



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 55721

(13) A

(51) 7 H01J25/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) РЕЗОНАНСНИЙ ГЕНЕРАТОР ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КОЛИВАНЬ КВЧ

1

2

(21) 2002054242

(22) 23 05 2002

(24) 15 04 2003

(46) 15 04 2003, Бюл. № 4, 2003 р.

(72) Білуха Олександр Якович, Ерьомка Віктор  
Данилович, Фісун Анатолій Іванович(73) ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ  
ІМ. О.Я. УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ  
НАУК УКРАЇНИ

(57) 1 Резонансний генератор електромагнітних коливань КВЧ, який містить відкритий резонатор, утворений двома дзеркалами, одне з яких має вивід високочастотної енергії, а друге складається із двох обернених один до одного прямокутних ешелетів, розташованих дзеркально-симетрично відносно площини, яка проходить крізь вісь приладу, при цьому площини суміжних граней східців прямокутних ешелетів відповідно паралельні і перпендикулярні площині симетрії приладу, основну і додаткові періодичні структури, багатопучкову електронно-оптичну систему, який відрізняється

тим, що основна та додаткові періодичні структури встановлені під відбиваючою поверхнею другого дзеркала в прямокутних призматичних порожнинах, а в гранях східців прямокутних ешелетів, розташованих над основною та додатковими періодичними структурами, виконані щілини зв'язку з міждзеркальним об'ємом, при цьому верхні грані прямокутних призматичних порожнин розташовані на відстані  $(1,75-2,75)\lambda$  від нижніх граней, де  $\lambda$  - довжина хвилі вихідного сигналу генератора

2 Резонансний генератор за п.1, який відрізняється тим, що основна та додаткові періодичні структури виконані у вигляді здвоєних гребінок, розташованих в площинах, паралельних площині симетрії приладу

3 Резонансний генератор за п.1, який відрізняється тим, що основна та додаткові періодичні структури виконані у вигляді періодичних систем драбинчатого типу, розташованих в площинах, перпендикулярних площині симетрії приладу

Винахід відноситься до електроніки КВЧ, а саме до електровакуумних генераторів міліметрових (мм) та субміліметрових (субмм) хвиль, і може знайти широке застосування в системах радіолокації, радіокерування, радіоспектроскопії та інших галузях науки і техніки, в яких для реалізації відповідних технологій необхідні малогабаритні джерела електромагнітних коливань з високим рівнем вихідної потужності, високою якістю спектру, стабільністю частоти коливань вихідного сигналу та підвищеним ККД.

Існує ряд конструкцій вакуумних резонансних генераторів електромагнітних коливань край високих частот (КВЧ). Підвищення ККД, потужності, а також якості спектру коливань вихідного сигналу при зменшенні маси та габаритів приладів, є однією з головних задач при розробці когерентних джерел короткохвильових діапазонів. При цьому в оптимальному технічному рішенні зазна-

чені параметри повинні досягати максимального значення при мінімумі протиріч.

Відомо про резонансні генератори коливань КВЧ-клістри з розподіленою взаємодією (КРВ), які мають електронно-оптичну систему, магнітно-фокусуючу систему, електродинамічну систему, призматичний резонатор з періодичною структурою, яка має канали для електронних пучків (А с СССР №766401. Клістрон МПК H01 J25/00 / В.Д. Еремка, 1980г.)

Генераторні КРВ мм діапазону радіохвиль забезпечують потужність вихідного сигналу 1 - 10кВт в імпульсному режимі при середній потужності 10 - 100Вт. Недоліком вказаного технічного рішення є слабе розрідження спектру коливань об'ємного резонатора, в зв'язку з чим зростає вірогідність збудження паразитних автоколивань, зменшення ККД і погіршення стабільності частоти вихідного сигналу.

(13) A

(11) 55721

(19) UA

Відомі також резонансні генератори мм та субмм радіохвиль з високодобротними коливальними системами у вигляді відкритого резонатора (ВР) - оротрони, які мають ВР, утворений двома дзеркалами, одне з яких має сферичну робочу поверхню і вивід енергії, а друге - плоске, робоча поверхня якого покрита дифракційною решіткою типу "гребінка", електронно-оптичну систему, яка формує стрічковий електронний потік. Ці системи забезпечують розрідження спектру коливань вихідного сигналу і підвищення стабільності їх частоти порівняно з КРВ (А с СССР №195557 - Електронний прибор для генерації і усилення коливаний міліметрового і субміліметрового діапазону волн / Ф С Русин, Г Д Богомолов 1966г).

