



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **86529** (13) **U**
(51) МПК (2013.01)
H01J 25/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2013 02490	(72) Винахідник(и):	Срьомка Віктор Данилович (UA)
(22) Дата подання заявки:	27.02.2013	(73) Власник(и):	Срьомка Віктор Данилович, вул. Маршала Бажанова, 3, кв. 16, м. Харків, 61002 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	10.01.2014		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.01.2014, Бюл.№ 1		

(54) НАНОКЛІСТРОН

(57) Реферат:

Наноклістрон містить електронно-оптичну систему, холодний катод, автоемісійний емітер електронів, плоский керуючий електрод, плоский фокусуючий електрод, анод, основний тороїдальний резонатор із робочою резонансною круговою частотою $\omega_0 = 2\pi f_0$, сітки, перший додатковий тороїдальний резонатор із робочою круговою частотою $\omega_1 = 2\pi n f_0$, зазори взаємодії, відбивач електронів, хвилевідний пристрій для передавання високочастотної енергії у навантаження, другий додатковий тороїдальний резонатор із робочою круговою частотою $\omega_2 = 2\pi m f_0$. Суміжні сітки зазорів взаємодії основного і другого додаткового тороїдальних резонаторів, а також суміжні сітки зазорів взаємодії першого та другого додаткових резонаторів об'єднані між собою і електрично з'єднані із керуючим електродом.

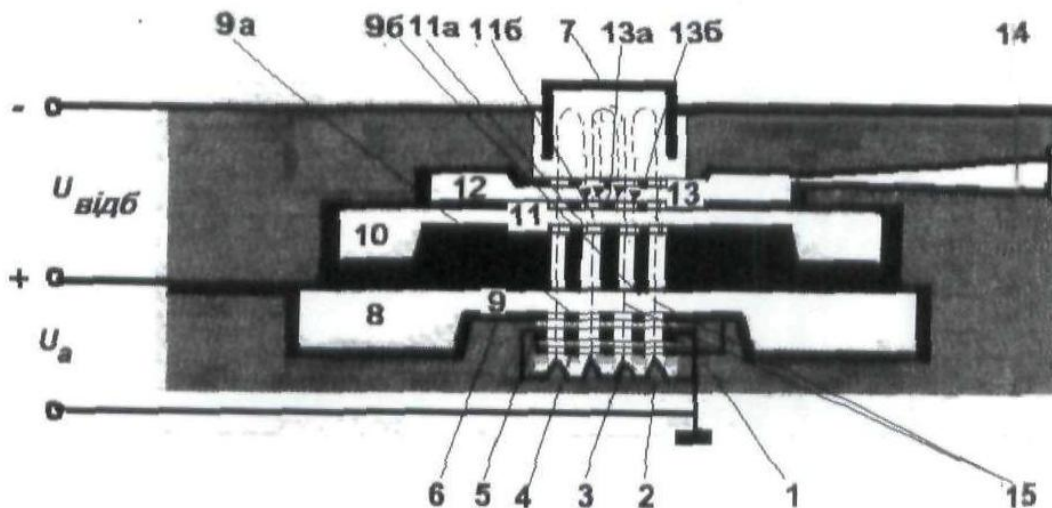


Fig.1.

UA 86529 U

Корисна модель належить до вакуумної електроніки край високих частот (КВЧ) і може знайти широке використання в джерелах електромагнітних коливань О-типу, а саме в наноклістронах міліметрового (ММ) та субміліметрового (субММ) діапазонів, зокрема у відбивальних наноклістронах терагерцового інтервалу частот із малим часом готовності та великим терміном безвідмовної роботи.

Відомий відбивальний клістрон (ВК) субММ діапазону хвиль, який містить у собі електронно-оптичну систему, виконаний із осесиметричним отвором анод у вигляді тороїдального резонатора, відбивач електронів, хвилевідний пристрій для передавання електромагнітної енергії із тороїдального резонатора в навантаження [Чернец А.Н., Бабенко М.И., Огаркова Л.В. Отражательные клистроны миллиметрового и субмиллиметрового диапазона волн // Труды ИРЭ АН УССР, 1970. - Т. 18. - С. 90-105].

