

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2390871

### ГЕНЕРАТОР ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМОПОДОБНОГО СИГНАЛА

Патентообладатель(ли): *Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2009104557

Приоритет изобретения **12 февраля 2009 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **27 мая 2010 г.**

Срок действия патента истекает **12 февраля 2029 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам*



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Симонов".

Б.П. Симонов



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21), (22) Заявка: **2009104557/09, 12.02.2009**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**12.02.2009**(45) Опубликовано: **27.05.2010** Бюл. № 15

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **Кислов В.Я. Исследование стохастических автоколебательных режимов в автогенераторах с запаздыванием. Радиотехника и электроника, 1979, т.24, №6, с.1118. RU 2288519 C1, 27.11.2006. RU 67774 U1, 27.10.2007. RU 59323 U1, 10.12.2006. US 5534750 A, 09.07.1996. WO 2006037918 A, 13.04.2006.**

Адрес для переписки:  
**410012, г.Саратов, ул. Московская, 155, СГУ, ПЛО, Н.В. Романовой**

(72) Автор(ы):

**Куркин Семен Андреевич (RU),  
Калинин Юрий Александрович (RU),  
Храмов Александр Евгеньевич (RU),  
Короновский Алексей Александрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского" (RU)**

**(54) ГЕНЕРАТОР ШИРОКОПОЛОСНОГО ШУМОПОДОБНОГО СИГНАЛА**

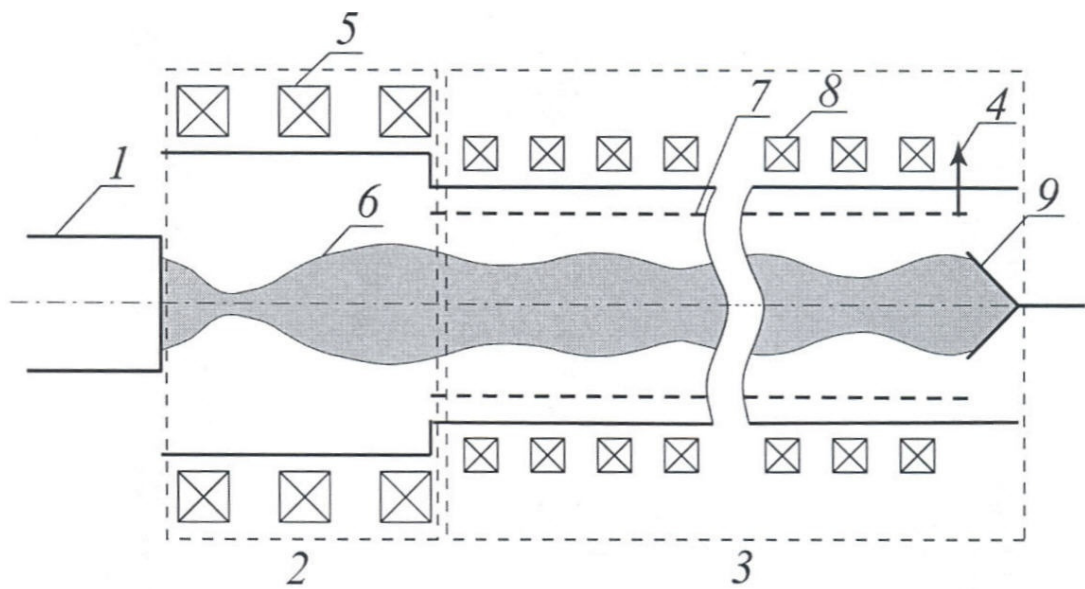
(57) Реферат:

Изобретение относится к области СВЧ техники и предназначено для увеличения функциональных возможностей усилителя СВЧ сигнала - лампы бегущей волны (ЛБВ). Представленное устройство позволяет использовать лампу бегущей волны как генератор широкополосных шумоподобных СВЧ сигналов с малой изрезанностью спектра и шириной полосы частот, достигающей 1-2 октав. Технический результат - возможность перестройки генерации от одночастотных и многочастотных колебаний до шумоподобных колебаний с шириной спектра до 2 октав. В систему, содержащую источник электронов для формирования электронного потока, широкополосную электродинамическую систему с элементом вывода энергии, внешнюю

магнитную периодическую фокусирующую систему, коллектор-рекуператор с системой электродов, вводится дополнительная секция возбуждения электронного потока, представляющая собой проводящую цилиндрическую трубу с внешней магнитной периодической фокусирующей системой. Дополнительная секция располагается между источником электронов и широкополосной электродинамической системой. Расстояние между магнитами магнитной периодической фокусирующей системы секции возбуждения и величины их напряженности выбраны таким образом, чтобы параметр магнитного поля периодической фокусирующей системы секции возбуждения превышал критическое значение для создания турбулентного состояния потока. 4 ил.

