



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 76521

(13) C2

(51) МПК (2006)
H03B 7/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ГЕНЕРАТОР НВЧ

1

2

(21) 20040403118

(22) 27.04.2004

(24) 15.08.2006

(46) 15.08.2006, Бюл. № 8, 2006 р.

(72) Архипов Олександр Васильович, Білоус Олег Ігорович, Кульмичов Ігор Константинович

(73) Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України

(56) Фисун А.И., Белоус О.И. Квазиоптические твердотельные источники излучения: принцип построения, тенденции развития и перспективы приложения // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1999, №4. - С.41-64

Коцержинский Б.А., Тараненко В.П. Твердотельные генераторы с квазиоптическими резонансными системами // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1987. - Т.30, №10. - С.14

Коцержинский Б.А., Паршин Н.А. Экспериментальное исследование ГЛПД с возбуждением открытого резонатора вибратором. // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1985. - Т.28, №10. - С.83-85

SU 1483583 A1, 30.05.1989

SU 1072243 A, 07.02.1984

SU 1370712 A1, 30.01.1988

SU 1403962 A1, 25.07.1986

RU 2124250 C1, 27.12.1998

RU 2040064 C1, 20.07.1995

RU 2118041 C1, 20.08.1998

RU 2044361 C1, 20.09.1995

RU 2067336 C1, 27.09.1996

RU 1022622 C, 15.05.1994

US 3594657 A, 20.07.1971

US 2458650 A, 11.01.1949

EP 1306968 A2, 22.10.2002

US 3748528 A, 24.07.1973

US 579062 A, 24.11.1946

GB 573957 A, 14.12.1945

US 3718869 A, 27.02.1973

(57) 1. Генератор НВЧ, що містить два дзеркала, на одному з яких розташований елемент зв'язку для виводу НВЧ потужності, а в центрі другого розміщено коаксіальний хвильвід, між центральним провідником якого і поршнем установлений напівпровідниковий діод, який відрізняється тим, що коаксіальний хвильвід виконаний надрозмірним.

2. Генератор НВЧ за п. 1, який відрізняється тим, що внутрішній і зовнішній діаметри коаксіального хвильводу відповідно дорівнюють $d = 0,926 \div 0,656 w_0$, $D = 0,6 \div 5,8 w_0$, де w_0 - радіус плями поля коливання TEM_{00q} (q - число напівхвиль вздовж осі резонатора), а довжина центрального провідника такого хвильводу дорівнює $(n+1)\lambda/4$, де λ - робоча довжина хвилі $n = 0, 1, \dots$

3. Генератор НВЧ за п. 2, який відрізняється тим, що між центральним провідником коаксіального хвильводу і поршнем додатково встановлено як мінімум один напівпровідниковий діод.

Винахід відноситься до електроніки НВЧ, а саме, до твердотільних генераторів міліметрового і субміліметрового діапазонів довжин хвиль і може бути використаний в радіотехнічних системах, у яких необхідні високостабільні малогабаритні джерела коливань малої і середньої потужності.

До цього часу відомий і досліджений цілий ряд конструкцій твердотільних генераторів на основі відкритих резонаторів і показана перспективність пристроїв такого типу в міліметровому і субміліметровому діапазонах [Фисун А.И., Белоус

О.И. Квазиоптические твердотельные источники излучения: принцип построения, тенденции развития и перспективы приложения // Зарубежная радиоэлектроника. Успехи современной радиоэлектроники. 1999. № 4, с. 41 – 64]. Генератори з квазіоптичними резонансними системами містять: активні елементи (діоди Ганна, ЛПД і ін.); пристрої узгодження активних елементів з коливальною системою і саму резонансну систему - відкритий резонатор. З технологічних міркувань у генераторах такого типу найчастіше в якості відкритої

(13) C2

(11) 76521

(19) UA

електродинамічної системи використовується напівсферичний відкритий резонатор [Коцержинский Б.А., Мачусский Е.А., Перший Н.А., Тараненко В.П. Твердотельные генераторы с квазиоптическими резонансными системами // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1987. Т. 30, № 10, с. 14].