Основні недоліки оротронів - невисока потужність вихідного сигналу, суттєві дифракційні втрати, обумовлені конструкцією дифракційної решітки, яка покриває всю робочу поверхню плоского дзеркала, неповне розрідження спектру коливань і зниження таким чином добротності основного ТЕМ<sub>000</sub>-типу коливань із-за відсутності одномодового режиму роботи.

Часткове розрідження по поздовжнім індексам спектру коливань в ВР здійснюється в технічному рішенні (А с СССР №1103745 Генератор дифракційного излучения / Корнеев В К и др 1982г). Резонансний генератор в цьому технічному рішенні містить два розташованих попарно сфероциліндричних ВР, які мають сильний зв'язок з каналом для електронного потоку з допомогою щипин частково прозорі періодичної структури. Така конструкція електродинамічної системи забезпечує збудження коливань в генераторі з непарними поздовжніми індексами (при симетричному настрої зв'язаних ВР на робочу частоту). При цьому здійснюється розрідження спектру коливань по поздовжніх модах в 2 рази, але відсутнє розрідження спектру коливань по поперечних модах.

Проблеми розрідження спектру коливальної системи резонансного генератора як по поздовжніх, так і по поперечних модах присвячене технічне рішення (А с СССР №1277827 Генератор дифракційного излучения / Корнеев В К и др 1984г), яке є найближчим аналогом (прототипом) запропонованого резонансного генератора мм і субмм хвиль.

Резонансний генератор електромагнітних коливань КВЧ, взятий у якості прототипу, містить в собі ВР, утворений двома дзеркалами, одне з яких має вивід високочастотної енергії, а друге складається з двох обернених один до одного прямокутних ешелетів, розташованих дзеркально-симетрично відносно площини, яка проходить крізь вісь приладу, при цьому площини суміжних граней східців ешелетів відповідно паралельні і перпендикулярні площини симетрії приладу (кутово-ешелетне дзеркало), основну і додаткові періодичні структури, які розташовані таким чином: основна - у центральній частині другого дзеркала, а додаткові попарно дзеркально-симетрично на перпендикулярних площини симетрії приладу площинах граней протилежних східців ешелетів, багатопучкову електронно-оптичну систему, яка

формує електронний потік з кількістю пучків рівною числу періодичних структур.

За допомогою відомого резонансного генератора-прототипу пропонується випромінювати електромагнітні коливання КВЧ середньої потужності. Конструкція коливальної системи генератора забезпечує поліпшення селекції електромагнітних коливань. Застосування в якості другого дзеркала ВР двох прямокутних ешелетів (кутово-ешелетне дзеркало), які забезпечують високу кутову селекцію, дозволяє вирішити задачу розрідження спектру електромагнітних коливань випромінювання електровакуумного джерела як по поперечних, так і по поздовжніх типах коливань.