RU 2 390 871 C1

RU 2 390 871 C1



ФИГ. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2009104557/09, 12.02.2009**

(24) Effective date for property rights:  
**12.02.2009**

(45) Date of publication: **27.05.2010 Bull. 15**

Mail address:

**410012, g.Saratov, ul. Moskovskaja, 155, SGU,  
PLO, N.V. Romanovoj**

(72) Inventor(s):

**Kurkin Semen Andreevich (RU),  
Kalinin Jurij Aleksandrovich (RU),  
Khranov Aleksandr Evgen'evich (RU),  
Koronovskij Aleksej Aleksandrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie  
vysshego professional'nogo obrazovanija  
"Saratovskij gosudarstvennyj universitet im.  
N.G. Chernyshevskogo" (RU)**

**(54) GENERATOR OF BROADBAND NOISE-LIKE SIGNAL**

(57) Abstract:

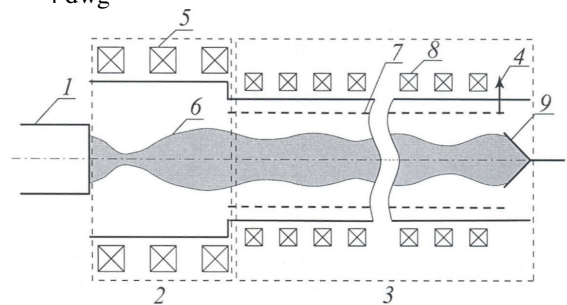
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: proposed device allows using a travelling-wave tube as generator of broadband noise-like microwave signals with low spectrum irregularity and width of frequency band, which reaches 1-2 octaves. To the system containing source of electrons for forming electron stream, broadband electrodynamic system with energy output element, external magnetic periodic focusing system, collector-recuperator with system of electrodes, there introduced is additional excitation section of electron stream, which represents a conducting cylindrical tube with external magnetic periodic focusing system. Additional section is located between electron source and broadband electrodynamic system. Distance between magnets of magnetic periodic focusing system of excitation section and values of their intensity have been

chosen so that parametre of magnetic field of periodic focusing system of excitation section can be more than critical value for creation of turbulent condition of the stream.

EFFECT: possibility of tuning the generation from single-frequency and multi-frequency oscillations to noise-like oscillations with spectrum width of up to 2 octaves.

4 dwg



ФИГ. 1

RU 2390871 C1

RU 2390871 C1

Изобретение относится к области СВЧ техники и предназначено для увеличения функциональных возможностей усилителя СВЧ сигнала - лампы бегущей волны (ЛБВ). Представленное устройство позволяет использовать лампу бегущей волны как генератор широкополосных шумоподобных СВЧ сигналов с малой изрезанностью спектра и шириной полосы частот, достигающей 1-2 октав.

Классическим усилителем в электронике СВЧ стала лампа бегущей волны (Трубецков Д.И., Храмов А.Е. Лекции по сверхвысокочастотной электронике для физиков. Т.1. М.: Физматлит, 2003). Главной особенностью этого прибора является возможность усиливать СВЧ сигналы в широком диапазоне частот благодаря использованию в конструкции прибора широкополосной слабодисперсной электродинамической системы (ЭДС). В качестве таковой в ЛБВ используется обычно спиральная замедляющая система со слабой аномальной дисперсией. При этом значения коэффициента усиления в пиковом режиме достигают величин порядка 60 дБ для узкополосного сигнала. В режиме широкополосного сигнала коэффициент усиления составляет величину порядка 30 дБ.