Підвищення потужності і якості спектральних характеристик вихідного сигналу - це далеко не повний перелік задач, який необхідно вирішувати при розробці твердотільних джерел коливань. У той же час правильний вибір відкритої електродинамічної системи, що має розрізнений спектр коливань і містить пристрій узгодження активного елемента з резонатором і при цьому має високу власну добротність ($10^4 - 10^5$), є запорукою успішного вирішення всіх перерахованих вище задач. Тому в даний час найбільше поширення одержали конструкції генераторів, у яких активний елемент виведений з об'єму резонатора, що саме і є одним зі шляхів підвищення добротності коливальної системи.

Відомий генератор електромагнітних коливань [Авторское свидетельство СССР № 1568206, МКИ⁵ Н 03 В 7/14, 1990], що містить відкритий резонатор, утворений сферичним дзеркалом із хвилеводом для виводу енергії і плоским дзеркалом, на поверхні якого виконані прямокутні канавки, паралельні одна одній. У кожен канавку введений брусок прямокутного перетину, що встановлений із зазором щодо її стінок, а його верхня грань розташована в площині дзеркала. При цьому нижня грань бруска і дно канавки утворюють ряд плоскопаралельних хвилеводів, у кожному з яких встановлений напівпровідниковий діод. За рахунок зміни ширини плоскопаралельних хвилеводів забезпечується узгодження з напівпровідниковими діодами. Додаткове узгодження можна одержати шляхом плавного переміщення напівпровідникових діодів усередині плоскопаралельних хвилеводів за рахунок зсуву основи. За допомогою такого генератора передбачається розширити робочий діапазон частот, підвищити рівень вихідної потужності і збільшити селекцію електромагнітних коливань. Поряд з відзначеними позитивними якостями дане технічне рішення не позбавлене істотних недоліків. Таке складне плоске дзеркало резонатора знижує його добротність, оскільки кожна канавка з брусом є джерелом додаткових омичних і дифракційних втрат у коливальній системі. Це, у свою чергу, приведе до погіршення основних вихідних характеристик генератора (рівень вихідної потужності, стабільність частоти). З іншого боку, в електродинамічній системі такого генератора будуть збуджуватися тільки коливання з великими поперечними індексами $ТЕМ_{m0q}$ ($m \geq 5$, q - число напівхвиль, що вкладаються між дзеркалами відкритого резонатора). Це зв'язано з особливостями розташування плоскопаралельних хвилеводів з напівпровідниковими діодами на плоскому дзеркалі резонатора такого генератора. А оскільки коливання з великими поперечними індексами займають більший об'єм, то для зменшення дифракційних втрат необхідно збільшувати апертуру дзеркал відкритого резонатора в такому генераторі. Тому такий генератор буде мати великі

геометричні розміри без істотного виграшу в стабільності частоти і величині вихідної потужності, у порівнянні з генератором, у резонансній системі якого будуть збуджуватися коливання з малими поперечними індексами ($m=0,1$). І, нарешті, ефективність збудження $ТЕМ_{m0q}$ у резонансній системі генератора за допомогою відкритих кінців плоскопаралельних хвилеводів буде невисока. Таке збудження аналогічне збудженню коливань у відкритому резонаторі за допомогою щільного елемента зв'язку. При цьому крім втрат потужності на випромінювання у вільний простір неузгоджене збудження відкритого резонатора приведе до збудження інших вищих типів коливань, що істотно обмежить діапазон перебування такого генератора через взаємодію коливань.

Найбільш близьким по технічному рішенню аналогом (прототипом) є генератор електромагнітних коливань, утворений двома металевими дзеркалами, на одному з яких розташований елемент зв'язку для виводу НВЧ потужності, а в центрі іншого дзеркала виконаний коаксіальний хвилевід, між центральним провідником якого і поршнем встановлений напівпровідниковий діод [Коцержинский Б.А., Перший Н.А. Экспериментальное исследование ГЛПД с возбуждением открытого резонатора вибратором // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 1985. Т. 28, № 10, с. 83 – 85]. Для узгодження активного елемента з відкритим резонатором використовується петля зв'язку, що являє собою резонансний лінійний випромінювач, розташований над провідною поверхнею плоского дзеркала резонатора в його центрі. Випромінювач є продовженням центрального провідника коаксіального хвилеводу і його довжина кратна $\lambda/2$. Поверхня дзеркала і петля зв'язку використовуються для підведення струму, що дозволяє позбутися від складних і трудомістких робіт з виготовлення фільтрів у ланцюзі живлення. Але це вимагає застосування металоплівкового дзеркала, робоча поверхня якого відділена від основи за допомогою слюдяної пластини. У той же час резонансний лінійний випромінювач ефективний на вищих гармоніках, що особливо цінно при розробці генераторів гармонік і помножувачів частоти на відкритому резонаторі. Поряд з відзначеними достоїнствами, дана конструкція генератора не позбавлена недоліків. Діаграма спрямованості такої петлі зв'язку ширше кутового розміру протилежного дзеркала відкритого резонатора в силу малості її геометричних розмірів (порядку $\lambda/2$) і тому частина потужності, що генерується напівпровідниковим діодом, випромінюється в зовнішній простір. А та частина потужності, що перехоплюється другим дзеркалом резонатора, йде на збудження, як робочого коливання, так і вищих типів коливань, деякі з яких можуть взаємодіяти з робочим. Крім цього в резонансній системі такого генератора існують додаткові втрати, обумовлені розсіюванням потужності на лінійному випромінювачі. Усі ці фактори приводять до зниження вихідної потужності і коефіцієнта корисної дії генератора. При цьому наявність таких втрат потужності викликає зниження добротності резонансної системи, що позначається на стабільності коливань такого генератора.

