



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **101437**

(13) **C2**

(51) МПК

G01R 27/06 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2011 11331**

(22) Дата подання заявки: **26.09.2011**

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: **25.03.2013**

(41) Публікація відомостей
про заявку: **10.04.2012, Бюл.№ 7**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **25.03.2013, Бюл.№ 6**

(72) Винахідник(и):

**Афонін Пилип Ігорович (UA),
Бугайов Павло Олександрович (UA),
Боков Геннадій Вікторович (UA),
Лащенко Ірина Вікторівна (UA)**

(73) Власник(и):

**СЕВАСТОПОЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Університетська, 33, м. Севастополь,
АР Крим, 99053, Україна (UA)**

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

SU 194893, 12.04.1967.
UA 73380 C2, 15.07.2005.
UA 67053 C2, 11.06.2007.
SU 1688193 A1, 30.10.1991.
SU 1201782 A, 30.12.1985.
RU2207580 C1, 27.06.2003.
WO 84/00818 A1, 01.03.1984.
US 4489271, 18.12.1984.

(54) ВИМІРЮВАЧ КОМПЛЕКСНОГО КОЕФІЦІЄНТА ВІДБИТТЯ

(57) Реферат:

Винахід належить до радіовимірювальної техніки і може бути використаний у вимірювальних системах і приладах для вимірювання параметрів хвильовідних трактів і антен радіотехнічних систем. Вимірювач комплексного коефіцієнта відбиття складається з генератора НВЧ з дискретною електронною перебудовою частоти, двонаправленого відгалужувача, двоканального хвильовідно-щілинного перетворювача, досліджуваного пристрою, двох узгоджених навантажень, двох детекторних головок і двох відрізків хвильоводу прямокутного перерізу. З метою спрощення конструкції, підвищення надійності і зниження вартості, перетворювач має лише дві детекторні головки, що збуджуються як опорним, так і вимірюваним каналами, з фазовим зсувом відгалужених хвиль, рівним 90°.

UA 101437 C2

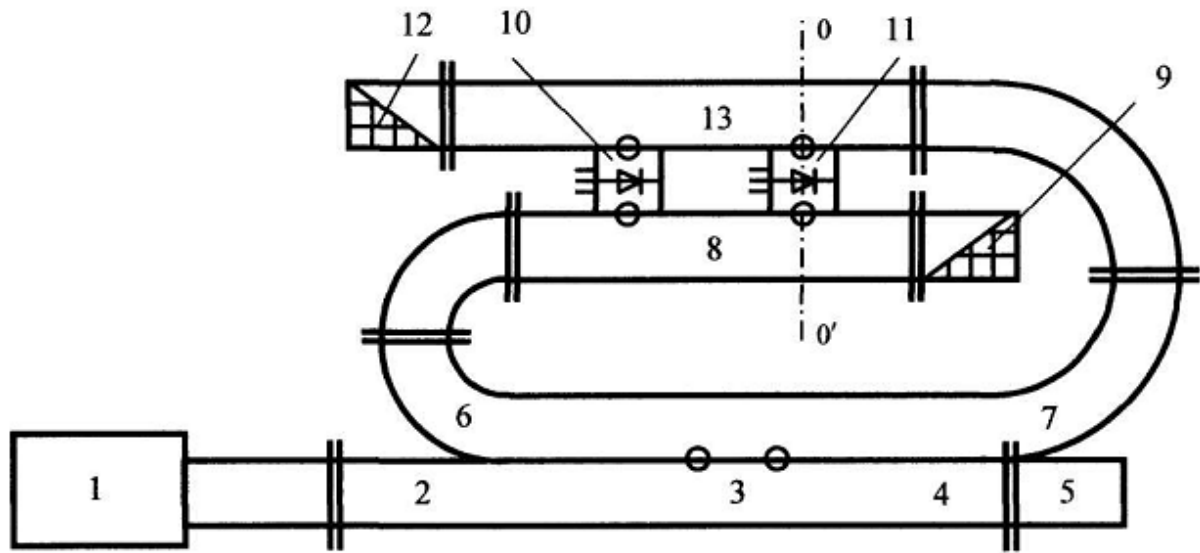


Fig. 1

Винахід належить до радіовиміральної техніки і може бути використаний у вимірвальних системах і приладах для вимірювання параметрів хвильовідних трактів і антен радіотехнічних систем.