Недолік відомого відбивального клістрона субММ діапазону хвиль полягає в наступному. В електронно-оптичній системі (ЕОС) відбивального клістрона - аналога використано термоелектронний катод, емісія потоку електронів із емітера якого неможлива без затрат енергії на його розігрівання. Такий катод забезпечує термін безвідмовної роботи генератора декілька сотень годин. Емітер термоелектронного катода не спроможний забезпечити збільшення щільності струму емісії при підвищенні робочої частоти відбивального клістрона у терагерцовому інтервалі частот. Внаслідок цього ЕОС із термоелектронним катодом в таких генераторах не спроможна забезпечити формування електронного пучка із достатньою щільністю робочого струму та підвищення потужності вихідного сигналу навіть при застосуванні поперечної компресії потоку заряджених часток. Окрім цього ВК с термоелектронним катодом не забезпечує миттєвого терміну готовності.

Відомий наноклістрон (НК) - генератор електромагнітного випромінювання терагерцового інтервалу частот, який містить ЕОС, яка складається із холодного катода із автоемісійним емітером електронів у вигляді матриці вістер, керуючого електрода у вигляді сітки із системою круглих отворів коаксіальних вістрям, анода у вигляді тороїдального резонатора із зазором взаємодії створеним першою та другою сітками у вигляді матриці круглих отворів коаксіальних вістрям, відбивач електронів, хвилевідний пристрій для передавання високочастотної енергії із тороїдального резонатора у навантаження [P.H. Siegel, A. Fung, H. Manohara, J. Xu, B. Chang, Nanoklystron: A Monolithic Tube Approach to THz Power Generation // 12th International Symposium on Space Terahertz Technology, San Diego, CA, paper 3.3, Feb.14-16, 2001].

Технічне рішення - наноклістрон має суттєві недоліки. Недоліки обумовлені тим, що ЕОС такого НК має три електроди, потенціал на яких зростає від катода до анода, а це обумовлює формування електронного струмка зі значним розкидом заряджених часток по енергіях. Послідовне зростання потенціалів на електродах ЕОС викликає збільшення поперечної складової швидкості електронів. Збільшення поперечної складової швидкості електронів не сприяє ефективному модулюванню за швидкістю такого потоку заряджених часток високочастотним полем в зазорі взаємодії одного тороїдального резонатора, а також їх групуванню за щільністю у компактні згустки. Вказані недоліки не сприяють збільшенню потужності вихідного сигналу при підвищенні робочої частоти в терагерцовому інтервалі частот.

Найближчим аналогом є наноклістрон, який містить електронно-оптичну систему, що складається із холодного катода на основі автоемісійного емітера електронів у вигляді матриці вістер, плоского керуючого електрода у вигляді матриці з круглими отворами коаксіальними вістрям, плоского фокуруючого електрода у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, електрично з'єднаного із катодом, анода - коливальної системи у вигляді основного тороїдального резонатора із робочою резонансною круговою частотою $\omega = 2\pi f_0$, де f_0 - резонансна частота коливань основного резонатора, і зазором взаємодії, створеним першою та другою сітками, кожна із яких виконана у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, та першого додаткового тороїдального резонатора із робочою круговою частотою $\omega = 2\pi n f_0$, де $n = 3, 5, 7, 9$ - номер гармоніки коливань, f_0 - резонансна частота коливань основного резонатора, зазором взаємодії, створеним двома плоскими сітками, паралельними площинам першої та другої сітки основного тороїдального резонатора, кожна із яких виконана у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, електрично з'єднаної із керуючим електродом, при цьому суміжні сітки зазорів взаємодії основного і першого додаткового тороїдальних резонаторів об'єднані, відбивач електронів, хвилевідний пристрій для передавання високочастотної енергії у навантаження, встановлений у першому додатковому резонаторі [Патент України №101503, МПК⁹ H01J 25/00. Наноклістрон. В.Д. Єрьомка. 2012 р., Бюл. №7, 2013р.].