Лампа бегущей волны может быть использована в качестве генератора, для чего в конструкцию ЛБВ необходимо ввести цепь обратной связи. При выполнении определенных амплитудных и фазовых условий такая лампа позволяет генерировать одночастотный, многочастотный или хаотический СВЧ сигнал (ЛБВ-шумотрон, см. например Кислов В.Я., Мясин Е.А., Залогин Е.Н. Исследование стохастических автоколебательных режимов в автогенераторах с запаздыванием // Радиотехника и электроника, 1979, т.24, N 6. с.1118).

Однако ЛБВ-генератор СВЧ сигналов обладает существенным недостатком, связанным с тем, что на цепь обратной связи в этом случае накладываются жесткие фазовые условия и условия согласования волноводов с прибором. Невозможность четкого выполнения этих условий во всем диапазоне частот приводит к тому, что амплитуда генерируемого сигнала будет сильно различаться для различных частот, что, в свою очередь, приводит к сильной изрезанности спектра генерации, особенно в режиме генерации хаоса. С развитием техники систем связи, приборной базы информационно-коммуникационных систем и т.д. все более востребованными становятся СВЧ приборы, способные генерировать широкополосные хаотические сигналы с малой изрезанностью спектра мощности (т.е. с малым перепадом между максимальным и минимальным значениями мощности в пределах полосы генерации).

Учитывая вышесказанное, можно сделать вывод, что, несмотря на рекордные по ширине полосы характеристики ЛБВ-усилителей, ЛБВ-генераторы с обратной связью не могут служить перспективными источниками широкополосных шумоподобных сигналов.

Однако высокие значения коэффициента усиления и широкая полоса частот позволяют использовать лампу бегущей волны в качестве элемента усилительного каскада, где в качестве источника сигнала, как правило, широкополосного, может использоваться другой прибор с более подходящими генерационными характеристиками.

Наиболее близким к заявляемому прибору является электровакуумный прибор СВЧ (генератор широкополосного шумоподобного сигнала) на основе электронного потока со сверхкритическим током или близким к нему. Принцип функционирования генератора заключается в том, что нерелятивистский интенсивный поток электронов инжектируется в пространство между двумя электродами с неоднородным магнитным полем в нем, обычно создаваемым магнитной периодической фокусирующей

системой (МПФС). Для начала генерации параметр магнитного поля  $\alpha$  МПФС должен быть больше некоторого критического значения  $\alpha_{кр}$  (Tsimring S.E. Electron beams and microwave vacuum electronics. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2007; Алимовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. М.: Сов. радио, 1966). При таких условиях за счет развития турбулентности в электронном потоке в нем возникают множественные электронные структуры (сгустки), а также появляется возможность формирования нестационарного виртуального катода (ВК).

Электронные сгустки и ВК возбуждают широкополосную электродинамическую систему, параметры которой подобраны таким образом, что не выполняется условие синхронизма волны и пучка. Подобный генератор способен демонстрировать различные режимы колебаний от монохроматического сигнала до хаотического среднего и малого уровня мощности с шириной полосы частот до 2 октав и малой изрезанностью спектра.

Недостатком описанного генератора можно назвать то, что уровень мощности выходного излучения, получаемый в данном приборе, достаточно низкий, что связано с крайне малым КПД генератора широкополосных хаотических сигналов. Однако в ряде приложений требуются выходные мощности высокого уровня (до нескольких сотен Вт). Использование же этого прибора в качестве источника сигнала (задающего генератора) в усилительной цепочке делает всю используемую конструкцию более громоздкой и трудоемкой по исполнению.

Эффективным решением данной проблемы было бы создание гибридного двухсекционного прибора, в котором в качестве основы использовался бы источник хаотического широкополосного СВЧ излучения, возникающего за счет развития турбулентности в электронном потоке, который объединялся бы с усилительным модулем с высоким коэффициентом усиления (ЛБВ), причем вся система функционировала бы с использованием одного электронного потока, что снизило бы габаритные размеры, мощность питания устройства, потери в трактах. При этом комбинированный прибор объединяет в себе достоинства высокого усиления ЛБВ с хорошими выходными характеристиками генератора хаоса. Также подобный гибридный прибор позволяет избежать сложностей, связанных с созданием и эксплуатацией усилительных цепочек.

Задачей изобретения является расширение функциональных возможностей ЛБВ-усилителей СВЧ сигнала, а именно преобразование ЛБВ-усилителя СВЧ сигнала в многофункциональный генератор.