Відомі вимірювачі параметрів хвильовідних трактів (коефіцієнта відбиття, повних опорів) на основі чотиридетекторних датчиків (Бондаренко І. К., Дейнега М. А., Маграчев З. В. Автоматизация измерений параметров СВЧ трактов. - М.: Сов. радио, 1969. - С. 63, рис. 2.19; С. 72, рис. 2.26). Недоліком датчиків є велика частотна залежність фазового зсуву між елементами зв'язку двох детекторних головок з чотирьох. Для двох елементів зв'язку можна отримати практично незалежний фазовий зсув. Тому між елементами зв'язку і однією парою детекторних головок, і іншою - фазовий зсув у діапазоні частот мало змінюється, а фазовий зсув між суміжними елементами зв'язку цих пар сильно залежить від частоти. І ця обставина приводить до великої похибки вимірювання в повній смузі частот хвильоводу.

Універсальний амплітудно-фазовий перетворювач НВЧ сигналів, призначений для вимірювання комплексних коефіцієнтів відбиття і передачі (Баканов С. А., Недвецкий В. Б., Саламатин В. В. Универсальный амплитудно-фазовый преобразователь СВЧ сигналов. Вопросы радиоэлектроники, серия: Радиоизмерительная техника (РТ), вып. 7, 1971. - С. 57) позбавлений вищезгаданого недоліку. З чотирьох детекторних головок тільки дві реагують одночасно і на падаючу, і на відбиту хвилю. Фазовий зсув між ними повинен бути постійним у діапазоні частот, що і реалізовано в НВЧ перетворювачі. Дві інші головки фазонезалежні, оскільки одна з них реагує тільки на падаючу хвилю, а інша - на відбиту. Недоліком даного вимірювача коефіцієнта відбиття є наявність двох каналів (опорного і вимірювального), і подільника потужності, які ускладнюють конструкцію хвильовідного перетворювача і приводять до додаткових похибок.

Найбільш близьким технічним рішенням (прототипом) є «Чотиризондовий автоматичний вимірювач параметрів надвисокочастотних трактів» (Авторське свідоцтво СРСР № 194893 Чотиризондовий автоматичний вимірювач параметрів надвисокочастотних трактів // В. В. Саламатін), яке містить свіп-генератор, розв'язуючий атенюатор, чотиридетекторний шлейфовий датчик, досліджуване навантаження, детекторну головку, двонаправлений відгалужувач, два прямокутні позамежні хвильоводи і два узгоджені навантаження, що повністю поглинають падаючу на них потужність. Завдяки сумарній дії падаючої і відбитої хвиль на чотиридетекторний датчик, останній видає на індикаторний блок інформацію про модуль і фазу коефіцієнта відбиття. Оскільки довжини каналів падаючої і відбитої хвиль до площини симетрії чотиридетекторного датчика рівні між собою, значення фази, відлічуване по індикаторному пристрою, відповідатиме значенню фази коефіцієнта відбиття досліджуваного навантаження в діапазоні частот.

Задачею винаходу є спрощення конструкції, підвищення надійності і зниження вартості вимірювача.

Поставлена задача вирішується тим, що у вимірювачі комплексного коефіцієнта відбиття, що складається з генератора НВЧ, двонаправленого відгалужувача, узгоджених навантажень, двоканального хвильовідно-щілинного перетворювача, що містить вимірювальний і опорний канали та детекторні головки, згідно з винаходом, перетворювач має дві детекторні головки, встановлені між каналами, при цьому одна з них збуджується поперечними щілинами зв'язку, а інша - подовжними, що прорізані в опорному і вимірювальному каналах, при цьому центри щілин знаходяться в одній поперечній площині, забезпечуючи фазовий зсув 90° між відгалуженими хвилями в діапазоні частот хвильоводу.

Перевагою пропонованого вимірювача є менша кількість детекторних головок датчика - всього дві, що приводить до істотної техніко-економічної переваги.

На фіг. 1 наведена функціональна схема вимірювача комплексного коефіцієнта відбиття (ККВ).

На фіг. 2 наведена схема розташування щілин зв'язку дводетекторного перетворювача.