У найближчому аналозі модуляція електронного потоку за швидкістю відбувається у зазорі взаємодії основного резонатора, а відбір енергії у електронів після модуляції їх по щільності на

шляху від відбивача електронів до зустрічі із гальмівною електричною складовою електромагнітного поля відбувається у зазорі взаємодії першого додаткового тороїдального резонатора, який має робочу кругову частоту $\omega_n = 2\pi f_0$, де $n = 3, 5, \dots$ - номер гармоніки коливань, f_0 - резонансна частота коливань основного резонатора. При цьому, як процес модуляції електронів за швидкістю, так і процес їх групування за щільністю не є оптимальними. Вказані недоліки не сприяють збільшенню потужності вихідного сигналу при підвищенні робочої частоти наноклістрона.

В основу корисної моделі поставлено задачу - удосконалити наноклістрон шляхом удосконалення резонаторної системи, що забезпечить підвищення ефективності модулювання часток електронного потоку за швидкістю, групування їх в більш щільні згустки, та зростання потужності вихідного сигналу при підвищенні робочої частоти генератора в терагерцовому інтервалі.

Поставлена задача вирішується тим, що у наноклістріні, який містить електронно-оптичну систему, що складається із холодного катода на основі автоемісійного емітера електронів у вигляді матриці вістрів, плоского керуючого електрода у вигляді матриці з круглими отворами коаксіальними вістрям, плоского фокусуючого електрода у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, електрично з'єднаного із катодом, анода - коливальної системи у вигляді основного тороїдального резонатора із робочою резонансною круговою частотою $\omega_0 = 2\pi f_0$, де f_0 - резонансна частота коливань основного резонатора, і зазором взаємодії, створеним першою та другою сітками, кожна із яких виконана у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, та першого додаткового тороїдального резонатора із робочою круговою частотою $\omega_n = 2\pi n f_0$, де $n = 3, 5, 7, 9$ - номер гармоніки коливань, f_0 - резонансна частота коливань основного резонатора, зазором взаємодії, створеним двома плоскими сітками, паралельними площинам першої та другої сітки основного тороїдального резонатора, кожна із яких виконана у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, електрично з'єднаної із керуючим електродом, при цьому суміжні сітки зазорів взаємодії основного і додаткового тороїдальних резонаторів об'єднані, відбивач електронів, хвилевідний пристрій для передавання високочастотної енергії у навантаження, встановлений у першому додатковому резонаторі, згідно із корисною моделлю, між основним та першим додатковим тороїдальними резонаторами встановлено другий додатковий тороїдальний резонатор із робочою круговою частотою $\omega_2 = 2\pi n f_0$, де $n = 2$ - номер гармоніки коливань, f_0 - резонансна частота коливань основного резонатора, та зазором взаємодії, створеним двома плоскими сітками, паралельними площинам першої та другої сітки основного тороїдального резонатора, кожна із яких виконана у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, при цьому суміжні сітки зазорів взаємодії основного і другого додаткового тороїдальних резонаторів, а також суміжні сітки зазорів взаємодії першого та другого додаткових резонаторів, об'єднані.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак, що заявляються, та технічним результатом полягає в наступному.

Удосконалення коливальної структури наноклістрона шляхом встановлення між основним тороїдальним резонатором та відбивачем електронів першого додаткового тороїдального резонатора з робочою круговою частотою $\omega_n = 2\pi n f_0$, де f_0 - резонансна частота коливань основного резонатора, $n = 3, 5, 7, 9$, а між першим додатковим та основним тороїдальними резонаторами другого додаткового тороїдального резонатора з робочою круговою частотою $\omega_2 = 2\pi n f_0$, де $n = 2$, які мають зазори взаємодії, створені двома плоскими сітками, паралельними площинам першої та другої сітки основного тороїдального резонатора, кожна із яких виконана у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, при цьому суміжні сітки зазорів взаємодії основного і додаткових тороїдальних резонаторів об'єднані, сприяє підвищенню ефективності модулювання часток електронного потоку за швидкістю та їх групування в більш щільні згустки. Якість $\eta_{\text{гд1}}$ групування електронного потоку в згустки при дії на нього в зазорі взаємодії тільки основного резонатора високочастотним сигналом $U_1 \sin \omega_0 t$ та якість $\eta_{\text{гп2}}$

