



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **114548** (13) **C2**  
(51) МПК (2017.01)  
**H01J 25/00**  
**H01J 25/02** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	<b>a 2015 08296</b>	(72) Винахідник(и):	<b>Мирошниченко Володимир Семенович (UA), Ковальов Євген Олександрович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки:	<b>21.08.2015</b>	(73) Власник(и):	<b>ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ ІМ. О.Я. УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, вул. Ак. Проскури, 12, м. Харків, 61085 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	<b>26.06.2017</b>	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	<b>UA 105215 C2, 25.04.2014 UA 107057 C2, 10.11.2014 UA 108178 C2, 25.03.2015 RU 2274922 C1, 20.04.2006 US 5187408 A, 16.02.1993 US 4286230 A, 25.08.1981</b>
(41) Публікація відомостей про заявку:	<b>27.02.2017, Бюл.№ 4</b>		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	<b>26.06.2017, Бюл.№ 12</b>		

## (54) ГЕНЕРАТОР ДИФРАКЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

### (57) Реферат:

Генератор дифракційного випромінювання належить до електроніки надвисоких частот, електровакуумних джерел електромагнітних коливань в міліметровому та терагерцевому діапазонах. В генераторі дифракційного випромінювання з відкритою резонансною системою у вигляді відкритого резонатора із рухомим дзеркалом із сферичною робочою поверхнею та нерухомого дзеркала з канавкою, в якій розміщена дифракційна періодична структура у вигляді здвоєної гребінки застосовується асиметрична відкрита резонансна система, в якій канавка із здвоєною гребінкою розміщена на периферії плями поля робочого  $TEM_{00q}$ -типу коливань на нерухомому дзеркалі таким чином, що площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки не співпадає з віссю відкритого резонатора. При використанні плоского нерухомого дзеркала розміщують здвоєну гребінку таким чином, що площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки перпендикулярна до поверхні плоского дзеркала і зміщена від осі відкритого резонатора на відстань  $dx$ , що задовольняє умовам  $0,5w_0 < dx < w_0$ , де  $w_0$  - радіус плями поля робочого  $TEM_{00q}$ -типу коливань на плоскому дзеркалі. При використанні циліндричного нерухомого дзеркала розміщують здвоєну гребінку вздовж твірної циліндра таким чином, що площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки розташована під кутом  $\varphi$  до осі відкритого резонатора, що задовольняє умовам  $\frac{\pi w_{0x}}{R_c} < \varphi < \frac{2\pi w_{0x}}{R_c}$ , де  $w_{0x}$  - радіус плями поля робочого  $TEM_{00q}$ -типу коливань в напрямі, перпендикулярному до твірної циліндра,  $R_c$  - радіус кривизни поверхні циліндричного дзеркала. Технічним результатом є забезпечення підвищення стабільності частоти генерації та збільшення смуги перестроювання генератора по частоті шляхом зменшення омичних та дифракційних втрат, спричинених періодичною структурою.

UA 114548 C2

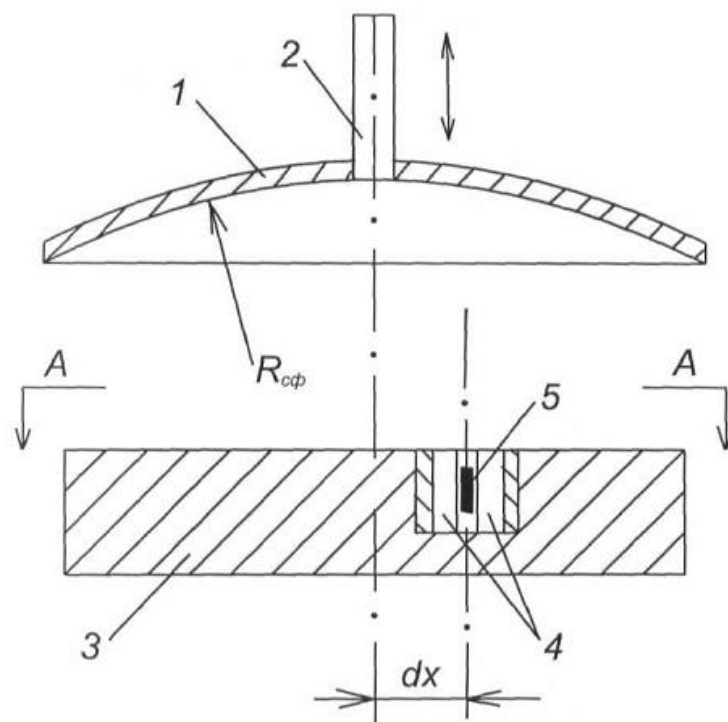


Fig. 1

Запропонований винахід належить до електроніки надвисоких частот, а саме до електровакуумних приладів з відкритими резонансними системами - генераторів дифракційного випромінювання і може бути застосованим при створенні потужних джерел електромагнітних коливань з широким діапазоном перестроювання частоти в міліметровому та терагерцевому діапазонах.