Технический результат заключается в возможности перестройки генерации от одночастотных и многочастотных колебаний, до шумоподобных колебаний с шириной спектра до 2 октав.

Поставленная задача решается тем, что в систему, содержащую источник электронов для формирования электронного потока, широкополосную электродинамическую систему с элементом вывода энергии, внешнюю магнитную периодическую фокусирующую систему, коллектор-рекуператор с системой электродов, вводится дополнительная секция возбуждения электронного потока, представляющая собой проводящую цилиндрическую трубу с внешней магнитной периодической фокусирующей системой. Дополнительная секция располагается между источником электронов и широкополосной электродинамической системой. Расстояние между магнитами магнитной периодической фокусирующей системы секции возбуждения и величины их напряженности выбраны таким образом, чтобы параметр магнитного поля периодической фокусирующей системы секции

возбуждения превышал критическое значение для создания турбулентного состояния потока.

Изобретение поясняется чертежами, где на фиг.1 представлена схема генератора широкополосного шумоподобного сигнала на основе ЛБВ, на фиг.2 изображены экспериментальные спектры мощности широкополосных шумоподобных колебаний в потоке на выходе генератора в случае количества магнитных колец в МПФС секции возбуждения  $N=1$  (а) и  $N=4$  (б), на фиг.3 представлены теоретические, полученные с использованием численного моделирования, безразмерные спектры мощности широкополосных шумоподобных колебаний в потоке на выходе генератора в случае безразмерной величины магнитного поля, создаваемого МПФС секции возбуждения, на оси симметрии системы  $K=0.3$  (а) и  $K=4$  (б), на фиг.4 изображены экспериментальные зависимости выходной мощности (кривая 1) и ширины полосы генерации (кривая 2) на выходе генератора, где

- 1 - источник электронов;
- 2 - секция возбуждения электронного потока;
- 3 - секция усиления;
- 4 - элемент вывода энергии секции усиления;
- 5 - МПФС секции возбуждения;
- 6 - электронный поток;
- 7 - широкополосная ЭДСУ;
- 8 - МПФС секции усиления;
- 9 - коллектор-рекуператор.

Генератор широкополосного шумоподобного сигнала на основе лампы бегущей волны состоит из источника электронов 1, секции возбуждения 2 электронного потока и секции усиления 3.

Секция возбуждения 2 представляет собой проводящую цилиндрическую трубу с внешней магнитной периодической фокусирующей системой 5, создающей неоднородное магнитное поле с параметром  $\alpha > \alpha_{кр}$ , где  $\alpha_{кр}$  - критическое значение параметра. Секция усиления 3 построена на базе классической спиральной ЛБВ и состоит из проводящей цилиндрической трубы с магнитной периодической фокусирующей системой (МПФС) 8, широкополосной электродинамической системы секции усиления (ЭДСУ) 7 с выводом энергии 4 и коллектора-рекуператора 9. При этом радиус цилиндрической трубы секции возбуждения 2 больше радиуса цилиндрической трубы секции усиления 3.

Устройство работает следующим образом.

Электронный поток 6 формируется источником электронов 1 и проходит через секцию возбуждения 2, где под действием заданного внешнего магнитного поля в нем развиваются неустойчивости, приводящие к формированию электронных сгустков, то есть к хаотической модуляции пролетного электронного потока 6. Часть электронного потока 6 оседает на боковые стенки цилиндрической трубы секции возбуждения 2. Увеличенный радиус цилиндрической трубы секции возбуждения 2, по сравнению с радиусом цилиндрической трубы секции усиления 3, помогает в решении задачи устранения тепловой нагрузки на систему, создаваемой оседающими электронами. Затем промодулированный пролетный электронный поток 6 попадает в секцию усиления 3 и возбуждает широкополосную ЭДСУ 7. МПФС секции усиления 8 служит для фокусировки электронного потока 6. Из области широкополосной ЭДСУ 7 отработанный электронный поток 6 попадает в коллектор-рекуператор 9. Полученный сигнал выводится из прибора через элемент вывода энергии секции

усиления 4.