групування електронного потоку в згустки при дії на нього в зазорі взаємодії основного із високочастотним сигналом $U_1 \sin \omega_0 t$ та другого додаткового резонатора із високочастотним

сигналом $U_2 \sin 2\omega_0 t$ показані на фіг. 2. Фіг. 2 свідчить про те, що залежність якості $\eta_{\text{гп2}}$

групування в згустки сигналом на частоті ω_0 основного резонатора та сигналом другого

додаткового резонатора на частоті $2\omega_0$ від відношення l_{13}/λ_q довжини простору дрейфу між основним та першим додатковим резонатором до плазмової довжини хвилі, як показують

результати математичного моделювання, вища ніж якість групування тільки основним резонатором. Це обумовлено тим, що електрони, промодульовані за швидкістю в зазорі взаємодії основного тороїдального резонатора, зазнають оптимальної модуляції за швидкістю в зазорі взаємодії другого додаткового тороїдального резонатора. Крім цього зменшується розшарування електронного потоку. Зменшення розшарування електронного потоку створює умови для найбільш ефективного із можливих групування в щільні згустки, які суттєво збагачені гармоніками із підвищеною амплітудою в процесі руху у нелінійному електричному полі відбивача. Щільні згустки електронів віддають енергію n -ої гармоніки струму високочастотному полю у зазорі першого додаткового тороїдального резонатора у терагерцовому інтервалі частот.

Потік згрупованих електронів більш ефективно віддає свою кінетичну енергію гальмівній електричній складовій високочастотного електромагнітного поля в зазорі взаємодії першого додаткового тороїдального резонатора на його робочій круговій частоті $\omega_n = 2\pi n f_0$, де $n = 3, 5, 7, 9$, f_0 - резонансна частота коливань основного резонатора, при цьому забезпечується суттєве збільшення потужності вихідного сигналу у порівнянні із величиною потужності вихідного сигналу генератора - найближчого аналога на тій же частоті у терагерцовому діапазоні.

Встановлення хвилевідного пристрою в першому додатковому тороїдальному резонаторі сприяє передачі збільшеної високочастотної енергії із коливальної структури наноклістрона у навантаження на суттєво підвищеній частоті (у порівнянні із наноклістроном - найближчим аналогом) в терагерцовому інтервалі.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями. На фіг. 1 зображено схему наноклістрона, яка показує взаємне розташування його вузлів та елементів: ЕОС із холодним катодом на основі матричного вістрійного автоелектронного емітера; анод - коливальну структуру тороїдальних резонаторів у вигляді основного та першого і другого додаткових тороїдальних резонаторів, при цьому основний тороїдальний резонатор має геометричні розміри, які забезпечують його роботу на круговій частоті $\omega_0 = 2\pi f_0$, другий додатковий тороїдальний резонатор має геометричні розміри, які забезпечують його роботу на круговій частоті $\omega_2 = 4\pi f_0$; перший додатковий тороїдальний резонатор має геометричні розміри, які забезпечують його роботу на частоті $\omega_n = 2\pi n f_0$, де $n = 3, 5, 7, 9$; хвилевідний пристрій для передавання електромагнітної високочастотної енергії у навантаження; відбивач електронів.

Наноклістрон (фіг. 1) містить ЕОС 1, яка складається із холодного катода 2 із матричним вістрійним автоелектронним емітером 3, керуючого електрода 4, фокусуючого електрода 5, анода 6, відбивач 7 електронів. Анод 6 - коливальна структура у вигляді основного тороїдального резонатора 8 із зазором 9 взаємодії, другого додаткового тороїдального резонатора 10 із зазором 11 взаємодії, першого додаткового тороїдального резонатора 12 із зазором взаємодії 13. Зазор 9 взаємодії основного тороїдального резонатора 8 створений першою 9а та другою 9б сітками. Зазор 11 взаємодії другого додаткового тороїдального резонатора 10, створений двома сітками 11а та 11, та зазор взаємодії 13 першого додаткового тороїдального резонатора 12, створений сітками 13а і 13б, площини яких паралельні площинам першої 9а та другої 9б сіток зазору взаємодії 9. При цьому суміжні сітки 9б і 11а, відповідно, зазору 9 взаємодії основного тороїдального резонатора 8 та зазору 11 взаємодії другого додаткового тороїдального резонатора 10, а також суміжні сітки 11б зазору 11 другого додаткового тороїдального резонатора 10 та 13а зазору 13 першого додаткового резонатора 12, об'єднані. У першому додатковому тороїдальному резонаторі 12 встановлено хвилевідний пристрій 14 для передавання високочастотної електромагнітної енергії у навантаження.

