



УКРАЇНА

(19) UA (11) 36427 (13) A

(51) 7 H01Q9/04, H01Q9/36

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

### ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

#### (54) БАГАТОЧАСТОТНА НИЗЬКОПРОФІЛЬНА АНТЕНА

(21) 99126863

(22) 16.12.1999

(24) 16.04.2001

(33) UA

(46) 16.04.2001, Бюл. № 3, 2001 р.

(72) Бовкун Валерій Павлович, Гридін Анатолій  
Олексійович, Жук Іван Миколайович

(73) Радіоастрономічний інститут Національної  
Академії наук України

(57) 1. Багаточастотна низькопрофільна антена, що має несиметричний вібратор висотою меншою 0,1 довжини хвилі, верхній кінець якої з'єднаний з плоским провідниковим диском, яка відрізняється тим, що верхній кінець несиметричного вібратора і плоский провідниковий диск з'єднані через вхідні клеми реактивного ступінчатого кола, між вихідними клемми якого ввімкнуто реактивний опір, здійсненого таким чином, що його вхідний опір описується функцією частоти, яка має  $N(N=1,2,3...)$  полюсів (нулів), а нижній кінець несиметричного вібратора з'єднаний з потенціальною шиною входу антени та з одним кінцем індуктивності, інший кінець якої підключений до противаги.

2. Багаточастотна низькопрофільна антена по п. 1, яка відрізняється тим, що на кожній центральній частоті піддіапазонів вхідний опір реактивного ступінчатого кола, між вихідними клемми якого

ввімкнуто реактивний опір, визначається із наступного співвідношення:

$$X_d = R_a X_b / W - X_C - X_D + X_C^2 / (X_b + X_C + X_L),$$

а індуктивність, що з'єднує нижній кінець вібратора з противагою, із виразу

$$L = [1 + f_{ib} l / (f_{ib} + f_{i\pi})] (R_a W)^{1/2} / (2\pi \cdot f_i),$$

де  $R_a$  – опір випромінювання,

$X_L, X_C$  – індуктивний та електроємний опори вібратора, відповідно,

$W$  – хвильовий опір лінії живлення,

$X_D$  – електроємний опір диску,

$X_b$  – реактивний опір індуктивності  $L$ ,

$f_i$  – центральна частота будь-якого піддіапазону, на якій визначається  $R_a$ ,

$f_{ib}, f_{i\pi}$  – верхня та нижня центральні частоти діапазону,

$l$  – висота вібратора в довжинах хвиль на частоті  $f_{ib}$ .

Винахід належить до антенних пристроїв і може бути використаний в радіотехнічних системах метрового та дециметрового діапазонів хвиль, там, де необхідно мати низькопрофільні антени, зокрема, на рухомих системах радіозв'язку.

Відома малогабаритна багаточастотна антена (Пат. США № 4652888, МКІ Кл.<sup>5</sup> H01 Q11/14, виданий 24.03.87 р.), яка має кілька рамочних елементів, встановлених по колу над противагою. Кожний елемент відомої антени складається з двох частин рамки: одна частина відкрита, а друга – розташована в трубі таким чином, що на поверхні труби збуджується струм, синфазний струму першої частини. На вході першої рамки підключено два конденсатори змінної ємності. Один – послідовно з фідером живлення, а другий – паралельно. Вихід останнього рамочного елемента з'єднаний з противагою. Решта входів і виходів елементів з'єднані з відповідними групами контактів реле так, щоб

забезпечити різні варіанти послідовно-паралельного з'єднання елементів. Керування реле здійснюється блоком управління таким чином, щоб антена була налаштована на необхідну робочу частоту.

Відомий пристрій не може ефективно працювати одночасно в кількох частотних піддіапазонах, що не дозволяє використовувати його при багаточастотному прийомі. Крім того, наявність великого числа комутаційних елементів істотно знижує надійність пристрою. Все це обмежує рамки його використання.