Как показали экспериментальные и численные исследования подобной схемы, изменяя величину и распределение магнитного поля в секции возбуждения электронного потока, существует возможность управлять шириной полосы частот хаотических СВЧ колебаний (от узкополосных, близких к одночастотным колебаниям, так и до широкополосных шумоподобных колебаний с шириной полосы более октавы). Представленные на фиг.2 экспериментальные спектры мощности генерации показывают, что в случае МПФС секции возбуждения, состоящей из одного магнита, система генерирует колебания, близкие к периодическим (фиг.2а), а при наличии в МПФС четырех магнитов - широкополосные хаотические с малой изрезанностью спектра (фиг.2б). Аналогичные результаты демонстрирует и численное моделирование заявляемого генератора (фиг.3). Сильное влияние величина и распределение внешнего магнитного поля в секции возбуждения оказывает также на мощность и ширину полосы генерации подобного прибора (фиг.4). Кривая 1 на фиг.4 показывает, что при величине параметра магнитного поля в секции возбуждения  $\alpha_{кр} \approx 0.5$  в системе начинает генерироваться излучение заметной мощности. С дальнейшим увеличением параметра  $\alpha$  мощность и ширина полосы генерации монотонно возрастают, а затем переходят в область насыщения.

В таблице 1 приведены основные выходные характеристики и параметры заявляемого генератора для двух различных рабочих значений тока электронного потока и ускоряющего напряжения.

Таблица 1

Напряжение U, В	Ток потока I, mA	Выходная мощность, Вт	Частота средняя f, ГГц	Полоса частот, $\Delta f/f$	Токопорохождение k, %	КПД электр. $\eta_e$ , %	КПД техн. $\eta_t$ , %
4,3	240	112	1,5	1,3	78	10,8	13,2
3,5	200	65	3,5	1,1	69	9,2	10,8

Представленные в таблице 1 экспериментальные результаты показывают, что данный прибор может генерировать сигнал малого и среднего уровня мощности. Мощности генерации достигают величин порядка 100 Вт. При этом технический к.п.д. подобного генератора достигает величин от 10 до 14%, а электронный составляет величину порядка 10%.

Таким образом, предложенное изобретение позволяет получать средние величины мощности монохроматического, многочастотного и широкополосного хаотического сигнала с шириной полосы колебаний до 2 октав.

#### Формула изобретения

Генератор широкополосного шумоподобного сигнала на основе ЛБВ, содержащий источник электронов для формирования электронного потока, широкополосную электродинамическую систему с элементом вывода энергии, внешнюю магнитную периодическую фокусирующую систему, коллектор-рекуператор с системой электродов, отличающийся тем, что он дополнительно содержит секцию возбуждения электронного потока, представляющую собой проводящую цилиндрическую трубу с внешней магнитной периодической фокусирующей системой, расположенную между источником электронов и широкополосной электродинамической системой, при этом расстояние между магнитами магнитной периодической фокусирующей системы и величины их напряженности выбраны из условия превышения параметром магнитного поля магнитной периодической фокусирующей системы критического значения, что приводит к формированию в секции возбуждения турбулентного



СОСТОЯНИЯ ПОТОКА.