Поряд з відзначеними позитивними якостями технічне рішення-прототип має суттєві недоліки, що не сприяють зменшенню дифракційних втрат, підвищенню ККД, вихідної потужності та стабільності частоти при досягненні радикального розрідження спектру коливальної системи джерела електромагнітного випромінювання, а також зменшенню маси і габаритів генератора. Це обумовлено тим, що у відомому генераторі на площинах граней ешелетів, перпендикулярних площини симетрії приладу, розміщені додаткові періодичні структури - відбивальні дифракційні решітки типу "гребінка". В такій конструкції генератора-прототипа перпендикулярні площини симетрії приладу площини граней східців прямокутних ешелетів, тобто відбиваюча випромінювання з поляризацією вектора електричного високочастотного поля паралельного вісь приладу робоча поверхня кутово-ешелетного дзеркала повністю покрита ідентичними дифракційними решітками і для падаючої квазіплоскої хвилі вона адекватна відбиваючій поверхні плоского дзеркала оротрона, яка також цілком покрита відбиваючою дифракційною решіткою. Таке дзеркало у дводзеркальному ВР суттєво знижує його добротність, стає причиною додаткових дифракційних втрат та збудження вищих просторових гармонік поля. Дзеркало цілком покрите дифракційними решітками типу "гребінка", стає дворівневою системою з висотою рівня, яка змінюється в залежності від типу коливань і довжини хвилі. У (ВР) з таким дзеркалом при одній і тій же відстані між дзеркалами і близьких по величині робочих напругах, виникають коливання з різною сумою поперечних індексів. При зближенні частот коливань виникає міжтипова взаємодія. Імовірність виникнення міжтипової взаємодії зростає при скороченні довжини хвилі. Розкид геометричних розмірів дифракційних решіток на перпендикулярних площини симетрії приладу площинах граней східців ешелетів призводить до розкиду частот автоколивань, генерованих стрічковими електронними пучками, які рухаються поблизу поверхні решіток, що тягне за собою явища нестабільності частоти, пригнічення парціальних автоколивань при незбіжності фаз. Для забезпечення працездатності такого багатопроменевого генератора, в якому периферійні електронні пучки рознесені на відстань 40 - 60мм, потрібні магнітні системи з циліндром однорідного магнітного поля великого поперечного перерізу (≈50 - 80мм) в зазорах. Навіть застосувавши кращі сучасні магнітні матеріали на

основі рідкоземельних елементів, неможливо створити магнітну систему з невеликими масою і габаритами для такого генератора. Відсутність можливості зменшити масу та габарити генератора є одним із суттєвих недоліків технічного рішення-прототипу.

В основу винаходу поставлено задачу - створити багатопроміньовий резонансний генератор електромагнітних коливань КВЧ, в якому за рахунок виконання по-новому конструкції просторів взаємодії електронів з електромагнітним полем - періодичних систем (шляхом зміни їх геометрії і місця розташування) забезпечити зменшення дифракційних втрат, підвищення ефективності взаємодії багатопроміньових електронних потоків з електромагнітним полем ВР і, таким чином, при зменшенні маси та габаритів генератора досягти збільшення ККД, потужності вихідного сигналу, стабільності частоти та якості його спектру.

Розв'язання поставленої задачі досягається тим, що у відомому резонансному генераторі електромагнітних коливань КВЧ, який містить в собі ВР, створений двома дзеркалами, одне з яких має вивід високочастотної енергії, а друге складається із двох обернених один до одного прямокутних ешелетів, розташованих дзеркально-симетрично відносно площини, яка проходить крізь вісь приладу, при цьому площини суміжних граней східців прямокутних ешелетів відповідно паралельні і перпендикулярні площині симетрії приладу, основну і додаткові періодичні структури, багатопучкову електронно-оптичну систему (ЕОС), відповідно до винаходу, новим є те, що основна та додаткові періодичні структури встановлені під відбиваючою поверхнею другого дзеркала в прямокутних призматичних порожнинах, а в гранях його сходинок, перпендикулярних площині симетрії і розташованих над основною та додатковими періодичними структурами, виконані щілини зв'язку з міждзеркальним об'ємом ВР, при цьому верхні грані прямокутних порожнин розташовані на відстані  $(1,75 - 2,75)\lambda$  (де  $\lambda$  - довжина хвилі вихідного сигналу генератора) від нижніх граней. В одному варіанті виконання конструкції генератора основна та додаткові періодичні структури виконані в вигляді здвоєних гребінок, розташованих в площинах паралельних площині симетрії приладу. В другому варіанті виконання конструкції генератора основна та додаткові періодичні структури виконані у вигляді структур драбинчастого типу, розташованих в площинах перпендикулярних площині симетрії приладу.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак винаходу, що заявляється, та технічним результатом, що досягається полягає в наступному. Застосування в якості другого дзеркала ВР двох прямокутних ешелетів (кутово-ешелетне дзеркало), які не мають на поверхнях граней періодичних дифракційних структур, забезпечує високу добротність ВР і дозволяє вирішити задачу про селекцію типів коливань, підвищення стабільності частоти автоколивань та зменшення дифракційних втрат.