В основу винаходу поставлена задача: у генераторі НВЧ шляхом більш ефективного збудження робочого колювання в резонансній системі забезпечити збільшення вихідної потужності і підвищення стабільності частоти генератора.

Поставлена задача вирішується таким чином: у генераторі НВЧ, що містить два дзеркала, на одному з яких розташований елемент зв'язку для виводу НВЧ потужності, у центрі другого дзеркала виконаний коаксіальний хвилевід, між центральним провідником якого і поршнем установлений напівпровідниковий діод. При виборі діаметрів внутрішнього і зовнішнього провідників коаксіального хвилеводу відповідно рівними $d = (0,926 - 0,656) w_0$,

$D = (3,6 - 5,8)d$, ефективність збудження робочого колювання в резонансній системі генератора НВЧ буде максимальною. Тут w_0 - радіус плями поля нижнього колювання відкритого резонатора TEM_{00q} на тому дзеркалі резонатора, на якому виконаний цей хвилевід. При цьому довжина центрального провідника такого коаксіального хвилеводу, під яким установлюється напівпровідниковий діод, вибирається рівною $(2n+1)\lambda/4$, де λ - робоча довжина хвилі, $n = 0, 1, \dots$. Шляхом зміни величини зазору, у якому встановлений напівпровідниковий діод, здійснюється узгодження з резонатором, що дозволяє підвищити вихідну потужність генератора. З іншого боку, винос активного елемента з об'єму відкритого резонатора і вибір діаметрів внутрішнього і зовнішнього провідників коаксіального хвилеводу з умови одержання максимальної ефективності збудження колювання TEM_{01q} . (Микаэлян А.Л., Тер-Микаелян М.Л., Турков Ю.Г. Оптические генераторы на твердом теле. - М.: Сов. радио, 1967. - С. 125.) за допомогою хвилеводної хвилі ТЕМ, дозволяють підвищити власну добротність резонансної системи і, отже, стабільність колювань. У такому надрозмірному коаксіальному хвилеводі буде існувати тільки хвиля ТЕМ, оскільки тільки ця хвиля буде збуджувати у відкритому резонаторі колювання TEM_{01q} з високою ефективністю, що, у свою чергу, з такою ж ефективністю буде підтримувати в коаксіальному хвилеводі тільки хвилю ТЕМ. Крім цього, необхідно підкреслити, що оскільки діаметр внутрішнього провідника надрозмірного коаксіального хвилеводу (як і зовнішнього) цілком визначається W_0 , то його діаметр може складати $(2-3)\lambda$, що

дозволяє розмістити замість одного діода в центрі не менше двох - чотирьох активних елементів по колу. Це, у свою чергу, приведе до збільшення вихідної потужності. Настроювання системи в режим генерації здійснюються за допо-