5

10

15

20

25

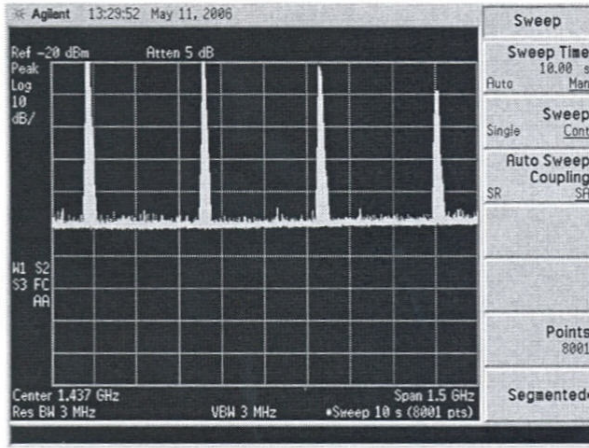
30

35

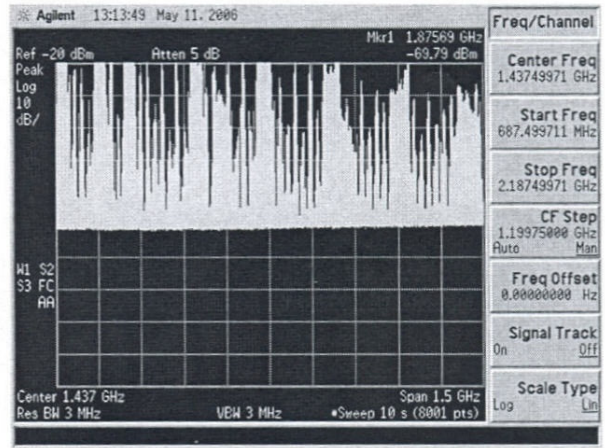
40

45

50

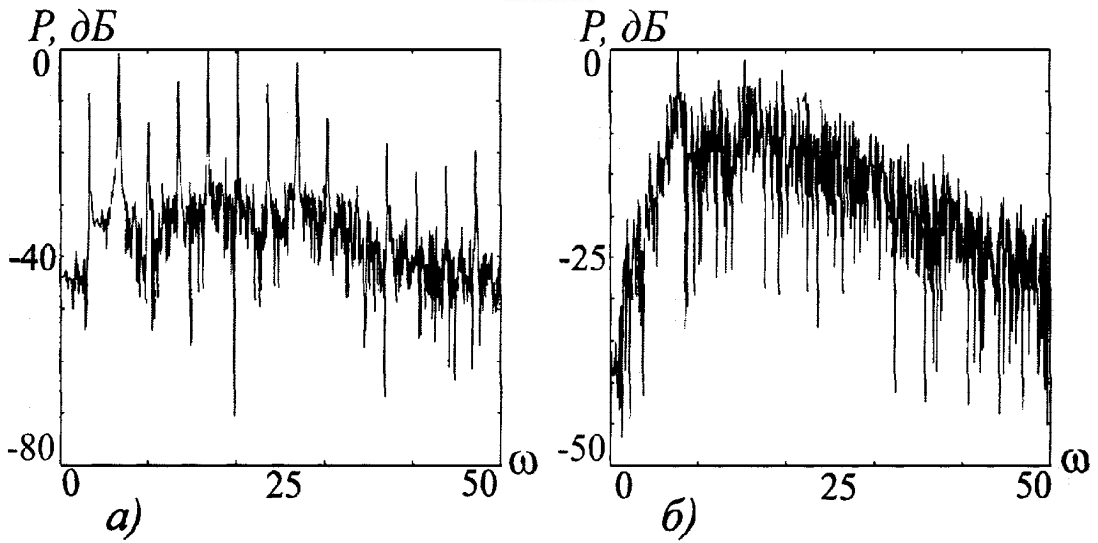


a)

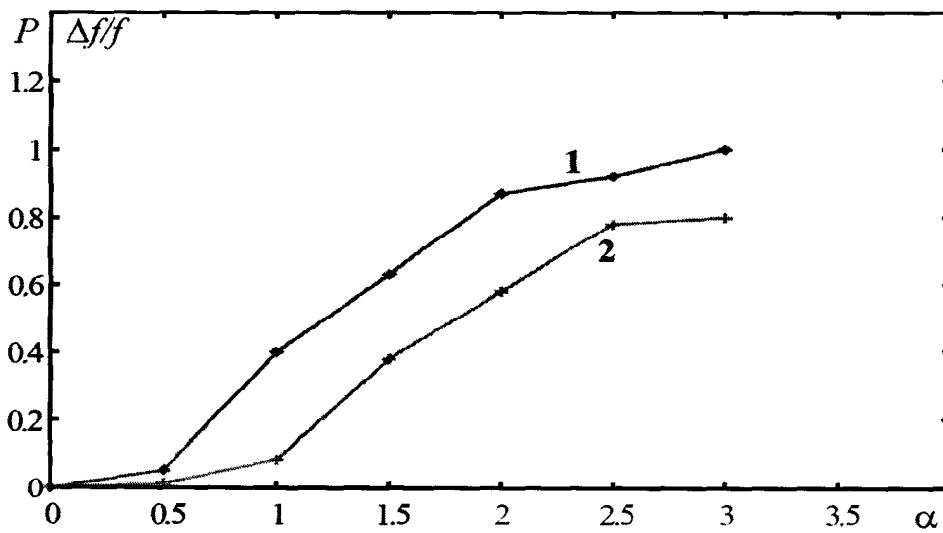


б)

ФИГ. 2



ФИГ. 3



ФИГ. 4