Вимірювач комплексного коефіцієнта відбиття (фіг. 1) складається з генератора НВЧ 1 з дискретною електронною перебудовою частоти, двонаправленого відгалужувача 3, досліджуваного пристрою 5, двох узгоджених навантажень 9 і 12, двох детекторних головок 10, 11 і двох відрізків хвильоводу прямокутного перерізу 8, 13.

Двоканальний дводетекторний хвильовідно-щілинний перетворювач (ДДХЩП) виконаний на основі двох відрізків хвильоводу прямокутного перерізу з прорізними в їх широкі стінках по парі щілин, що зв'язують хвильоводи детекторних головок (датчиків потужності) з хвильоводами вимірювального тракту. Одна з щілин - поперечна, інша - подовжня. Центри щілин зв'язку розташовані в одній поперечній площині (фіг. 2). Фазовий зсув між відгалуженими хвилями (електрична відстань) дорівнює 90° на будь-якій частоті діапазону хвильоводу. Датчики

потужності побудовані на відрізках прямокутних позамежних хвильоводів, встановлених торцем на відрізках хвильоводів вимірювального тракту. Діоди НВЧ розташовані симетрично відносно кінців відрізків, розташованих між базовими хвильоводами, збуджуються електричною складовою поля і знаходяться в її максимумі (в центрі широких стінок позамежних хвильоводів).

5 Сигнал від генератора НВЧ (фіг. 1) з дискретною електронною перестройкою частоти надходить до вхідного плеча 2 первинного каналу двонаправленого відгалужувача (ДНВ), до вихідного плеча 4 якого підключено досліджуваній пристрій. У пряме плече 7 вторинного каналу (ВК) ДНВ відгалужується частина потужності сигналу генератора, який проходить через верхній (опорний) канал перетворювача 13 і поглинається в узгодженому навантаженні 12.

10 Сигнал, відбитий від досліджуваного навантаження 5 з ККВ Γ і відгалужений у плече 6 верхнього каналу відгалужувача, надходить до нижнього (вимірювального) каналу перетворювача 8, а потім в узгоджене навантаження 9. Щоб вимірювати аргумент комплексного коефіцієнта відбиття Γ в площині фланця досліджуваного пристрою, довжини шляхів опорної і відбитої хвиль до площини симетрії 0-0' ДДХЩП мають бути рівними. Це забезпечується відповідними розмірами плечей 6 і 7 вторинного каналу ДНВ. Таким чином, значення аргументу ККВ Γ в площині симетрії 0-0' буде таким же, як в площині фланця.

При аналізі вимірювача передбачаємо, що відбиття від узгоджених навантажень відсутні і спрямованість відгалужувача безконечна.

20 В результаті інтерференції хвиль, що відгалужуються, як з опорного, так і вимірювального каналів, у детекторні головки 10, 11 (датчики потужності), напруги U_1 , і U_2 , що знімаються з діодів НВЧ, визначається співвідношеннями:

$$U_1 = K_{10}^2 E_{\Gamma}^2 + K_{11}^2 E_{\Gamma}^2 \Gamma^2 + 2K_{10}K_{11}E_{\Gamma}^2 \Gamma \cos \varphi; (1)$$

$$U_2 = K_{20}^2 E_{\Gamma}^2 + K_{21}^2 E_{\Gamma}^2 \Gamma^2 - 2K_{20}K_{21}E_{\Gamma}^2 \Gamma \cos \varphi, (2)$$

25 де: K_{10} , K_{11} , K_{20} , K_{21} - модулі комплексних коефіцієнтів передачі (ККП) детекторних головок D_1 - 11 і D_2 - 10 з боку опорного і вимірювального каналів, відповідно;

E_{Γ} - модуль комплексної амплітуди хвилі генератора;

Γ - модуль комплексного коефіцієнта відбиття досліджуваного пристрою;

φ - фаза комплексного коефіцієнта відбиття.

30 Внаслідок квадратичного детектування, напруга U_1 , що знімається з діода головки D_1 , дорівнює сумі квадратів модулів комплексних амплітуд хвиль, відгалужених з опорного - $K_{10}^2 E_{\Gamma}^2$ і вимірювального - $K_{11}^2 E_{\Gamma}^2 \Gamma^2$ каналів, плюс подвоєний добуток від перемноження модулів на косинус зсуву фаз. Аналогічно визначається і напруга U_2 ; лише знак мінус перед подвоєним добутком від перемноження модулів обумовлений тим, що зсув фаз між відгалуженими хвилями змінився на 180 градусів.