В генераторі дифракційного випромінювання (ГДВ) зазвичай використовується відкрита резонансна система (ВРС), що складається з відкритого резонатора (ВР) з металевими дзеркалами, а для збудження електромагнітних коливань у ВРС використовується стрічковий електронний потік, що рухається поблизу поверхні періодичної структури, розташованій на одному з дзеркал ВР. Вибір відстані між дзеркалами ВР визначає робочий  $TEM_{mnq}$ -тип коливань у ВРС генератора та забезпечує позитивний зворотний зв'язок між накопиченим резонансним полем і електронним потоком. Зазвичай в ГДВ використовується  $TEM_{00q}$ -тип коливань з однією плямою поля на дзеркалі ВР, або  $TEM_{20q}$ -тип коливань з трьома плямами поля на дзеркалі ВР (число варіацій поля між дзеркалами ВР складає  $q=4\div 10$ ).

На потужність, коефіцієнт корисної дії (ККД), стабільність та діапазон перестроювання частоти ГДВ суттєво впливають вибір типу та розмірів періодичної структури, а також, місце її розміщення на дзеркалі ВР. Омічні втрати електромагнітної енергії в періодичній структурі суттєво (в  $6\div 10$  разів) перевищують омічні втрати на гладкій поверхні дзеркала і визначають величину добротності коливань у ВРС. Діапазон перестроювання частоти ГДВ також залежить від ступеня узгодження поля періодичної структури з робочим типом коливань у ВРС.

Відомий електронний прилад для генерації та підсилення коливань міліметрового та субміліметрового діапазонів хвиль - оротрон, що містить відкритий резонатор, утворений дзеркалами, які слугують для формування електромагнітних коливань, поверхня одного з дзеркал, над яким проходить електронний потік, виконана у вигляді періодичної структури (наприклад типу "гребінка") з періодом меншим довжини хвилі генерованих коливань (А.с. СССР № 195557. М. кл. H01j 13/17. Электронный прибор для генерации и усиления колебаний миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн /Ф.С. Русин, Г.Д. Богомолов, 1967 г.). Повне покриття дзеркала періодичною структурою забезпечує її широкопasmову узгодження з полем ВР та широкий діапазон перестроювання частоти оротрона. Суттєвими недоліками оротрона є великі омічні втрати в дзеркалі, яке повністю покрите періодичною структурою та великі дифракційні втрати за рахунок витоку енергії резонансного поля вздовж щілин періодичної структури. Також використання як періодичної структури одинарної гребінки забезпечує лише часткове використання стрічкового електронного потоку по його товщині. Ці фактори зумовлюють високу величину пускового струму, низький ККД та малу вихідну потужність коливань в оротроні.

Відомий генератор дифракційного випромінювання, який складається з плоского та ввігнутого дзеркала з виводом енергії через клиноподібний хвилевід в центрі ввігнутого дзеркала і відбивної дифракційної ґратки на плоскому дзеркалі, в якому для зменшення омічних і дифракційних втрат у відкритому резонаторі та спрощенні технології виготовлення приладу відбивна дифракційна ґратка нанесена лише в центральній частині плоского дзеркала, а над поверхнею ґратки рухається стрічковий електронний потік, що фокусується поздовжнім магнітним полем (А.с. СССР № 334605, М. кл. H01J 23/16. Генератор дифракционного излучения /И.М. Балаклицкий, В.Г. Курин, Б.К. Скрынник, О.А. Третьяков, В.П. Шестопалов, 1972 г.). Цей ГДВ має підвищений рівень вихідної потужності та ККД завдяки збільшеній омічній добротності робочого  $TEM_{20q}$ - типу коливань, для якого лише центральна пляма резонансного поля розміщена на відбивній дифракційній ґратці, а також завдяки зменшенню витоку енергії резонансного поля вздовж щілин ґратки (відбивна дифракційна ґратка розміщена в канавці на плоскому дзеркалі). До недоліків цієї модифікації ГДВ слід віднести зменшення смуги узгодження по частоті поля обмеженої відбивної дифракційної ґратки з полем ВР, а також, лише часткове використання стрічкового електронного потоку по його товщині.

