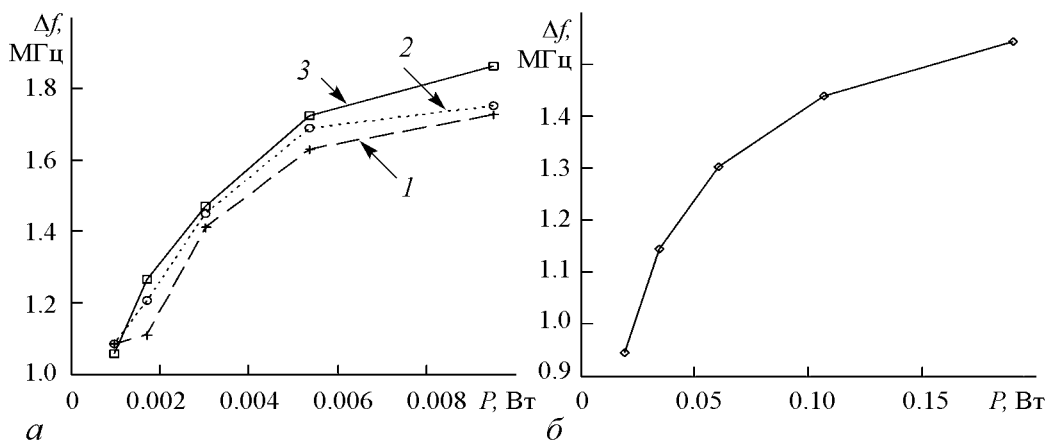


Рис. 5. Зависимость ширины полосы синхронизации от мощности внешнего синхронизирующего сигнала для каскадного автогенератора (а) при различных отношениях рабочего тока к пусковому – 0.85 (1), 0.9 (2), 0.95 (3) и одиночного клистрона (б) при отношении рабочего тока к пусковому 0.95

Таким образом, использование каскадного клистронного автогенератора на пороге самовозбуждения имеет ряд преимуществ по сравнению с одиночным: меньший уровень шумов, необходимый для достижения режима когерентного резонанса, лучшее соотношение сигнал–шум на выходе автогенератора и большая ширина полосы синхронизации.

Автор выражает благодарность профессору Б.С. Дмитриеву и профессору Ю.Д. Жаркову за постановку задачи и полезные обсуждения, а также заведующей лабораторией В.Н. Скороходову за помощь в проведении экспериментов.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (проекты №11-02-00057 и №11-02-00047) и в рамках Президентской программы поддержки ведущих научных школ РФ (проект № НШ-1430.2012.2).

Библиографический список

1. *Pikovsky A., Kurths J. Coherence resonance in a noise-driven excitable system // Phys. Rev. Lett. 1997. Vol. 78. P. 775.*
2. *Дмитриев Б.С., Жарков Ю.Д., Скороходов В.Н., Семеновых П.Ю., Бирюков А.А. Каскадный клистронный автогенератор с запаздыванием // ЖТФ. 2005. Т. 75. Вып. 12. С. 94.*
3. *Дмитриев Б.С., Жарков Ю.Д., Садовников С.А., Скороходов В.Н., Степанов А.О. Когерентный резонанс в клистронном автогенераторе на пороге самовозбуждения // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. Вып. 22. С. 86.*
4. *Ditzinger T., Ning C.Z., Haken H. Stochastic resonance without external periodic force // Phys. Rev. Lett. 1993. Vol. 71. P. 807.*

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

Поступила в редакцию 10.02.2012

COHERENT RESONANCE IN KLYSTRON OSCILLATORS ON SELF-EXCITATION THRESHOLD

S.A. Sadovnikov

This work presents experimental results of synchronization of coherent resonance phenomena in cascade klystron oscillator with delayed feedback on self-excitation threshold. Degree of coherence, signal-to-noise ratio and synchronization wideband for single and cascade klystron oscillators were compared.

Keyword: Klystron oscillator with delayed feedback, noise-induced oscillations, synchronization, coherent resonance.



Садовников Сергей Александрович – родился в 1986 году. Окончил факультет нелинейных процессов СГУ (2008). В настоящее время – аспирант кафедры нелинейной физики СГУ. Область научных интересов – экспериментальные исследования нелинейной динамики в СВЧ автогенераторах. Имеет 6 публикаций.

410012 Саратов, ул. Астраханская, 83
Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
E-mail: zzfz@inbox.com