35 Виміряні значення напруг з детекторних головок залежать від параметрів досліджуваного пристрою - Γ , φ і власних еквівалентних констант мікрохвильової частини вимірювача. Для вирішення системи рівнянь (1), (2) відносно Γ і φ спочатку необхідно визначити ці константи. Визначення власних констант здійснене в результаті проведенні двох калібрувальних операцій.

Перша калібрувальна операція.

40 До плеча 4 двонаправленого відгалужувача під'єднуємо узгоджене навантаження; при цьому $\Gamma = \Gamma_{\text{сн}} = 0$. Підставляючи в (1) і (2) значення $\Gamma = 0$, отримуємо наступні значення калібрувальних сигналів U_{11} і U_{21} :

$$U_{11} = K_{10}^2 E_{\Gamma}^2; (3)$$

$$U_{21} = K_{20}^2 E_{\Gamma}^2. (4)$$

45 Друга калібрувальна операція.

До плеча 4 ДНВ під'єднуємо короткозамикач, а до плеча 7 двонаправленого відгалужувача - узгоджене навантаження; при цьому, $\Gamma = \Gamma_{\text{к}} = \exp(j\pi)$, тобто $\Gamma = 1$, $\varphi = \pi$. Підставивши ці значення в (1), (2), отримуємо калібрувальні сигнали U_{12} , U_{22} при другому калібруванні:

$$U_{12} = K_{10}^2 E_{\Gamma}^2; (5)$$

$$50 \quad U_{22} = K_{20}^2 E_{\Gamma}^2. (6)$$

Після калібрування схема приладу відновлюється.

Як легко помітити, константа - $2K_{10}K_{11}E_{\Gamma}^2$ у третьому члені рівняння (1) дорівнює

$$2K_{10}K_{11}E_{\Gamma}^2 = 2\sqrt{K_{10}^2 E_{\Gamma}^2 K_{11}^2 E_{\Gamma}^2} = 2\sqrt{U_{11}U_{12}}. (7)$$

Константа - $2K_{20}K_{2и}E_{\Gamma}^2$ у третьому члені рівняння (2) дорівнює

$$2K_{20}K_{2и}E_{\Gamma}^2 = 2\sqrt{K_{20}^2E_{\Gamma}^2K_{2и}^2E_{\Gamma}^2} = 2\sqrt{U_{21}U_{22}} \cdot (8)$$

Таким чином, в результаті проведення двох калібрувальних операцій визначені присутні в рівняннях (1), (2) власні константи мікрохвильової частини вимірювача, і ці рівняння можуть
5 бути представлені з урахуванням (3)...(8) у наступному вигляді:

$$U_1 = U_{11} + U_{12}\Gamma^2 + 2\sqrt{U_{11}U_{12}}\Gamma \cos \varphi; \quad (9)$$

$$U_2 = U_{21} + U_{22}\Gamma^2 + 2\sqrt{U_{21}U_{22}}\Gamma \cos \varphi. \quad (10)$$

З отриманих рівнянь знаходимо невідомі величини Γ^2 і $\Gamma \cos \varphi$. Для визначення Γ^2 величину $\Gamma \cos \varphi$ знаходимо з рівняння (9) і підставляємо її в рівняння (10):

$$10 \quad \Gamma \cos \varphi = \frac{U_1 - U_{11} - U_{12}\Gamma^2}{2\sqrt{U_{11}U_{12}}}; \quad (11)$$

$$-\Gamma \cos \varphi = \frac{U_2 - U_{21} - U_{22}\Gamma^2}{2\sqrt{U_{21}U_{22}}}. \quad (12)$$

Після перетворення рівнянь (11), (12) отримаємо вираз для коефіцієнта відбиття по потужності досліджуваного пристрою Γ^2 :

$$\frac{U_1 - U_{11} - U_{12}\Gamma^2}{2\sqrt{U_{11}U_{12}}} = \frac{U_2 - U_{21} - U_{22}\Gamma^2}{2\sqrt{U_{21}U_{22}}};$$