Відомий генератор дифракційного випромінювання, який містить у собі відкритий резонатор, одне з дзеркал якого має вивід енергії, а в центральній частині іншого дзеркала виконана періодична структура, в якому для підвищення ККД, вихідної потужності та зменшення пускового струму періодична структура виконана у вигляді двох гребінок, розміщених дзеркально симетрично відносно осі резонатора в паралельних їй площинах, та електронно-оптичну систему, яка формує стрічковий електронний потік, що рухається в каналі між робочими поверхнями гребінок, і магнітну фокусуючу систему для супроводження електронного потоку (А.с. СССР № 669963, М. кл. H01J 25/00. Генератор дифракционного излучения /В.Д. Еремка, В.К. Корнеенков, Б.К. Скрынник, В.П. Шестопалов, 1976 г.). В цій модифікації ГДВ ефективно використовується вся товщина стрічкового електронного потоку (робочі поверхні гребінок

розміщені по обидві сторони стрічкового потоку) і суттєво підвищені вихідна потужність електромагнітних коливань та ККД генератора. До недоліків цієї модифікації ГДВ слід віднести суттєво зменшену смугу робочих частот, що є наслідком швидкої зміни структури резонансного поля робочого  $TEM_{00q}$ -типу коливань поблизу здвоєної гребінки при перестроюванні частоти.

Найбільш близьким до даного винаходу за технічною суттю та сукупністю ознак аналогом (прототипом) є орбіктрон - генератор дифракційного випромінювання, який містить у собі коливальний контур у вигляді відкритого резонатора із нерухомим та рухомим дзеркалами. В центральній частині нерухомого дзеркала виконано резонансну прямокутну канавку, на дні канавки врівень з її поверхнею встановлено дифракційну періодичну структуру у вигляді здвоєної гребінки, робочі поверхні якої паралельні і дзеркально симетричні відносно осі відкритого резонатора. В зазорі між робочими поверхнями здвоєної гребінки проходить стрічковий електронний потік, що формується електронно-оптичною та магнітно-фокуруючою системами (Патент на винахід UA 105215 C2, МПК H01J 25/00 Орбіктрон - генератор дифракційного випромінювання /В.Д. Єрьомка, В.С. Мірошніченко, М.Ю. Демченко, 2014 р.). В цьому генераторі резонансна прямокутна канавка виконує роль узгоджуючого хвилевідного трансформатора між полем дифракційної періодичної структури і робочим типом коливань у ВР, завдяки чому підвищується амплітуда резонансного поля в здвоєній гребінці та покращується енергообмін між електронним потоком і резонансним електромагнітним полем. До недоліків орбіктрона слід віднести підвищені дифракційні втрати за рахунок витоку енергії вздовж прямокутної канавки за межі ВР та підвищені омичні втрати в здвоєній гребінці, що призводять до зменшення добротності коливань у ВР та до зниження стабільності частоти генерації.

В наведених модифікаціях ГДВ підвищення вихідної потужності електромагнітних коливань та збільшення ККД супроводжується звуженням діапазону перестроювання генератора по частоті та зниженням стабільності частоти генерації. Але для багатьох практичних застосувань ГДВ, навпаки, потрібно мати генератор з широким діапазоном перестроювання по частоті та з підвищеною стабільністю частоти генерації, навіть при незначному зниженні ККД.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалити ГДВ шляхом збільшення смуги перестроювання по частоті та підвищення стабільності частоти генерації при збереженні рівня вихідної потужності та ККД генератора.

