



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **105104** (13) **C2**
(51) МПК (2014.01)
H01J 25/00

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2013 00329	(72) Винахідник(и): Срьомка Віктор Данилович (UA)
(22) Дата подання заявки: 09.01.2013	(73) Власник(и): Срьомка Віктор Данилович, вул. Маршала Бажанова, 3, кв. 16, м. Харків, 61002 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 10.04.2014	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: SU 341113, 23.06.1972 RU 2017260 C1; 30.07.1994 US 6987360 B1; 17.01.2006 CA 1180809 A1; 08.01.1985 JP 06-005216; 14.01.1994 GB 1362832 A; 07.08.1974
(41) Публікація відомостей про заяву: 10.07.2013, Бюл.№ 13	Клинотрон / под ред. А.Я. Усикова АН Украины. Ин-т радиофизики и электроники. - К.: Наук. думка, 1992. - С. 96-99, 122-123, 158-160
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.04.2014, Бюл.№ 7	Лампы обратной волны миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн / под ред. Н.Д. Девяткова. - М.: Радио и связь. 1985. - С. 19-29, 38-41

(54) КЛИНОТРОН

(57) Реферат:

Клинотрон належить до вакуумних генераторів електромагнітних коливань терагерцового інтервалу частот. У клинотроні періодична сповільнювальна структура виконана у вигляді гребінки з розташованими на першій широкій стінці хвилеводу поперемінної послідовності прямокутних щілинних резонаторів та прямокутних ламелів, де глибина щілинних резонаторів гребінки виконана повільно змінною від h_1 до h_2 , де $h_1 = c/4f_1$, $h_2 = c/4f_2$, $f_1 > f_2$, f_1 та f_2 - кінцеві точки інтервалу зміни робочої частоти, c - швидкість світла у вакуумі, при цьому площа другої широкої стінки хвилеводу, яка протилежна робочій поверхні гребінки, виконана паралельною площинам дна щілинних резонаторів періодичної структури. За допомогою клинотрона досягається зменшення глибини перепадів потужності у смузі електричної перебудови частоти та збільшення потужності вихідного сигналу при скороченні довжини робочої хвилі.

UA 105104 C2

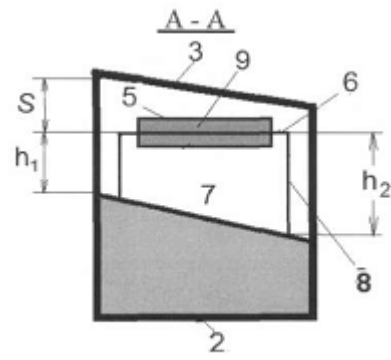


Fig. 2

Винахід належить до електроніки крайнє високих частот (КВЧ), а саме до улаштування ламп зворотної хвилі - клинотронів, і може знайти широке застосування в терагерцовій радіофізиці та електроніці, як джерело електромагнітного випромінювання для передавачів електронних систем радіонавігації, радіолокації, систем зв'язку, для систем діагностики плазми, для терагерцової радіоспектроскопії.

Відомі джерела електромагнітних коливань КВЧ-лампи зворотної хвилі О-типу (ЛЗХО) - карсинотрони з поздовжнім магнітним полем, що містять у собі вакуумнощільний корпус, електроннооптичну систему (ЕОС), для формування стрічкового електронного потоку, періодичну сповільнювальну структуру (ПСС) у вигляді, наприклад, "зустрічних штирів", або "гребінки" у хвилеводі, які створюють із ним простір взаємодії електронів та електромагнітних хвиль, вихідний пристрій у вигляді хвилеводу для виведення високочастотної енергії у навантаження. В ЛЗХО-карсинотронах стрічковий електронний потік рухається паралельно робочій поверхні ПСС (Лампы обратной волны миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн / Е.М. Гершензон, М.Б. Голант, А.А. Негирев, В.С. Савельев. Под ред. Н.Д. Девяткова. - М.: Радио и связь. 1985. - 136 с).