15 звідки

$$\Gamma^2 = \frac{\frac{U_1 - U_{11}}{2\sqrt{U_{11}U_{12}}} + \frac{U_2 - U_{21}}{2\sqrt{U_{21}U_{22}}}}{\frac{U_{12}}{2\sqrt{U_{11}U_{12}}} + \frac{U_{22}}{2\sqrt{U_{21}U_{22}}}}. \quad (13)$$

Підставивши (11) в (9), знайдемо φ :

$$\varphi = \frac{(U_1 - U_{11} - U_{12}\Gamma^2)}{2\sqrt{U_{11}U_{12}}} \quad (14)$$

Таким чином, для визначення модуля і аргументу комплексного коефіцієнта відбиття
20 необхідно виміряти сигнали з датчиків потужності при підключенні до двоканального дводетекторного хвилевідно-щілинного перетворювача досліджуваного пристрою і при проведенні калібрувань.

Проте, необхідно визначити не лише чисельне значення аргументу косинуса, але і його знак. Відомо декілька способів визначення знака аргументу, але всі вони вимагають введення в
25 схему додаткового структурного елемента. Нижче розглянемо спосіб визначення знака без внесення змін до конструкції мікрохвильового перетворювача. Дане завдання вирішується шляхом незначної зміни частоти вимірювального генератора відносно початкової f і порівняння обчислених модулів аргументів $\varphi_x(f)$ і $\varphi_x(f + \Delta f)$.

Помістивши у вимірювальний канал між вихідним плечем первинного каналу двоканального
30 відгалужувача і досліджуванним пристроєм відрізок регулярного хвилеводу довжиною L_1 , отримаємо додатковий фазовий зсув ψ_1 між опорною і прохідною хвилями:

$$\psi_1 = \frac{2\pi L_1}{\lambda_B}$$

де λ_B - довжина хвилі в хвилеводі, яка дорівнює

$$\lambda_B = \frac{c}{\sqrt{f^2 - f_{кр}^2}},$$

35 де $f_{кр}$ - критична частота хвилеводу.

Якщо допустити, що при малому збільшенні частоти Δf параметри Γ і φ залишаються приблизно незмінними, то за рахунок додаткової довжини L_1 можна отримати помітне збільшення φ на величину $\Delta\varphi$. Поява набігу $\Delta\varphi$ приведе до зміни значення аргументу φ :

$$\varphi = (f + \Delta f) = \varphi(f) - \Delta\varphi.$$

40 Знак аргументу визначається однозначно:

$$\text{якщо } \varphi(f + \Delta f) > \varphi(f), \text{ то } \varphi(f) < 0;$$

якщо $\varphi(f + \Delta f) < |\varphi(f)|$, то $|\varphi(f)| > 0$;

Таким чином, здійснюється визначення знака аргументу комплексного коефіцієнта відбиття без зміни конструкції перетворювача.

На практиці значення $\Delta\varphi$, отже, $\varphi(f)$ і $\varphi(f + \Delta f)$ визначаються на двох сусідніх дискретних частотах.

Напруги з датчиків потужності двоканального дводетекторного хвилевідно-щілинного перетворювача надходять на пристрій сполучення комп'ютера з ДДХЩП і генератором. За розробленою програмою визначення модуля і аргументу комплексного коефіцієнта відбиття досліджуваного пристрою здійснюється на кожній дискретній частоті робочого діапазону. Результати відображаються в графічній і табличній формі на дисплеї ЕОМ.

Таким чином, запропонований досить точний вимірювач комплексного коефіцієнта відбиття, що калібрується, побудований на основі широкосмугового двоканального дводетекторного хвилевідно-щілинного перетворювача. Виключення впливу на результат вимірювання заважаючої дії власних констант, НВЧ частини приладу здійснено через проведення нескладних калібрувальних операцій.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Вимірювач комплексного коефіцієнта відбиття, що складається з генератора НВЧ, двонаправленого відгалужувача, узгоджених навантажень, двоканального хвилевідно-щілинного перетворювача, що містить вимірювальний і опорний канали та детекторні головки, який **відрізняється** тим, що перетворювач має дві детекторні головки, встановлені між каналами, при цьому одна з них збуджується поперечними щілинами зв'язку, а інша - подовжніми, що прорізані в опорному і вимірювальному каналах, при цьому центри щілин знаходяться в одній поперечній площині, забезпечуючи фазовий зсув 90° між відгалуженими хвилями в діапазоні частот хвилеводу.