Поставлена задача вирішується завдяки вибору такої ВРС для ГДВ, в якій забезпечується широкосмугове узгодження поля періодичної структури з робочим типом коливань, зменшуються омичні та дифракційні втрати енергії резонансного поля, спричинені періодичною структурою. Для цього в ГДВ, який містить ВРС у вигляді ВР із нерухомим та рухомим дзеркалами, на рухомому дзеркалі із сферичною робочою поверхнею виконано щілину зв'язку із хвилевідним пристроєм для передачі високочастотної енергії з ВР у навантаження, на нерухомому дзеркалі виконано канавку, в якій встановлено дифракційну періодичну структуру у вигляді здвоєної гребінки з паралельними і дзеркально-симетричними робочими поверхнями, електронно-оптичну систему, яка формує стрічковий електронний потік, що рухається в каналі між робочими поверхнями здвоєної гребінки, магнітну фокуруючу систему для супроводження електронного потоку, відповідно до винаходу відкрита резонансна система виконана асиметричною, а саме канавка із здвоєною гребінкою розміщена на периферії плями поля робочого  $TEM_{00q}$ -типу коливань на нерухомому дзеркалі, одна бокова сторона здвоєної гребінки суміщена з робочою поверхнею дзеркала, а площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки не співпадає з віссю ВР. Для варіанта ГДВ з плоскою робочою поверхнею нерухомого дзеркала відповідно до винаходу площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки перпендикулярна до поверхні плоского дзеркала і зміщена від осі відкритого резонатора на відстань  $dx$ , що

задовольняє умовам  $0,5w_0 < dx < w_0$ , де  $w_{0x}$  - радіус плями поля робочого  $TEM_{00q}$ -типу коливань на плоскому дзеркалі. Для варіанта ГДВ з циліндричною робочою поверхнею нерухомого дзеркала відповідно до винаходу здвоєна гребінка розміщена в канавці вздовж твірної циліндричної поверхні, а площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки перпендикулярна до поверхні циліндричного дзеркала і розміщена під кутом  $\varphi$  до осі ВР, що задовольняє умовам  $\frac{\pi w_{0x}}{R_c} < \varphi < \frac{2\pi w_{0x}}{R_c}$ , де  $w_{0x}$  - радіус плями поля робочого  $TEM_{00q}$ -типу коливань на поверхні дзеркала в напрямі, перпендикулярному до твірної циліндра,  $R_c$  - радіус кривизни поверхні циліндричного дзеркала.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак винаходу, що заявляються, та технічним результатом, що досягається, полягає в наступному. Використання в конструкції ГДВ

асиметричної ВРС, в якій площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки не співпадає з віссю відкритого резонатора, а здвоєна гребінка розміщена на периферії плями поля робочого TEM<sub>00q</sub>-типу коливань забезпечує зменшення омичних втрат у здвоєній гребінці і обумовлює зростання добротності коливань у ВРС та підвищення стабільності частоти генерації.

5 Розширення діапазону перестроювання частоти в запропонованому ГДВ відбувається за рахунок зменшення дифракційних втрат у ВРС, спричинених здвоєною гребінкою при перестроюванні частоти робочого TEM<sub>00q</sub>-типу коливань. Справа в тому, що при асиметричному розташуванні здвоєної гребінки на нерухомому дзеркалі має місце зміна механізму формування структури резонансного поля у ВРС і розширюється смуга узгодження по частоті поля здвоєної

10 гребінки з полем робочого TEM<sub>00q</sub>-типу коливань.

В запропонованому ГДВ з асиметричною ВРС не слід очікувати суттєвого збільшення величини пускового струму та зниження ККД. Так, критерієм ефективності взаємодії електронного потоку з резонансним полем в ГДВ є величина пускового струму (межа збудження

власних коливань у ВРС генератора), що складає:  $I_{\text{пуск}} \sim \frac{1}{L^2 \psi Q}$ , де  $L$  - довжина простору

15 взаємодії,  $\psi$  - коефіцієнт використання резонансного поля електронним потоком,  $Q$  - добротність робочого типу коливань. Якщо омичні втрати в здвоєній гребінці суттєво перевищують інші втрати робочого TEM<sub>00q</sub>-типу коливань, то при розміщенні здвоєної гребінки на периферії плями поля залишається незмінною відносна довжина простору взаємодії  $L$ , а зменшення амплітуди поля в здвоєній гребінці компенсується зростанням омичної добротності,

20 тобто майже не змінюється добуток  $\psi Q$ .

Отже суттєво не зміниться і величина пускового струму генератора, а стабільність частоти генерації суттєво підвищиться. Якщо немає потреби в підвищенні стабільності частоти генерації, то зменшення омичних втрат в здвоєній гребінці дозволяє покращити контурний ККД генератора за рахунок збільшення коефіцієнту зв'язку ВРС з навантаженням.