Застосування в одному із варіантів виконання конструкції генератора здвоєних гребінок в

якості періодичних структур, забезпечує підвищення ефективності взаємодії електронних потоків з електромагнітним полем, а внаслідок цього, підвищення ККД і потужності вихідного сигналу генератора.

Застосування прямокутних призматичних порожнин вздовж подвоєних гребінок (суміжно з їх боковими сторонами) забезпечує ефективну взаємодію саме стрічкових пучків з високочастотним електромагнітним полем, тому що внаслідок замкнутості магнітних силових ліній високочастотного електромагнітного поля, що охоплюють гребні гребінок, досягається зростання рівномірності розподілення електричного високочастотного поля по ширині електронної стрічки в зазорі між гребінками, тобто в каналі, де рухається стрічковий електронний пучок. Це також сприяє підвищенню ККД і вихідної потужності генератора при зменшенні габаритів і маси приладу.

Застосування в другому варіанті виконання конструкції генератора драбинчастих періодичних структур створює умови для застосування і ефективного використання багатопроміньових циліндричних електронних пучків, що сприяє підвищенню ККД і вихідної потужності генератора при зменшенні габаритів і маси приладу.

Компактне розміщення осей електронних пучків на відстані біля  $2\lambda$  ( $\lambda$  - довжина хвилі сигналу, що генерується), дозволяє застосувати для забезпечення фокусування багатопучкового електронного потоку магнітну систему з невеликими габаритами та масою. Використання у запропонованому генераторі БОС, яка формує електронний потік, який складається, наприклад з  $N=5$  стрічкових електронних пучків, дозволяє зменшити магнітне поле приблизно в  $\sqrt{N}$  разів (де  $N$  - число електронних пучків) порівняно з однопучковим генератором з такою ж величиною робочого току. Зменшення маси магніту призводить до суттєвого зменшення маси та габаритів генератора. Щілини в поверхнях граней сходинок ешелетів, розташованих над періодичними структурами, забезпечують сильний зв'язок між просторами взаємодії електронних пучків з високочастотним електромагнітним полем та міждзеркальним об'ємом відкритого резонатора.

Сутність винаходу пояснюється ілюстраціями, де на фіг 1 схематично зображено поперечний переріз генератора, який показує взаємне розташування дзеркал ВР, періодичних структур, електронних пучків в просторах взаємодії генератора, конструкцію якого виконано відповідно до п 1 формули винаходу, на фіг 2 - перетин по А-А на фіг 1, на фіг 3 - перетин по Б-Б на фіг 1, на фіг 4 - періодична система драбинчастого типу з каналами для циліндричних електронних пучків, на фіг 5 - розподілення електромагнітного поля в області щілин зв'язку з міждзеркальним об'ємом ВР просторів взаємодії електронних пучків та електромагнітного поля.

Резонансний генератор електромагнітних коливань КВЧ містить ВР, створений дзеркалами 1 і 2, електронно-оптичну систему з числом емітерів 3 і колекторів 4 для збирання відпрацьованих електронів рівним кількості електронних пучків 5. Дзеркало 1 з робочою угнутою, наприклад, сфе-

ричною поверхнею, містить хвильовідний вивід 6 енергії електромагнітних коливань КВЧ з щільною зв'язку з навантаженням. Вісь симетрії виводу 6 енергії розташована в області оптимального зв'язку ВР з навантаженням. Дзеркало 2 складається з двох прямокутних ешелетів 7, 8, які розташовані дзеркально-симетрично відносно площини симетрії приладу. Грані 9 ешелетів 7, 8, які повернуті в бік дзеркала 1, розташовані в площинах, які перпендикулярні площині симетрії приладу. Грань 10 є спільною для ешелетів 7, 8. На робочій поверхні грані 10, а також найближчих до неї гранях 9 ешелетів 7, 8, які перпендикулярні площині симетрії генератора, виконані щілини 11 зв'язку з міждзеркальним об'ємом просторів взаємодії 12 електронних пучків 5 з високочастотним полем.