Відома низькопрофільна широкопasmова антена з дисковим навантаженням (Пат. США № 4635068 МКІ H01 Q 09/38, виданий 06.01.87 р.) являє собою навантажений диском товстий вертикальний вібратор з точкою живлення на рівні половини висоти, який має два індуктивних шунти та один – ємнісний. Вертикальна частина вібратора

(13) A

(11) 36427

(19) UA

складається з двох однакових циліндрів, які переходять в конус і з вершинами в точці живлення. Електроємніший шунт забезпечує електроємний зв'язок верхньої та нижньої частин вертикального штиря. Індуктивні шунти забезпечують індуктивний симетричний зв'язок диска з протипагою. Ця антена ефективно працює в одному частотному діапазоні.

Найбільш близьким аналогом з технічної суті (прототипом) даного пристрою є низькопрофільна широкодіапазонна антена, в якій використовуються узгоджуючі пристрої з втратами (Пат. США № 4328501, МКІ Н01 Q09/36, виданий 04.05.82 р.). Вона має провідниковий диск, з'єднаний через двополюсник з втратами з верхнім кінцем несиметричного вібратора висотою меншою 0,1 довжини хвилі робочого діапазону. Антена живиться через узгоджуючий пристрій. Він з'єднує нижній кінець несиметричного вібратора з потенціальною шиною входу антени через послідовно з'єднані двополюсник та відрізок коаксимального кабелю, довжина якого дорівнює чверті довжини середньої хвилі робочого діапазону. Цей двополюсник є паралельним з'єднанням активного опору та індуктивності. Потенціальна шина входу антени з'єднана з протипагою через паралельний контур. Антена має малу висоту, а наявність диска робить розподіл струму вздовж випромінюючого елемента, вібратора, більш рівномірним.

В відомій антені для узгодження використовуються  $L, C, R$  схеми та вузькосмуговий трансформатор, який є відрізком коаксимального кабелю довжиною близько чверті середньої довжини хвилі робочого діапазону. Це дозволяє узгодити антену в широкому діапазоні частот з перекриттям до 3:1. Проте, в зв'язку з тим, що несиметричний вібратор висотою меншою 0,1 довжини хвилі має активну складову вхідного опору меншу 16 Ом, включення в антену активних опорів призведе до низької її ефективності. Як наголошує автор відомої антени, для одержання високої ефективності необхідно мати набір узгоджуючих пристроїв, які перемікаються в залежності від частотного піддіапазону. Таким чином, відома антена не може ефективно працювати одночасно на кількох частотних смугах діапазону.

В основу винаходу поставлено задачу створити багаточастотну низькопрофільну антену, яка має несиметричний вібратор висотою меншою 0,1 довжини хвилі, верхній кінець якого з'єднаний з плоским провідниковим диском шляхом з'єднання верхнього кінця несиметричного вібратора з плоским провідниковим диском через вхідні клеми реактивного ступінчатого кола, між вихідними клемми якого ввімкнено реактивний опір, здійсненого таким чином, що його вхідний опір описується функцією частоти, яка має  $N(N=1,2,3,...)$  полюсів (нулів), а нижній кінець несиметричного вібратора з'єднаний з потенціальною шиною входу антени та з одним кінцем індуктивності, інший кінець якої підключений до протипаги, що забезпечує одночасну роботу антени з високою ефективністю на кількох частотних піддіапазонах.

В конкретних формах виконання та в особливих умовах використання винаходу можна виділити додаткові ознаки: вихідний опір реактивного ступінчатого кола, між вихідними клемми якого

ввімкнено реактивний опір, на кожній центральній частоті піддіапазонів визначається із наступного співвідношення:

$$X_d = R_a X_b / W - X_C - X_D + X_C^2 / (X_b + X_C + X_L),$$

а індуктивність, що з'єднує нижній кінець вібратора з протипагою, із виразу

$$L = [1 + f_{ib} l / (f_{ib} + f_{i\pi})] (R_a W)^{1/2} / (2\pi \cdot f_i),$$

що забезпечує на частотах заздалегідь заданої сітки частот оптимальне узгодження вхідного опору антени з хвильовим опором лінії живлення, що збільшує ККД антени. В цих виразах