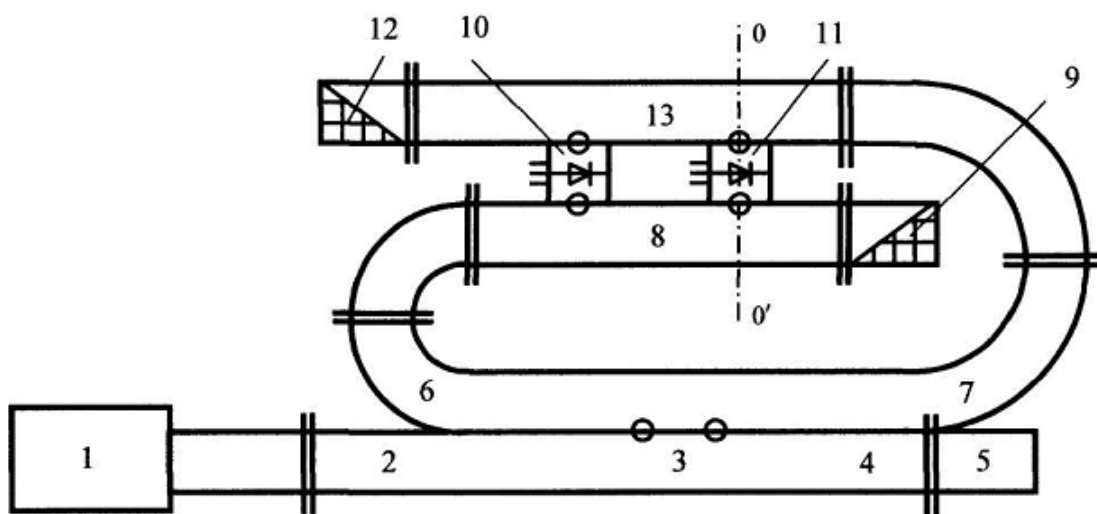
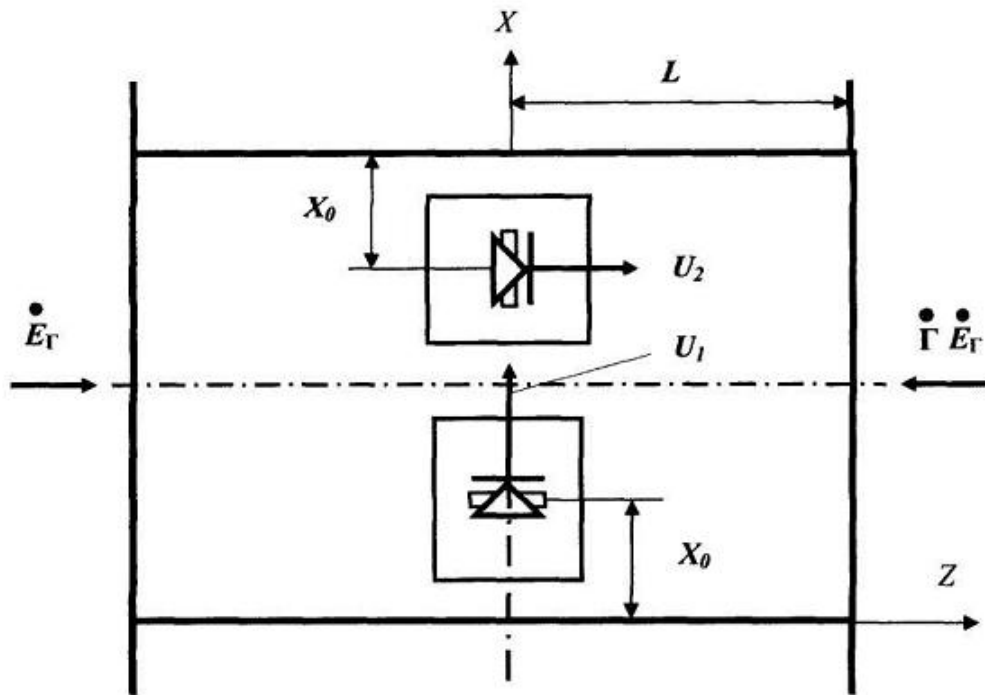


Fig. 1



Фиг. 2

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