Резонансний генератор електромагнітних коливань діапазону КВЧ-ешелетрон, виконаний за п 2 формули винаходу (фіг 1, фіг 2), містить основну 13 і додаткові 14 періодичні структури у вигляді здвоєних гребінок, які встановлено у прямокутних призматичних порожнинах 15 під відбиваючою поверхнею кутово-ешелетного дзеркала. Подвоєні гребінки мають канали для стрічкових електронних пучків 5. Електронно-оптична система, яка формує електронні пучки 5, містить емітери 3 і колектори 4 відповідно до кількості електронних пучків.

Резонансний генератор електромагнітних коливань діапазону КВЧ-ешелетрон, виконаний за п 3 формули винаходу (фіг 1, фіг 4), містить основну 13 і додаткові 14 періодичні структури виконані у вигляді драбин з каналами для циліндричних електронних пучків. Основна 13 і додаткові 14 періодичні структури генератора розташовані в області найбільшої концентрації високочастотного електричного поля (фіг 5).

Запропонований генератор працює так.

При подачі на лампу електроенергії емітери 3 створюють багатопроменивий електронний потік 5. Електронні пучки 5, рухаючись в каналах основної 13 і додаткових 14 періодичних структур, генерують дифракційне електромагнітне випромінювання, яке через електродинамічні прямокутні призматичні порожнини 15 і щілини зв'язку 11 проникає в міждзеркальний об'єм ВР і потрапляє на дзеркало 1. При збігу частоти випромінювання з власною частотою коливань ВР в останньому відбувається збудження високодобротних електромагнітних коливань. Це призводить до появи сильного електромагнітного поля в міждзеркальному об'ємі в області основної 13 і додаткових 14 періодичних структур (фіг 5), що сприяє появи модуляції електронних пучків 5 по густині. Модульовані по густині електронні пучки 5 ефективно взаємодіють з сповільненими хвилями поля, які розповсюджуються в основній 13 і додаткових 14 періодичних структурах і генерують потужне когерентне дифракційне випромінювання, частка якого виводиться з об'єму між дзеркалами 1, 7, 8 через хвильовідний вивід 6 енергії електромагнітних коливань в навантаження.

Включення одного з електронних пучків викликає збудження коливань в генераторі, виконаному за п 1, п 2, п 3 формули винаходу, при цьо-

му високочастотна енергія у кутово-ешелетний резонатор буде виводитись тільки через щілини 11 зв'язку з міждзеркальним простором. Включення додаткових електронних пучків при відповідних величинах прискорюючих напруг призводить до взаємної синхронізації через поле ВР електромагнітних коливань, що випромінюються ними з просторів взаємодії основної та додаткових періодичних структур, і таким чином до зростання сумарної потужності КВЧ випромінювання. Порівняно з технічним рішенням-прототипом і іншими електронно-вакуумними генераторами з розподіленою взаємодією, запропонований резонансний генератор КВЧ випромінювання має ряд переваг і позитивних якостей.

1 Завдяки тому, що періодичні структури просторів взаємодії електронних пучків та високочастотного електромагнітного поля встановлені під відбиваючою поверхнею кутово-ешелетного дзеркала, зберігається висока добротність коливальної системи, суттєво зменшуються дифракційні втрати, а також вірогідність виникнення міжтипових взаємодій, що дозволяє в порівнянні з генератором-прототипом покращити енергетичні та спектральні якості випромінювання.

2 Застосування основної та додаткових періодичних структур у вигляді здвоєних гребінок або драбин з відповідними електронними пучками забезпечує суттєве підвищення ефективності взаємодії електронних потоків та високочастотного електромагнітного поля, а також ефективності перетворення енергії електронних пучків в високочастотну енергію в одиниці об'єму простору взаємодії без самозбудження генератора на поверхневій хвилі в порівнянні з одно- або багатопробіновими двоходзеркальними генераторами дифракційного випромінювання, у яких періодичні структури розташовані на відбиваючій поверхні кутово-ешелетного або плоского дзеркала та двоходзеркальними багатопучковими оротронами. Загалом все це забезпечує підвищення ККД генератора.

3 Компактне та симетричне розташування 5 пучків сприяє використанню малогабаритних фокусуєчих магнітних систем з відповідним діаметром циліндра однорідного магнітного поля, що забезпечує зменшення габаритів та маси приладу в цілому.