Наноклістрон працює таким чином. При його підключенні до джерела живлення на електродах 2, 4, 5, 6 встановлюються відповідні потенціали. При зростанні на вершинах вістер польового емітера 3 катода 2 напруженості електричного поля до величини біля 10^7 В/см розпочинається процес тунелювання з них електронів (ефект автоелектронної емісії). З кожного вістря емітера 3 відбирають струм I_i , величина якого знаходиться в інтервалі $20 \text{ мкА} \leq I_i \leq 30 \text{ мкА}$ при відбиранні із кожного вістря струму $I_i \geq 30 \text{ мкА}$ можливе виникнення вибухової емісії та руйнування емітера. На сформований ЕОС 1 ламінарний електронний потік із незначним розкидом заряджених часток по енергіях в зазорі 9 взаємодії основного тороїдального резонатора 8 діє електрична складова високочастотного електромагнітного поля, яка модулює швидкість електронів. У зазорі 10 взаємодії другого додаткового тороїдального резонатора 10 електрична складова високочастотного поля оптимізує модуляцію електронного потоку за швидкістю часток. Промодульований електронний потік 15 відбивається відбивачем 7 електронів у зворотному напрямі. У нелінійному електричному полі на шляху від відбивача 7 електронів до зазору 13 взаємодії першого додаткового тороїдального резонатора 12, модульований за швидкістю електронний потік зазнає групування за щільністю в згустки на

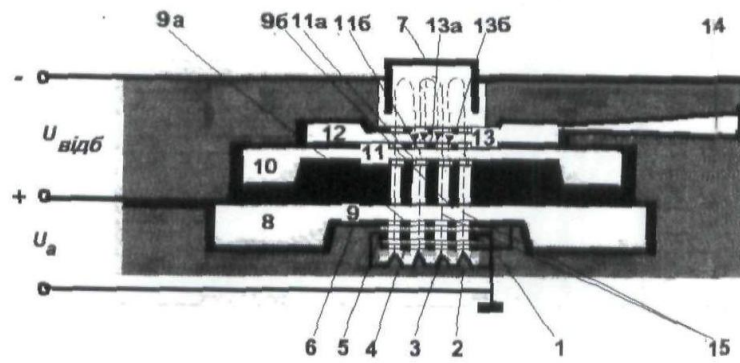
гармоніках струму. Щільні згустки електронів резонансної гармоніки струму віддають в зазорі 13 першого додаткового резонатора 12 свою кінетичну енергію електромагнітному полю при взаємодії з його гальмівною електричною складовою. Частка кінетичної енергії відібраної у електронів і накопиченої в першому додатковому тороїдальному резонаторі 12 виводиться із нього в навантаження за допомогою хвилевідного пристрою 14. У варіанті запропонованого наноклістрона (фіг. 1), коли робочою частотою другого додаткового тороїдального резонатора є друга гармоніка $\omega_2 = 42\pi f_0$ резонансної частоти основного тороїдального резонатора 8, а резонансною частотою першого додаткового тороїдального резонатора 12 є наприклад третя гармоніка $\omega_3 = 6\pi f_0$ резонансної частоти основного тороїдального резонатора 8, частота коливань вихідного сигналу запропонованого наноклістрона значно підвищується (зростає в три рази), а потужність вихідного сигналу суттєво перевищує потужність вихідного сигналу наноклістрона - найближчого аналога.