Позитивною рисою ЛЗХО-карсинотронів є їх спроможність генерувати електромагнітні коливання в терагерцовому інтервалі частот (0,1-1,4) ТГц із потужністю вихідного сигналу десятки мВт - одиниці мВт, яка достатня для практичних застосувань. Конструкції ЛЗХО-карсинотронів ТГц діапазону забезпечують електричну перебудову частоти автоколивань в широкому інтервалі при невеликій потужності вихідного сигналу. Електрична перебудова частоти автоколивань в ЛЗХО-карсинотронах досягається, як правило, шляхом змінювання електричної напруги, яку прикладають між катодом та анодом - періодичною сповільнювальною структурою.

Першим суттєвим недоліком ЛЗХО-карсинотронів є порівняно невисокий рівень потужності вихідного сигналу у терагерцовому діапазоні. Невисокий рівень потужності вихідного сигналу обумовлено невисоким коефіцієнтом використання стрічкового електронного потоку. В ЛЗХО-карсинотронах має місце розподілена взаємодія стрічкового електронного потоку, який протікає поблизу і паралельно робочій поверхні гребінки, з електромагнітним полем уповільненої хвилі першої негативної просторової гармоніки, що поширюється в ПСС. У процесі взаємодії здійснюється передача певної частини кінетичної енергії заряджених частинок високочастотному полю. Тому що інтенсивність електромагнітної хвилі першої негативної просторової гармоніки, яка поширюється уздовж періодичної ПСС при віддаленні від її робочої поверхні експоненціально зменшується, то розподілена взаємодія електронів у ЛЗХО-карсинотронах здійснюється з неоднорідним по товщині стрічкового електронного потоку високочастотним полем. Наявність пульсацій і збідненого шару в сформованому стрічковому електронному потоці, а також слабкий імпеданс зв'язку поля хвиль просторового заряду і хвилі першої негативної просторової гармоніки електромагнітного поля ПСС типу "гребінка" або "зустрічні штирі", сприяє істотному зменшенню вихідної потужності ЛЗХО-карсинотронів у терагерцовому інтервалі частот з укороченням робочої довжини хвилі. Це обумовлено тим, що при протіканні стрічкового електронного потоку паралельно робочій поверхні ПСС із інтенсивним електромагнітним полем ефективно взаємодіє тільки шар заряджених частинок стрічки, що суміжний із робочою поверхнею ПСС. Решта шарів заряджених частинок взаємодіє із електромагнітним полем, інтенсивність якого експоненціально спадає при віддаленні від робочої поверхні ПСС. Тобто, в ЛЗХО-карсинотронах стрічковий електронний потік взаємодіє із неоднорідним за інтенсивністю по товщині електронної стрічки високочастотним полем. У зв'язку із цим при скороченні довжини робочої хвилі постають вимоги суттєво зменшити товщину стрічки електронного потоку та збільшити щільність його струму зростають. Ці вимоги ведуть ЛЗХО-карсинотрон до технологічної межі його реалізації.

Другий суттєвий недолік ЛЗХО-карсинотронів полягає в наявності перепаду потужності вихідного сигналу в смузі електричної перебудови частоти.

Відомі лампи зворотної хвилі клинотрони. Клинотроном названі лампи зворотної хвилі О-типу (ЛЗХО) зі стрічковим електронним потоком, який похило під гострим кутом падає на поверхню періодичної сповільнювальної структури - гребінки. Клинотрон, як правило, складається з вакуумнощільного корпусу, електронно-оптичної системи, для формування стрічкового електронного потоку, плоскої періодичної сповільнювальної структури - гребінку у вигляді розташованої на першій широкій стінці прямокутного хвилеводу поперемінної послідовності прямокутних щілинних резонаторів та прямокутних ламелів, робоча поверхня якої встановлена під гострим кутом до осі параксiального стрічкового електронного потоку, вихідного хвилевідного пристрою для виведення високочастотної енергії із простору взаємодії у навантаження, розташований біля електронно-оптичної системи (Клинотрон / Г.Я. Левин, А.И.

Бородкин, А.Я. Кириченко и др...Под ред... А.Я. Усикова. АН Украины. Ин-т радиофизики и электроники. - Киев: Наук. думка, 1992. - 200 с.)