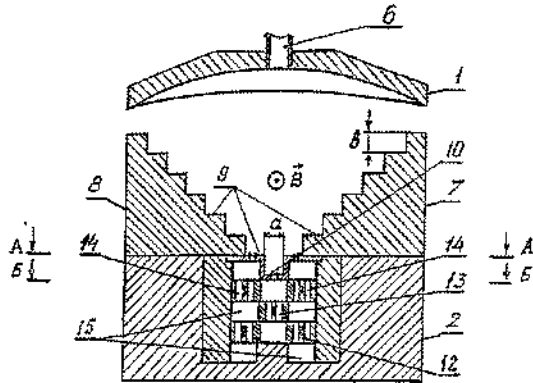
4 Збільшується термін служби генератора та його надійність, тому що використання багатопучкової ЕОС дозволяє забезпечити роботу термокатодів в ощадливому режимі, тобто забезпечувати необхідний робочий струм при меншій щільності струму із одиниці поверхні емітерів.

Резонансний генератор електромагнітних коливань КВЧ, що заявляється реалізовано в Відділі вакуумної електроніки Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України. Проведені лабораторні дослідження характеристик генератора, створеного згідно з формулою заявленого винаходу підтвердили, що конструкція приладу забезпечує його працездатність та розв'язання поставленої задачі - збільшення ККД, потужності вихідного сигналу, покращення якості спектру при зменшенні габаритів та маси приладу пакетованого з магнітною системою.

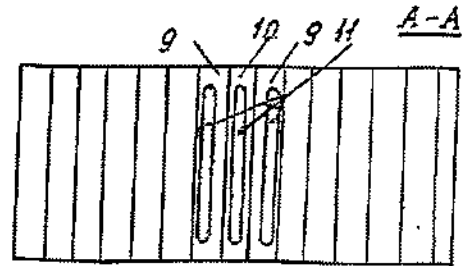
Резонансний генератор електромагнітних коливань КВЧ, що заявляється може знайти широке використання при розробці радіоапаратури, в якій є необхідними джерела міліметрових і субміліметрових хвиль, що забезпечують високу якість спектру коливань та стабільність їх частоти, ви-

соку потужність вихідного сигналу при невеликих габаритах і масі приладів

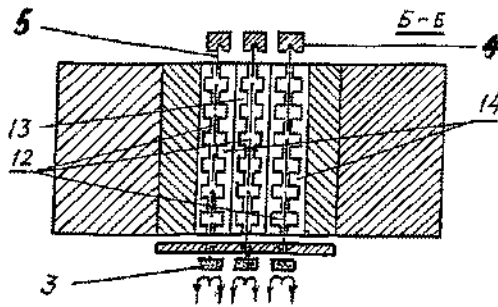
Автори винаходу бажають присвоїти заявленому резонансному генератору електромагнітних коливань КВЧ назву "Ешелетрон"



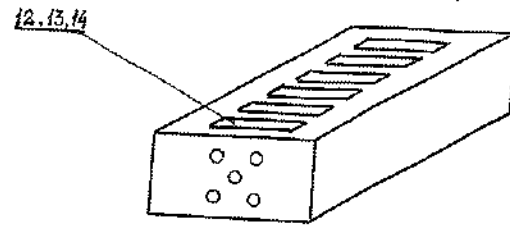
Фиг. 1



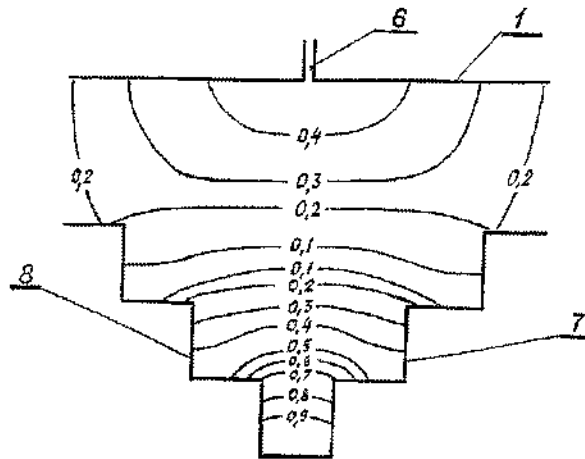
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5