$R_a$  – опір випромінювання,

$X_L, X_C$  – індуктивний та електроємний опори вібратора, відповідно,

$W$  – хвильовий опір лінії живлення,

$X_D$  – електроємний опір диска,

$X_b$  – реактивний опір індуктивності  $L$ ,

$f_i$  – центральна частота будь-якого піддіапазону, на якій визначається  $R_a$ ,

$f_{ib}, f_{i\pi}$  – верхня та нижня центральні частоти піддіапазону,

$l$  – висота вібратора в довжинах хвиль на частоті  $f_{ib}$ .

Введення в антену реактивного ступінчатого кола, між вихідними клемми якого ввімкнено реактивний опір, а вхідні клеми з'єднують плоский провідниковий диск з верхнім кінцем несиметричного вібратора; та індуктивності, ввімкненої між нижнім кінцем несиметричного вібратора і протипагою, дозволяє реалізувати багаторезонансну систему завдяки тому, що вхідний опір ступінчатого реактивного кола описується функцією частоти, яка має  $N(N=1,2,3,...)$  полюсів (нулів). Ця коливальна система еквівалентна коливальним контурам з паралельним резонансом, в одному з розгалужень яких ввімкнено несиметричний вібратор висотою меншою 0,1 довжини хвилі. Резонансні частоти визначаються параметрами несиметричного вібратора, плоского провідникового диска та додатково введених елементів. Кількість резонансних частот такої багаторезонансної системи визначається числом полюсів (нулів) функції частоти вхідного опору реактивного ступінчатого кола, навантаженого реактивним опором. Індуктивність, яка ввімкнена між нижнім кінцем несиметричного вібратора та протипагою, забезпечує на цих частотах узгодження активної складової вхідного опору антени з хвильовим опором лінії живлення, а неузгодженість по реактивній складовій визначається величиною реактивного опору цієї індуктивності. Відсутність активних опорів в елементах, введених в антену, збільшує її ефективність випромінювання. Навіть на верхній частоті діапазону зниження ККД за рахунок неузгодження не перевищує 0,075.

Наведені співвідношення між параметрами додаткових елементів, несиметричного вібратора та плоского провідникового диска дозволяють зменшити величину реактивної складової вхідного опору

ру і реалізувати антену, оптимально узгоджену на попередньо заданих частотах, що збільшує ККД. Найбільше зниження ККД за рахунок неузгодження не перевершує 0,015.

Всі перераховані вище відмінні ознаки разом в багаточастотній низькопрофільній антені дозволяють одержати високу ефективність випромінювання одночасно на  $N(N=1,2,3,...)$  частотах, тобто призводять до появи первинного технічного ефекту.

Звідси випливає, що багаточастотна низькопрофільна антена має істотні відмінності.

На фіг. 1 зображена функціональна схема багаточастотної низькопрофільної антени. На фіг. 2 представлена еквівалентна електрична схема багаточастотної низькопрофільної антени. На фіг. 3 зображений приклад реалізації чотирьохчастотної низькопрофільної антени дециметрового діапазону хвиль, яка відповідає формулі винаходу. На фіг. 4 зображений приклад реалізації реактивного ступінчастого кола, навантаженого реактивним опором, чотирьохчастотної низькопрофільної антени дециметрового діапазону хвиль.

Багаточастотна низькопрофільна антена, фіг. 1, має несиметричний вібратор, висотою меншою 0,1 довжини хвилі та плоский провідниковий диск 2. Верхній кінець несиметричного вібратора 1 і плоский провідниковий диск 2 з'єднані через вхідні клеми реактивного ступінчастого кола 3. До вхідних клем цього кола підключений реактивний опір 4. Нижній кінець несиметричного вібратора 1 з'єднаний з потенціальною шиною 5 входу антени та з одним кінцем індуктивності 6, інший кінець якої підключений до противаги 7.