25 Суть винаходу пояснюється кресленнями. На Фіг. 1 показано поперечний переріз ГДВ з асиметричним розміщенням здвоєної гребінки на плоскому дзеркалі, а на Фіг. 2 показано переріз по А-А, вказаний на Фіг. 1. На Фіг. 3 показано поперечний переріз ГДВ з асиметричним розміщенням здвоєної гребінки на циліндричному дзеркалі, а на Фіг. 4 показано переріз по А-А, вказаний на Фіг. 3. Результати 2-D моделювання розподілу електричного поля для TEM<sub>00q</sub>-типу

30 коливань в асиметричній ВРС з плоским дзеркалом в приведені на Фіг. 5 (середня частота діапазону  $f=f_0$ ) та на Фіг. 6 (нижня частота діапазону  $f=0,97f_0$ ). Розподіл поля в симетричній ВРС на нижній частоті діапазону  $f=0,97f_0$  приведено на Фіг. 7. Результати експериментальних досліджень вихідної потужності ГДВ з симетричною та асиметричною ВРС приведені на Фіг. 8.

Генератор дифракційного випромінювання містить (Фіг. 1, Фіг. 2, Фіг. 3, Фіг. 4) відкритий резонатор, утворений рухомим дзеркалом 1 із сферичною робочою поверхнею і хвилевідним виводом електромагнітної енергії 2 та нерухомим дзеркалом 3. В канавці на нерухомому дзеркалі 3 розміщена здвоєна гребінка 4, причому одна бокова сторона здвоєної гребінки суміщена з робочою поверхнею нерухомого дзеркала. Електронно-оптична система (не показана) формує стрічковий електронний потік 5, який супроводжується магнітною

40 фокусуючою системою (не показана) і проходить в каналі між робочими поверхнями здвоєної гребінки 4. В ГДВ з плоским нерухомим дзеркалом 3 (див. Фіг. 1, Фіг. 2) площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки 4 перпендикулярна до поверхні плоского дзеркала 3 і зміщена від осі відкритого резонатора на відстань  $dx$ . В ГДВ з циліндричним нерухомим дзеркалом 3 (Фіг. 3, Фіг. 4) здвоєна гребінка 4 розміщена вздовж твірної циліндричного дзеркала 3 таким чином, що

45 площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки 4 перпендикулярна до поверхні циліндричного дзеркала 3 і розміщена під кутом  $\phi$  до осі відкритого резонатора.

Запропонований генератор дифракційного випромінювання працює у такий спосіб. Електронно-оптична система і магнітна фокусуюча система (на Фіг. 1 - Фіг. 4 не показані) формує стрічковий електронний потік 5, який рухається в каналі між робочими поверхнями здвоєної гребінки 4 і взаємодіє із електричною складовою високочастотного електромагнітного поля ВРС, що приводить до формування в потоці згустків електронів. Згустки електронів при своєму русі поблизу робочих поверхонь здвоєної гребінки збуджують дифракційне випромінювання, яке накопичується в просторі між дзеркалами 1 та 3. Коли частота дифракційного випромінювання співпадає з резонансною частотою робочого типу коливань

55 забезпечується позитивний зв'язок між електронним потоком та полем ВРС. При перевищенні енергії, відібраної від електронного потоку над омичними і дифракційними втратами у ВРС встановлюється автоколивальний процес. Частина накопиченої енергії в міждзеркальному просторі виводиться в навантаження через хвилевідний вивід енергії 2.