Позитивною рисою клинотронів є значна потужність вихідного сигналу, яка є на порядки більшою, ніж потужність вихідного сигналу ЛЗХО-карсинотронів міліметрового та субміліметрового діапазонів довжин хвиль. Конструкція клинотрона забезпечує електричну перебудову частоти вихідного сигналу генератора шляхом змінювання робочої напруги. Інтервал електричної перебудови частоти клинотрона становить 10...20 %.

Суттєвим недоліком клинотронів є їх дуже нерівномірна амплітудно-частотна характеристика. Для неї характерна суттєва зміна величини потужності в інтервалі електричної перебудови частоти. Якщо традиційні ЛЗХО-карсинотрони забезпечують генерування електромагнітних коливань в широкому інтервалі частот, то клинотрони із вихідним сигналом середньої або великої потужності, генерують в окремих зонах, розділених зонами, де процес генерування відсутній. Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що клинотрони із середньою потужністю вихідного сигналу, функціонують при робочих напругах 2,5-3 кВ, електрична перебудова частоти в кожній із зон генерації становить кілька процентів, а в потужних клинотронах із робочою напругою до 5 кВ, простір взаємодії електронів та електромагнітних хвиль яких є резонансним контуром, електрична перебудова робочої частоти в межах зони генерації зменшується до десятих долей процента, а ширина зон без процесу генерації між суміжними зонами генерації зростає (Е.Е. Лысенко, О.Ф. Пишко, В.Г. Чумак, С.А. Чурилова. Тенденции развития клинотронов миллиметрового диапазона длин волн // Радиофизика и электроника. Том 13, спец. выпуск, 2008. - С. 315-320). Ця обставина значною мірою звужує можливості використання клинотрона, як генератора електромагнітних коливань короткохвильових діапазонів, та зменшує кількість областей застосування цього приладу. Для усунення вказаних недоліків генераторних клинотронів можна використати механічну перебудову резонансної частоти коливального контуру генератора.

Позитивною характеристикою клинотронів є більша потужність вихідного сигналу в міліметровому та субміліметровому діапазоні довжин хвиль. Це обумовлено високим коефіцієнтом використання стрічкового електронного потоку. Високий коефіцієнт використання стрічкового електронного потоку визначає спроможність клинотронів генерувати електромагнітні коливання підвищеної потужності у терагерцовому інтервалі частот. Генерування підвищеної потужності коливань обумовлено тим, що стрічковий електронний потік у клинотроні падає на робочу поверхню періодичної сповільнювальної структури - гребінку під гострим кутом, що забезпечує ефективну взаємодію всіх шарів заряджених частинок електронної стрічки із інтенсивним високочастотним полем біля робочої поверхні гребінки (Клинотрон / Г.Я. Левин, А.И. Бородкин, А.Я. Кириченко и др...Под ред... А.Я. Усикова. АН Украины. Ин-т радиофизики и электроники. - Киев: Наук. думка, 1992. - 200 с.).

Найбільш близьким до даного винаходу за технічною сутністю та сукупністю ознак аналогом (прототипом) є лампа зворотної хвилі О-типу - клинотрон з поздовжнім магнітним полем, яка містить вакуумнощільний корпус, електронно-оптичну систему, для формування стрічкового електронного потоку, плоску періодичну сповільнювальну структуру - гребінку у вигляді розташованої на широкій стінці прямокутного хвилеводу поперемінної послідовності прямокутних щілинних резонаторів та прямокутних ламелів, яка створює із ним простір взаємодії електронів та електромагнітних хвиль, при цьому робоча поверхня гребінки розташована під гострим кутом до осі електронно-оптичної системи, вихідний хвилевідний пристрій для виведення високочастотної енергії у навантаження біля електронно-оптичної системи (Авт. св. СССР № 341113, МКИ H01J 25/00. Лампа обратной волны / Г.Я Левин, 1956 г.).

Суттєвим недоліком ЛЗХО-клинотронів є значний перепад потужності вихідного сигналу у смузі електричної перебудови робочої частоти.

В основу винаходу поставлено задачу - удосконалити клинотрон шляхом зміни геометричних розмірів елементів періодичної сповільнювальної структури та простору взаємодії стрічкового електронного потоку і електромагнітного поля, що забезпечить зменшення глибини перепадів потужності у смузі електричної перебудови частоти та збільшення потужності вихідного сигналу при скороченні довжини робочої хвилі.