Запропонована антена працює наступним чином.

Вона живиться лінією живлення, потенціальна шина якої з'єднується з потенціальною шиною 5 входу антени. До верхнього кінця несиметричного вібратора 1 через західний опір реактивного ступінчастого кола 3, навантаженого на реактивний опір 4, підключається електроємне навантаження у вигляді плоского провідникового диску.

2. Вхідний опір реактивного ступінчастого кола 3 описується функцією частоти, яка має  $N$  полюсів (нулів), і забезпечує такі величини реактивного вхідного опору на центральних частотах піддіапазонів, які дозволяють реалізувати багаторезонансну систему антени. Індуктивність 6, яка ввімкнена між нижнім кінцем несиметричного вібратора та противагою 7, забезпечує індуктивний зв'язок між лінією живлення та несиметричним вібратором 1, що дозволяє реалізувати при резонансі в колі вібратора узгодження вхідного опору антени по активній його складовій на центральних частотах піддіапазонів. При потребі збільшення ефективності антени параметри елементів, що вводяться в антену, вибираються із вимоги мінімізації коефіцієнта відбивання між лінією живлення та вхідним опором антени на заздалегідь заданих центральних частотах піддіапазонів.

Роботу багаточастотної низькопрофільної антени зручно розглядати на основі аналізу еквівалентної електричної схеми, зображеної на фіг. 2. Схема представляє собою паралельний коливальний контур. Генератор  $G$  з внутрішнім опором

$R_i$ , з'єднаний з входом антени лінією живлення з хвильовим опором  $W = R_i$ . Між генератором та вібраторним колом введений індуктивний зв'язок, який реалізований індуктивним опором  $X_b$ , підключеним до основи несиметричного вібратора. Так як несиметричний вібратор має висоту нижчу 0,1 довжини хвилі то його еквівалентну схему можна представити послідовним контуром, в якому  $R_a$  – опір випромінювання, а  $X_L$  та  $X_C$  – індуктивний та електроємний опори вібратора, відповідно. Крім цього в еквівалентній електричній схемі антени паралельно  $X_C$  через вхідний опір  $X_d$  реакційного ступінчастого кола ввімкнено електроємний опір диска  $X_D$  на противагу.

Вхідний опір антени можна записати як

$$Z_{BX} = n^2 R_a + j(X_b \cdot n^2 X_t),$$

де  $n = |jX_b / (R_a + jX_t)|$  – коефіцієнт трансформації,  $X_t = X_b + X_L + X_C(X_d + X_D) / (X_d + X_D + X_C)$  – реактивний опір паралельного контуру.

Якщо в багаточастотній низькопрофільній антені забезпечити резонансний режим ( $X_t = 0$ ) роботи паралельного контуру на центральних частотах піддіапазонів, то на них  $Z_{BX} = n^2 R_a + jX_b$  повинні виконуватися умови  $X_b = (W \cdot R_a)^{1/2}$  і  $n^2 = W / R_a$ . Враховуючи квадратичну залежність  $R_a$  від частоти, видно, що необхідні величини на центральних частотах піддіапазонів реалізуються однією індуктивністю, величина якої визначається із виразу

$$L = (W \cdot R_a)^{1/2} / (2\pi \cdot f_i),$$

де  $f_i$  – центральна частота будь-якого піддіапазону, на якій визначено величину  $R_a$ . Для забезпечення паралельного резонансу вібраторного кола на низці частот необхідно мати вхідний опір ступінчастого кола

$$X_d = -X_C - X_D + X_C^2 / (X_b + X_C + X_L).$$

При таких  $L$  і  $X_d$  активна складова вхідного опору антени дорівнює  $W$ , але за рахунок неузгодження, викликаного реактивною складовою вхідного опору антени, виникають додаткові втрати, які для несиметричних вібраторів висотою 0,1 довжини хвилі при  $W \geq 500 \text{ Ом}$  призводять до зниження ККД на 0,075, проте при зменшенні висоти ці втрати зменшуються. Наприклад, при висоті несиметричного вібратора 0,05 довжини хвилі неузгодженість вхідного опору антени за рахунок реактивної складової призводить до зменшення ККД лише на 0,02.