Наприклад, якщо резонансна частота основного тороїдального резонатора 8 становить 1,0 ТГц, то запропонований наноклістрон (фіг. 1) спроможний забезпечити більшу потужність вихідного сигналу достатню для практичних використань на частоті 3,0 ТГц із перестроюванням частоти, ніж наноклістрон - найближчий аналог. Відомо, що наноклістрон - аналог (IEEE Transaction on Plasma Science. - Vol. 32. - № 3. - P. 1288, 1200-GHz Nanoklystron, June, 2004) із одним тороїдальним резонатором забезпечує на частоті 1,264 ТГц потужність вихідного сигналу 3 мВт в безперервному режимі при робочій напрузі 600 В на резонаторі.

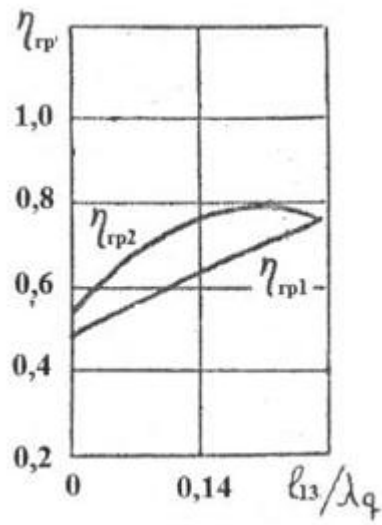
Створений відповідно до формули корисної моделі наноклістрон із основним та другим додатковим тороїдальними резонаторами (фіг. 1) спроможний забезпечити суттєве збільшення потужності вихідного сигналу в терагерцовому інтервалі частот. Наноклістрон (фіг. 1), основний резонатор якого має робочу частоту $\omega_1 = 2\pi f_0$, а другий та перший додаткові тороїдальні резонатори мають, відповідно, робочу частоту $\omega_2 = 4\pi f_0$ та $\omega_n = 2\pi n f_0$, де $n = 3, 5, 7, 9$, забезпечує суттєве підвищення частоти вихідного сигналу в терагерцовому діапазоні та його потужності при порівнянні із наноклістроном - найближчим аналогом на тій же частоті коливань вихідного сигналу.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Наноклістрон, який містить електронно-оптичну систему, що складається із холодного катоду на основі автоемісійного емітера електронів у вигляді матриці вістер, плоского керуючого електрода у вигляді матриці з круглими отворами коаксіальними вістрям, плоского фокусуєчого електрода у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, електрично з'єднаного із катодом, анода - коливальної системи у вигляді основного тороїдального резонатора із робочою резонансною круговою частотою $\omega_0 = 2\pi f_0$, де f_0 - резонансна частота коливань основного резонатора, і зазором взаємодії, створеним першою та другою сітками, кожна із яких виконана у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, та першого додаткового тороїдального резонатора із робочою круговою частотою $\omega_1 = 2\pi n f_0$ де $n=3, 5, 7, 9$ - номер гармоніки коливань із частотою f_0 , зазором взаємодії, створеним двома плоскими сітками, паралельними площинам першої та другої сітки основного тороїдального резонатора, кожна із яких виконана у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, при цьому сітки зазорів взаємодії основного і першого додаткового резонаторів електрично з'єднані із керуючим електродом, суміжні сітки зазорів взаємодії основного і додаткового тороїдальних резонаторів об'єднані, відбивач електронів, хвилевідний пристрій для передавання високочастотної енергії у навантаження, встановлений у першому додатковому резонаторі, який **відрізняється** тим, що між основним та першим додатковим тороїдальними резонаторами встановлено другий додатковий тороїдальний резонатор із робочою круговою частотою $\omega_2 = 2\pi n f_0$, де $n=1, 2$ - номер гармоніки коливань із частотою f_0 , і зазором взаємодії, створеним двома плоскими сітками, паралельними площинам першої та другої сітки основного тороїдального резонатора, кожна із яких виконана у вигляді матриці з круглими отворами, коаксіальними вістрям, при цьому суміжні сітки зазорів взаємодії основного і другого додаткового тороїдальних резонаторів, а також суміжні сітки зазорів взаємодії першого та другого додаткових резонаторів об'єднані між собою і електрично з'єднані із керуючим електродом.



Фиг. 1.



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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