Поставлена задача вирішується тим, що в клинотроні, який містить вакуумнощільний корпус, електронно-оптичну систему, для формування стрічкового електронного потоку, плоску періодичну сповільнювальну структуру - гребінку у вигляді розташованої на першій широкій стінці прямокутного хвилеводу поперемінної послідовності прямокутних щілинних резонаторів та прямокутних ламелів, робоча поверхня якої встановлена під гострим кутом до осі параксильного стрічкового електронного потоку, вихідний хвилевідний пристрій для виведення

високочастотної енергії із простору взаємодії у навантаження, розташований біля електронно-оптичної системи, згідно із винаходом, глибина щілинних резонаторів гребінки виконана повільно змінною від h_1 до h_2 , де $h_1 = c/4f_1$, $h_2 = c/4f_2$, $f_1 > f_2$, f_1 та f_2 - кінцеві точки інтервалу зміни робочої частоти, c - швидкість світла у вакуумі, при цьому площа другої широкої стінки хвилеводу, яка протилежна робочій поверхні гребінки, виконана паралельною площинам дна щілинних резонаторів періодичної структури.

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

Удосконалення періодичної сповільнювальної структури гребінки шляхом виконання глибини її щілинних резонаторів повільно змінною від h_1 до h_2 , де $h_1 = c/4f_1$, $h_2 = c/4f_2$, $f_1 > f_2$, f_1 та f_2 - кінцеві точки інтервалу зміни робочої частоти, c - швидкість світла у вакуумі, а також виконання другої широкої стінки хвилеводу, яка протилежна робочій поверхні гребінки, паралельною площинам дна щілинних резонаторів періодичної структури обумовлює зміну дисперсійної характеристики періодичної сповільнювальної структури - гребінки у відповідності до дисперсійного рівняння та фазового зсуву φ на період гребінки

$$\frac{l}{h} \left(\frac{\sin \frac{\omega l}{2d}}{\frac{\omega l}{2d}} \right) \frac{\operatorname{ctg} \frac{\varphi A}{d}}{\varphi} \approx \frac{\operatorname{ctg}(kh)}{kh}, \quad (1)$$

де $k = 2\pi/\lambda$, φ - фазовий зсув хвилі на період; d - період гребінки; l - ширина цілинного резонатора; s - відстань між робочою поверхнею гребінки та другою широкою стінкою

прямокутного хвилеводу; $h = \frac{\lambda_0}{2\pi} \arctg\left(\frac{v\lambda_0}{l}\right)$ - глибина прямокутного щілинного резонатора

гребінки, де $v = \frac{d}{\lambda} \operatorname{tg}\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right)$; λ_0 - довжина хвилі, на якій потужність вихідного сигналу

клинотрона є максимальною. При електричній перебудові частоти вихідного сигналу клинотрона шляхом зміни робочої напруги відбувається генерування електромагнітних коливань в смузі $\Delta f = f_1 - f_2$ без значного перепаду амплітуди вихідного сигналу. На фіг. 3 представлено порівняння амплітудно-частотної характеристики (А) конструкції клинотрона-прототипу та амплітудно-частотної характеристики (Б) конструкції клинотрона, описаного в заявці на винахід, при електричній перебудові частоти їх вихідного сигналу в інтервалі частот 0,142-0,162 ТГц.

Суть винаходу пояснюється на кресленнях.

На фіг. 1 схематично зображено поздовжній переріз запропонованого клинотрона; на фіг. 2 - переріз по А-А на фіг. 1; на фіг. 3 - зображені амплітудно-частотні характеристики, які забезпечують конструкції клинотрона-прототипу (А) та клинотрона (Б), описаного в заявці про нове технічне рішення.