При потребі збільшення ефективності антени на заздалегідь заданій сітці частот проводиться оптимізація величин  $L$  і  $X_t$  для зменшення кое-

фіцієнту відбивання за рахунок реактивної складової і вхідного опору антени. В цьому разі

$$L = [1 + f_{ib} l / (f_{ib} + f_{i\pi})] (R_a W)^{1/2} / (2\pi \cdot f_i).$$

Такі величини  $L$  і  $X_L$  на кожній центральній частоті піддіапазонів забезпечуються однією індуктивністю, що з'єднує нижній кінець вібратора з противагою, та вхідним опором ступінчатого кола

$$X_d = R_a X_b / W - X_C - X_D + X_C^2 / (X_b + X_C + X_L),$$

В обох випадках потрібна величина на низькій частоті одночасно реалізується ступінчастим колом, навантаженим реактивним опором. Функція частоти вхідного опору його, як відомо, описується неперервним дробом, що має полюси (нулі). Між сусідніми полюсами реактивний вхідний опір змінюється від  $-\infty$  до  $+\infty$ , а отже є можливість синтезувати потрібну величину.

Багаточастотність антени забезпечується наявністю  $N(N=1,2,3...)$  полюсів (нулів) в функції частоти, яка описує вхідний опір  $X_d$  реактивного ступінчатого кола, навантаженого реактивним опором, вхідні клеми якого з'єднують верхній кінець несиметричного вібратора з плоским провідниковим диском, та індуктивністю, що з'єднує нижній кінець вібратора з противагою. Можливо підібрати такі значення  $X_d$  та  $L$ , які відповідають умовам узгодження антени на  $N(N=1,2,3...)$  частотах одночасно.

Як приклад конкретної реалізації, розглянемо багаточастотну низькопрофільну антену дециметрового діапазону хвиль, виготовлену по формулі винаходу на чотири піддіапазона з центральними частотами 285, 330, 380 та 420 МГц. Конструкція антени зображена на фіг. 3 та фіг. 4.

Антену має короткий вібратор 1 висотою 30 мм та плоский провідниковий диск 2 діаметром 150 мм. Верхній кінець несиметричного вібратора 1 і плоский провідниковий диск 2 з'єднані через

вхідні клеми реактивного ступінчатого кола 3, до вихідних клем якого підключено реактивний опір 4. Нижній кінець несиметричного вібратора 1 з'єднаний з потенціальною шиною 5 входу антени та з одним кінцем індуктивності 6, інший кінець якої підключений до противаги 7. Антена живиться через коаксіальний з'єднувач 8.

Індуктивність 6, що з'єднує нижній кінець вібратора 1 з противагою 7, здійснена як відрізок короткозамкнутої стрічкової лінії довжиною 50 мм на фольгированому діелектрику ФЛАН-2,0 з  $\epsilon=2,8$ .

Конструкція ступінчатого кола, навантаженого реактивним опором, зображена на фіг. 4.

Вхідний опір ступінчатого кола 3, навантаженого реактивним опором 4, синтезовано, виходячи із умови одночасного узгодження вхідного опору антени на чотирьох центральних частотах піддіапазонів. Реактивне ступінчасте коло 3 виготовлене із відрізків стрічкової лінії 9 з хвильовим опором 20 Ом, навантажених конденсаторами 10. Відрізки лінії та конденсатори змонтовані на фольгированому діелектрику ФЛАН-2,0 з  $\epsilon=2,8$ . Нижня поверхня фольгированого діелектрика, яка обернена до противаги 7, виконує роль плоского провідникового диску 2. Як реактивний опір 4 виступає короткозамкнута стрічкова лінія довжиною 60 мм.