Проведені експериментальні дослідження властивостей ВРС з асиметричним розміщенням здвоєної гребінки на плоскому дзеркалі ( $dx=0,7w_0$ ) на середній частоті діапазону ( $f_0=33,5\text{ГГц}$ ) показали збільшення добротності  $\text{TEM}_{006}$ -типу коливань до  $Q_{\max}\sim 6800$  в порівнянні з добротністю  $\text{TEM}_{006}$ -типу коливань в симетричній ВРС ( $Q_{\max}=4000$  при  $dx=0$ ). Смуга перестроювання частоти асиметричної ВРС на  $\text{TEM}_{006}$ -типі коливань зросла в 1,5 рази при  $Q>3400$  та склала  $\Delta f/f_0=9\%$ . Асиметричне розміщення здвоєної гребінки на дзеркалі ВР позитивно впливає на механізм формування структури резонансного поля в міждзеркальному просторі при перестроюванні частоти, а саме, зменшуються дифракційні втрати, спричинені здвоєною гребінкою при перестроюванні частоти робочого типу коливань. Це підтверджується результатами 2-D моделювання розподілу електричного поля в асиметричній ВРС. Так, на оптимальній робочій частоті  $f_0$ , коли в хвилеводах, створених протилежними щілинами здвоєної гребінки, розміщується ціле число варіацій резонансного поля, має місце повне узгодження поля здвоєної гребінки з полем робочого  $\text{TEM}_{06}$ -типу коливань з мінімальними дифракційними втратами (Фіг. 5). При перестроюванні асиметричної ВРС на  $\text{TEM}_{06}$ -типі коливань до  $f=0,97f_0$  вихід резонансного поля за межі комірок здвоєної гребінки призводить лише до зсуву варіацій поля в міждзеркальному просторі без суттєвого збільшення дифракційних втрат (Фіг. 6). Для симетричної ВРС із здвоєною гребінкою на частоті  $f=0,97f_0$  вихід резонансного поля за межі комірок здвоєної гребінки призводить до розпаду варіацій поля в міждзеркальному просторі і швидкому росту дифракційних втрат (Фіг. 7).

Виконання ГДВ з асиметричною ВРС у відповідності до формули винаходу забезпечує генерування електромагнітного випромінювання із суттєво підвищеною стабільністю частоти сигналу та розширеним діапазоном перестроювання частоти генерації. Це підтверджується результатами експериментальних "гарячих" досліджень макету ГДВ для 8-мм діапазону довжин хвиль приведених на Фіг. 8. Діапазон перестроювання частоти в ГДВ з асиметричною ВРС на  $\text{TEM}_{06}$ -типі коливань перевищував в 1,5 рази діапазон перестроювання частоти в ГДВ з симетричною ВРС. Максимальна вихідна потужність ГДВ з симетричною і асиметричною ВРС була практично однакова і складала  $P_{\max}\approx 35\text{ Вт}$ .

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

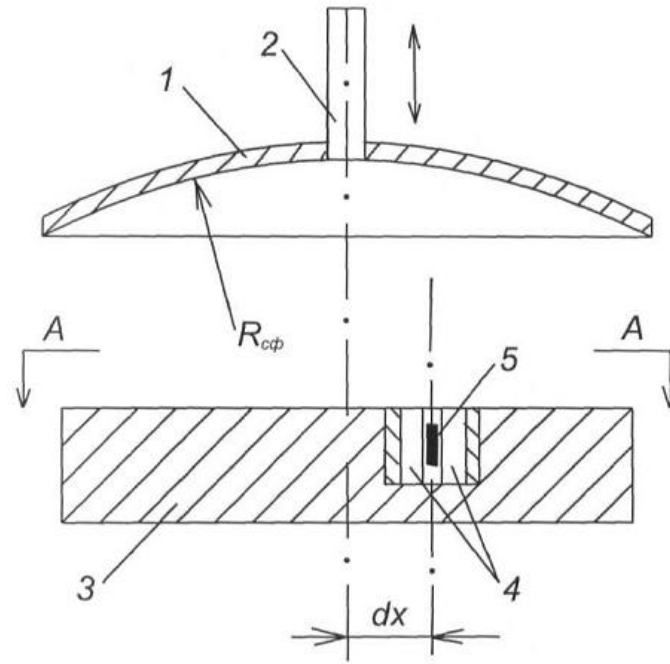
1. Генератор дифракційного випромінювання, який містить відкриту резонансну систему у вигляді відкритого резонатора із нерухомим та рухомим дзеркалами, на рухомому дзеркалі із сферичною робочою поверхнею виконано щілину зв'язку із хвильовідним пристроєм для передачі високочастотної енергії з відкритого резонатора у навантаження, на нерухомому дзеркалі виконано канавку, в якій встановлено дифракційну періодичну структуру у вигляді здвоєної гребінки з паралельними і дзеркально-симетричними робочими поверхнями, електронно-оптичну систему, яка формує стрічковий електронний потік, що рухається в каналі між робочими поверхнями здвоєної гребінки, магнітну фокусуючу систему для супроводження електронного потоку, який **відрізняється** тим, що відкрита резонансна система виконана асиметричною, а саме канавка із здвоєною гребінкою розміщена на периферії плями поля робочого  $\text{TEM}_{00q}$ -типу коливань на нерухомому дзеркалі, одна бокова сторона здвоєної гребінки суміщена з робочою поверхнею дзеркала, а площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки не співпадає з віссю відкритого резонатора.