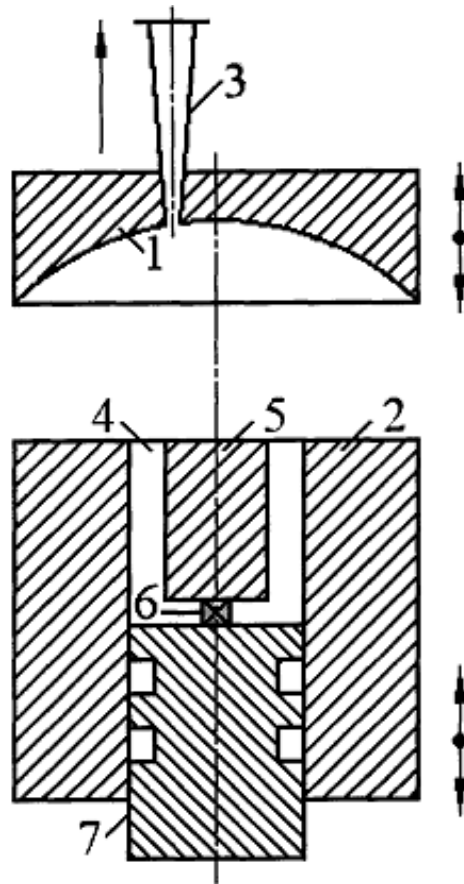
могою дзеркала відкритого резонатора, на якому розташований елемент зв'язку.

Сутність винаходу пояснюють ілюстрації: на фіг. 1 показаний генератор НВЧ; на фіг. 2 показані теоретичні залежності максимальної ефективності збудження η_{\max} колювання TEM_{01q} за допомогою хвилі ТЕМ коаксіального хвилеводу (крива 1) і параметра $k_{\text{opt}} = d/2w_0$ у залежності від величини $\chi = D/d$.

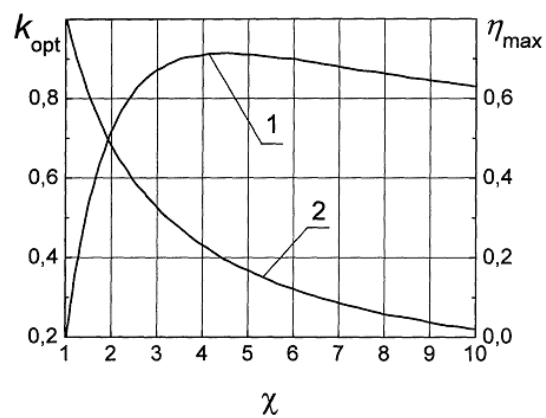
Генератор НВЧ, що заявляється, утворений двома металевими дзеркалами 1 і 2, на одному з яких розташований елемент зв'язку 3, призначений для виводу НВЧ потужності. У центрі дзеркала 2 виконаний надрозмірний коаксіальний хвилевід 4, між центральним провідником 5 якого і поршнем 7 встановлений напівпровідниковий діод 6. Діаметри внутрішнього і зовнішнього провідників коаксіального хвилеводу вибираються з виразів $d = (0,926 - 0,656)w_0$, $D = (3,6 - 5,8)d$ за п.1, коли в резонансній системі генератора за допомогою хвилі ТЕМ збуджується колювання TEM_{01q} з ефективністю не менше 70 %.

Пропонований генератор працює таким чином: при подачі напруги живлення на напівпровідниковий діод 6 через центральний провідник 5 надрозмірної коаксіальної лінії і поршень 7 у хвилеводі 4 збуджується хвиля ТЕМ, що, у свою чергу, збуджує у відкритому резонаторі колювання TEM_{01q} з ефективністю не гірше 70 %. За рахунок зміни величини зазору між центральним провідником коаксіального хвилеводу 5 і поршнем 7 здійснюється узгодження низькоомного напівпровідникового діода 6 з високоомним відкритим резонатором, утвореним дзеркалами 1 і 2. Через елемент зв'язку 3 НВЧ потужність виводиться з генератора.

Був виготовлений експериментальний зразок пропонованого генератора НВЧ. Відкритий резонатор утворений плоским і сферичним дзеркалами діаметром 80 мм, радіус кривизни сферичного дзеркала дорівнює 120 мм. У центрі плоского дзеркала виконані надрозмірний коаксіальний хвилевід, діаметри внутрішнього і зовнішнього провідників якого відповідно дорівнюють 10 мм і 44 мм. Між внутрішнім провідником коаксіального хвилеводу, довжина якого дорівнює 14 мм, і поршнем встановлений напівпровідниковий діод (ЛПД). Була отримана генерація на частоті $f = 36,58$ ГГц. При цьому рівень вихідної потужності складає 120 мВт. Робочий тип колювання резонансної системи генератора TEM_{0117} .



Фіг. 1



Фіг. 2