Експериментальні дослідження показали, що на центральних частотах піддіапазонів модуль коефіцієнта відбивання не перевершує 0,1, а мінімальний коефіцієнт підсилення антени, при висоті вібратора меншій 0,03 максимальної довжини хвилі, більший 2,5.

Технічна ефективність запропонованої антени порівняно з прототипом полягає в можливості ефективної роботи одночасно в кількох частотних піддіапазонах, що забезпечується використанням додаткових індуктивностей та реактивного ступінчатого кола, навантаженого на реактивний опір. Вхідний опір цього кола описується функцією частоти, яка має  $N(N=1,2,3...)$  полюсів (нулів), які дозволяють узгодити антену одночасно в кількох частотних піддіапазонах.

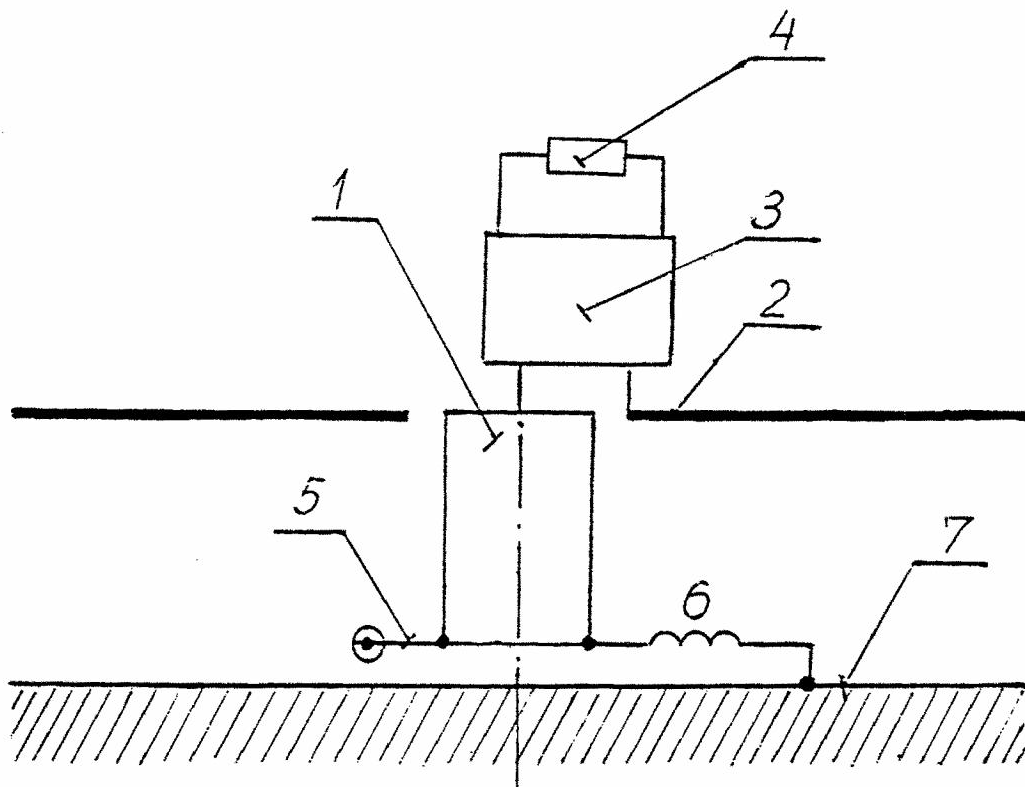


Fig. 1

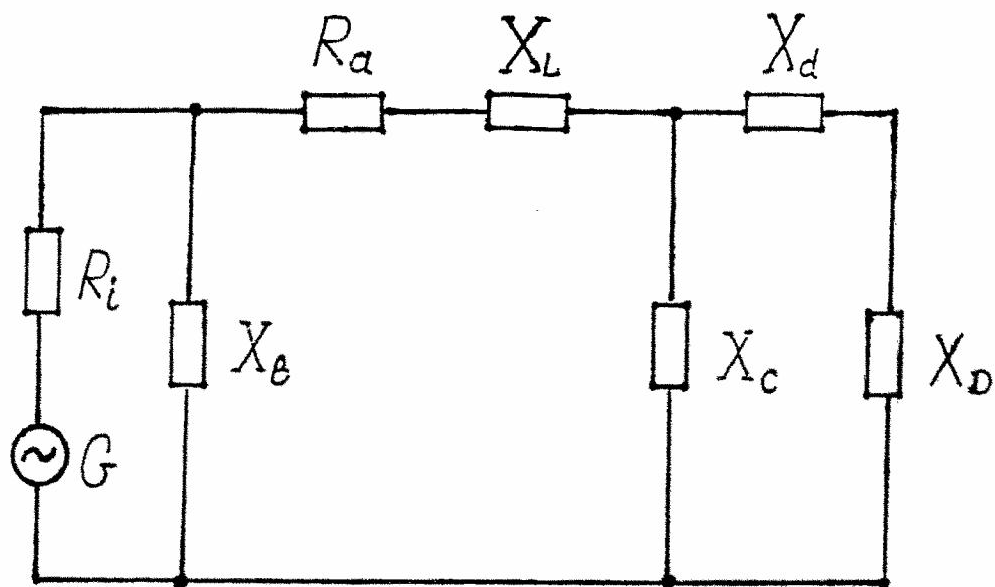


Fig. 2

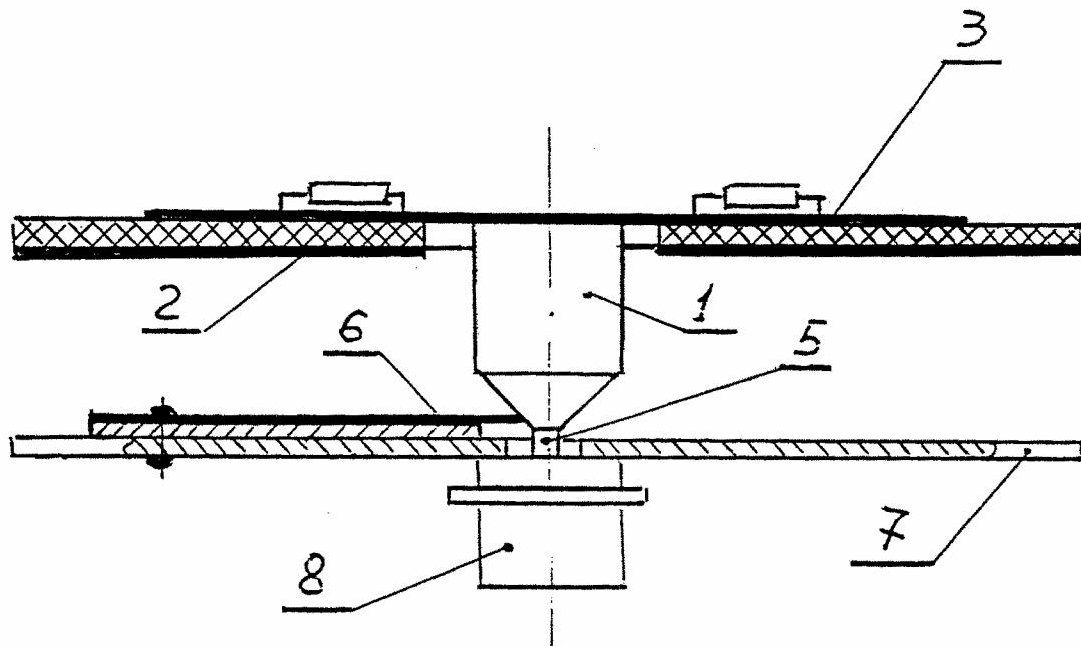