Клинотрон із поздовжнім магнітним полем для генерування електромагнітного випромінювання в терагерцовому інтервалі частот містить у собі вакуумнощільний корпус, у вигляді хвилеводу 1 із першою 2 та другою 3 широкими стінками, електронно-оптичну систему (ЕОС) 4, що формує стрічковий електронний потік 5, плоску періодичну сповільнювальну структуру - гребінку 6, у вигляді розташованої на першій широкій стінці 2 хвилеводу поперемінної послідовності щілинних резонаторів 7 та прямокутних ламелів 8, при цьому робоча поверхня гребінки встановлена під гострим кутом α до осі параксіального стрічкового електронного потоку 5. Гребінка 6 створює разом із хвилеводом 1 простір взаємодії 9 стрічкового електронного потоку 5 та електромагнітних хвиль. Клинотрон має вихідний хвилевідний пристрій 10 із вакуумнощільним вікном 11 для виведення високочастотної енергії у навантаження, магнітну фокусуючу систему 12, що формує поздовжнє магнітне поле.

Клинотрон працює таким чином. При подачі на підігрівач термоелектронного катода електронно-оптичної системи 4 відповідної напруги, а на періодичну сповільнювальну структуру - гребінку 6 - високовольтної прискорювальної робочої напруги, ЕОС 4 формує у поздовжньому магнітному полі магнітної системи 12 стрічковий електронний потік 5, який падає на робочу поверхню гребінки 6 під гострим кутом α . Коли величина струму стрічкового електронного потоку 5 перевищує величину стартового струму, в просторі 9 взаємодії електронів та електромагнітного поля виникає електромагнітне випромінювання. Амплітуда першої від'ємної просторової гармоніки сповільненої електромагнітної хвилі розповсюджується і зростає в напрямку від кінця гребінки до ЕОС. При умові досягнення приблизного синхронізму швидкості

заряджених частинок v та фазової швидкості v_{ϕ} хвилі (-1)-ї просторової гармоніки $v \approx v_{\phi}$ відбувається ефективний енергообмін між електронами стрічкового електронного потоку 5 та електромагнітним полем. Певна частка потужності електромагнітної хвилі виводиться через вихідний хвилевідний пристрій 10 та герметичне вікно 11 у навантаження. У зв'язку із тим, що глибина щілинних резонаторів гребінки виконана повільно змінною (фіг. 2) від h_1 до h_2 , де $h_1 = c/4f_1$, $h_2 = c/4f_2$, $f_1 > f_2$, f_1 та f_2 - кінцеві точки інтервалу зміни робочої частоти, c - швидкість світла у вакуумі, при електричній перебудові частоти вихідного сигналу за рахунок зміни величини прискорювальної робочої напруги інтенсивність електромагнітних коливань на частотах в інтервалі $\Delta f = f_1 - f_2$ перебудови робочої частоти змінюється не суттєво. Це обумовлено тим, що друга широка стінка 3 хвилеводу виконана паралельною площинам дна щілинних резонаторів гребінки, завдяки чому формується адекватна дисперсійна характеристика гребінки та адекватний фазовий зсув робочої хвилі на період гребінки, при яких формується амплітудно-частотна характеристика клинотрона без суттєвих перепадів (фіг. 3).

Створений у відповідності до формули винаходу клинотрон забезпечує зменшення глибини перепадів амплітудної характеристики у смузі електричної перебудови частоти і, таким чином, збільшення потужності вихідного сигналу при скороченні довжини робочої хвилі.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Клинотрон, який складається з вакуумнощільного корпусу, електронно-оптичної системи для формування стрічкового електронного потоку, плоскої періодичної сповільнювальної структури - гребінки у вигляді розташованої на першій широкій стінці прямокутного хвилеводу поперемінної послідовності прямокутних щілинних резонаторів та прямокутних ламелів, робоча поверхня якої встановлена під гострим кутом до осі параксіального стрічкового електронного потоку, вихідного хвилевідного пристрою для виведення височастотної енергії із простору взаємодії у навантаження, розташованого біля електронно-оптичної системи, який **відрізняється** тим, що глибина щілинних резонаторів гребінки виконана повільно змінною від h_1 до h_2 , де $h_1 = c/4f_1$, $h_2 = c/4f_2$, $f_1 > f_2$, f_1 та f_2 - кінцеві точки інтервалу зміни робочої частоти, c - швидкість світла у вакуумі, при цьому площа другої широкої стінки хвилеводу, яка протилежна робочій поверхні гребінки, виконана паралельною площині дна щілинних резонаторів періодичної структури.