2. Генератор за п. 1, який **відрізняється** тим, що робоча поверхня нерухомого дзеркала виконана плоскою, а площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки перпендикулярна до поверхні плоского дзеркала і зміщена від осі відкритого резонатора на відстань  $dx$ , що задовольняє умовам  $0,5w_0 < dx < w_0$ , де  $w_0$  - радіус плями поля робочого  $\text{TEM}_{00q}$ -типу коливань на плоскому дзеркалі.

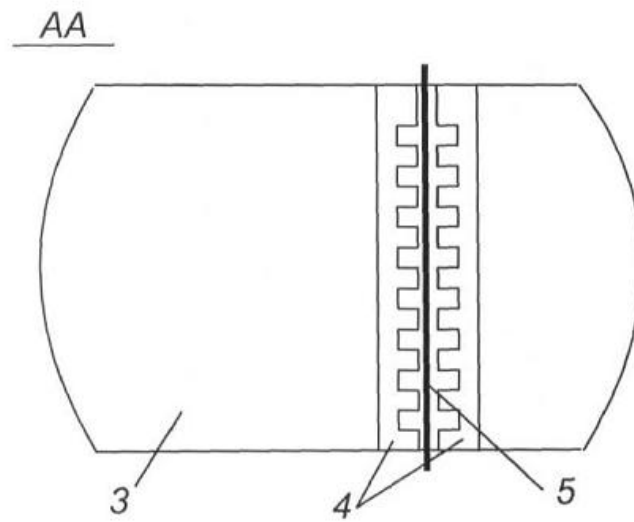
3. Генератор за п. 1, який **відрізняється** тим, що робоча поверхня нерухомого дзеркала виконана циліндричною, здвоєна гребінка розміщена в канавці вздовж твірної циліндричної поверхні, а площа дзеркальної симетрії здвоєної гребінки перпендикулярна до поверхні циліндричного дзеркала і розташована під кутом  $\varphi$  до осі відкритого резонатора, що

задовольняє умовам  $\frac{\pi w_{0x}}{R_c} < \varphi < \frac{2\pi w_{0x}}{R_c}$ , де  $w_{0x}$  - радіус плями поля робочого  $\text{TEM}_{00q}$ -типу

коливань на поверхні дзеркала в напрямі, перпендикулярному до твірної циліндра,  $R_c$  - радіус кривизни поверхні циліндричного дзеркала.