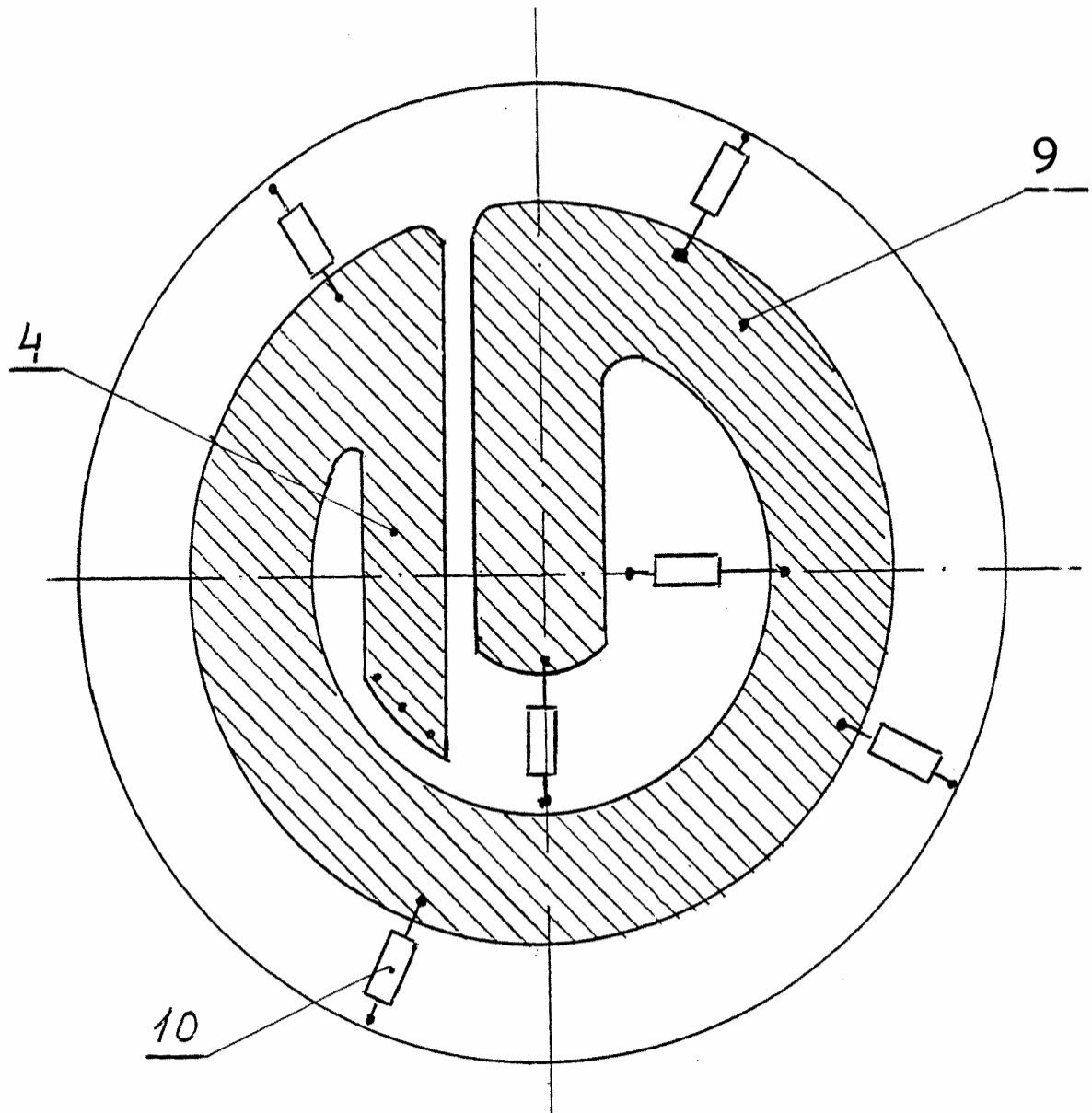


Fig. 3



Фіг. 4

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)  
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26  
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2001 р. Формат 60x84 1/8.  
 Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. \_\_\_\_\_

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.  
 (044) 268-25-22