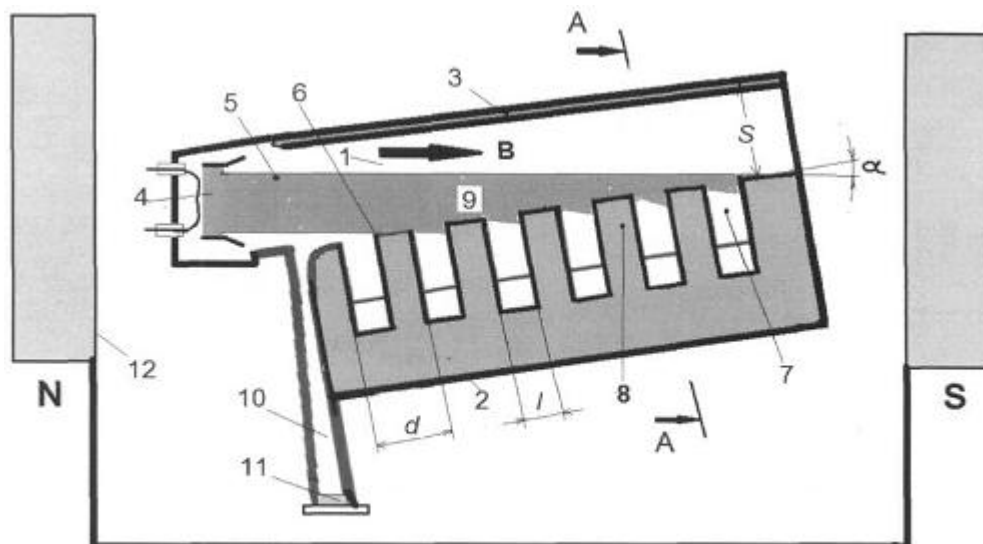


Fig. 1

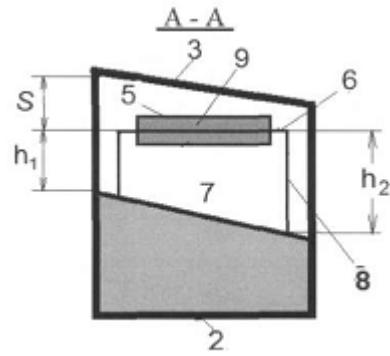


Fig. 2

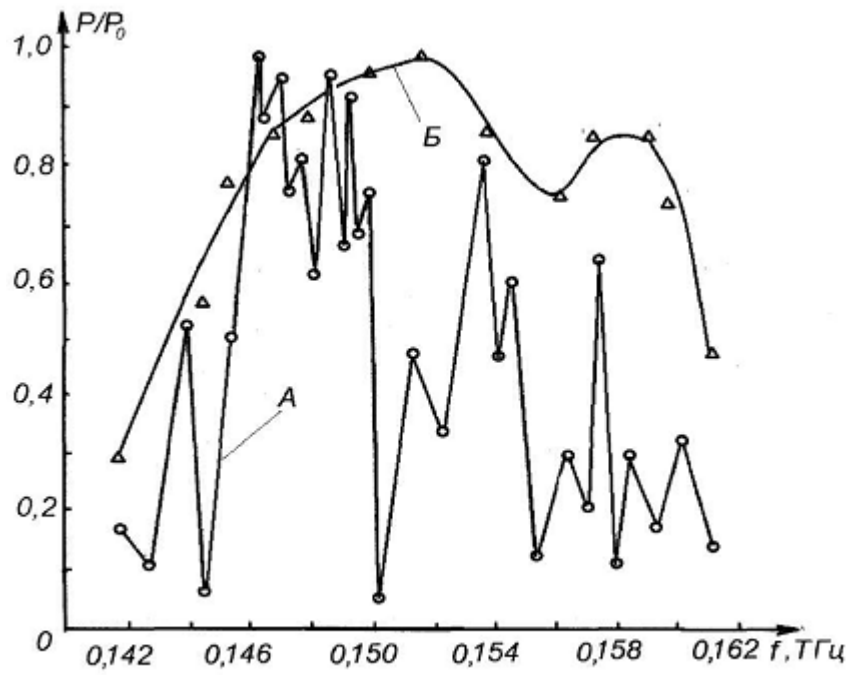


Fig. 3

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

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