Фиг. 1



Фиг. 2

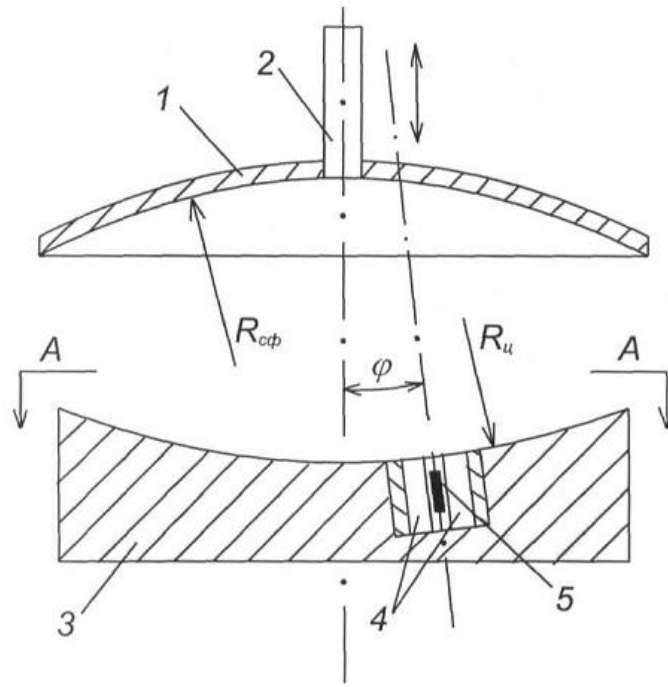


Fig. 3

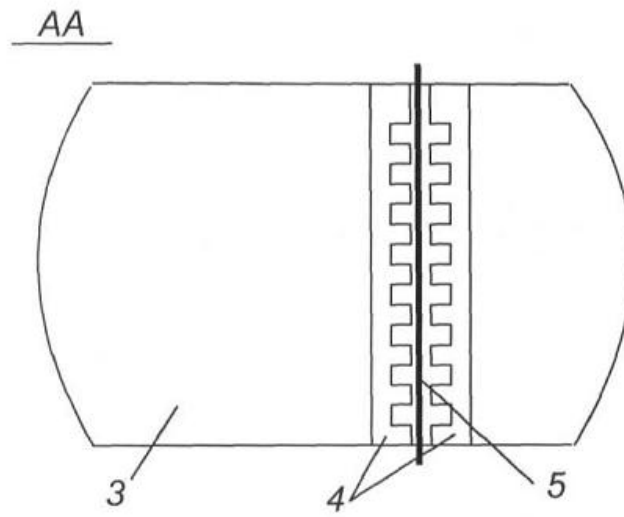
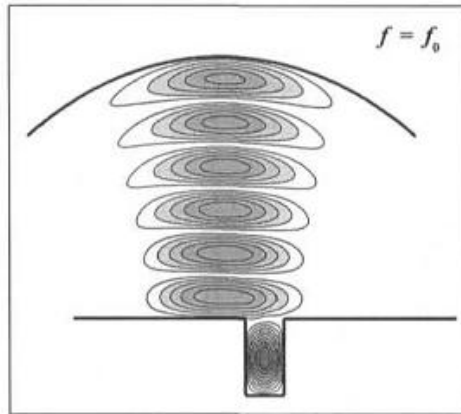
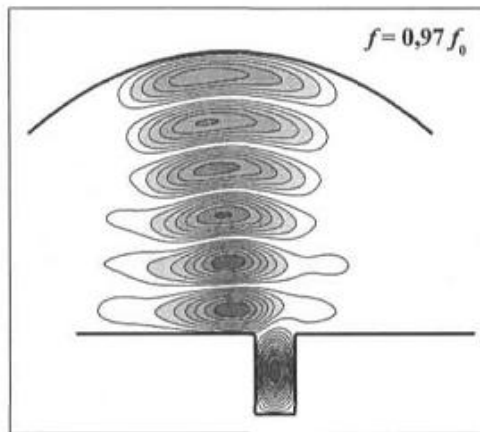


Fig. 4

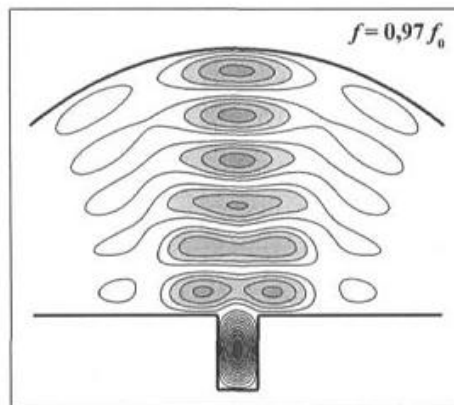




Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

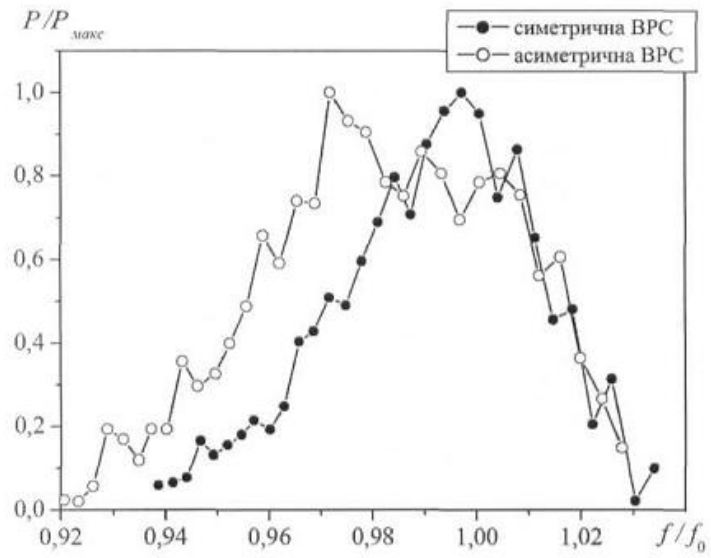


Fig. 8

Комп'ютерна верстка О. Гергіль

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601