



УКРАЇНА

(19) UA (11) 57647 (13) U
(51) МПК
G01N 33/20 (2011.01)МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ В ДІЕЛЕКТРИЧНІ МАТЕРІАЛИ

1

2

(21) u201009103

(22) 20.07.2010

(24) 10.03.2011

(46) 10.03.2011, Бюл.№ 5, 2011 р.

(72) СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, КАЛАМЕ-
ЄЦЬ ТЕТЯНА ПЕТРІВНА, ІВАНЧЕНКО ОЛЕГ ВА-
СИЛЬОВИЧ(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Пристрій для контролю металевих включень в діелектричні матеріали, що містить кварцовий генератор, диференціальний індукційний датчик, кінці якого з'єднані з загальною заземленою шиною, автоматичний перемикач, послідовно з'єднані вибіркового підсилювач частоти комутації, синхронний детектор, фільтр нижніх частот і реєстратор, повторювач напруги, з'єднаний з трансфор-

матором, і конденсатор, який відрізняється тим, що в нього введені додатковий конденсатор, смуговий фільтр низької частоти, квадратичний детектор та два послідовно з'єднані подільники частоти підключені до виходу кварцового генератора, до виходу першого подільника частоти через повторювач напруги підключена первинна обмотка трансформатора, кінці вторинної обмотки через конденсатори з'єднані з початками обмоток диференціального індукційного датчика, що з'єднані зі входами автоматичного перемикача, вихід якого через смуговий фільтр низької частоти з'єднаний зі входом квадратичного детектора, вихід якого з'єднаний з входом вибіркового підсилювача частоти комутації, керуючі входи автоматичного перемикача і синхронного детектора з'єднані з виходом другого подільника частоти.

Корисна модель відноситься до області аналізу складу матеріалів змінними магнітними полями і може бути використана для виявлення в діелектричних матеріалах металевих та інших струмопровідних включень і оцінки їх маси в зоні зондуемого поля.

Ряд матеріалів, що мають діелектричні властивості (пластмаси, харчові продукти, вироби із деревини і мінералів, тканини, тощо), забруднюються в процесі виготовлення металевим пилом та осколками, внаслідок зносу технологічного обладнання. Наявність металевих включень небажана при подальшій переробці матеріалів і навіть небезпечна, наприклад, в харчових продуктах. Для виявлення кількісної оцінки металевих включень в діелектричних матеріалах використовують в якості зондуємих змінні магнітні поля різних частот, які легко проникають вглиб діелектричного матеріалу і наводять змінні струми в шуканих включеннях. Наведені струми утворюють вторинне магнітне поле, яке взаємодіє з первинним, що дає інформацію про масу і розташування металевих включень. Для створення зондуємого магнітного поля використовують індукційні датчики, обмотки яких збуджуються змінним струмом. Для підвищення чутливості індукційних датчиків їх обмотки включають в резонансні ланцюги, що збільшує інтенсивність зондуємого магнітного поля. Великі діе-

лектричні втрати в контрольованих матеріалах не знижують ефективності магнітного зондування в середовищах з високою наскрізною провідністю.

Відомий пристрій для контролю металевих включень в діелектричні матеріали [Арш Э.Н. Автогенераторные методы и средства измерений. - М.: Машиностроение. - 1979. - С. 158 - 159], в якому обмотки індукційних датчиків включені в коливальні контури двох автогенераторів, із яких один вимірювальний, другий - компенсаційний, а корисний різницевий сигнал утворюється на загальному навантажувальному опорі двох амплітудних детекторів, що включені на виходах автогенераторів.

Неминуча нестабільність початкових частот кожного із автогенераторів приводить до великого дрейфу нуля пристрою, що обмежує можливість виявлення малорозмірних металевих включень і вимірювання їх маси. Нестабільність і неідентичність вольтамперних характеристик двох детекторів також викликає велику адитивну похибку (похибку нуля).

У відомому пристрої для контролю металевих включень в діелектричні матеріали [Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х книгах. Кн. 2 /Под ред. В.В. Ключева. - М.: Машиностроение. - 1986. - С. 126 - 130] використовується диференціальний індукційний датчик, що містить чотири спіральні печатні

(13) U
(11) 57647
(19) UA

обмотки, які виготовлені методом фотолітографії і розташовані з обох сторін діелектричних підложок, дві з яких включені узгоджено і підключені до живильного генератора, дві інші включені зустрічно і з'єднані з підсилювачем, до виходу якого через амплітудний детектор підключений індикатор.

Але через узгоджене включення двох випромінюючих обмоток магнітні зондуючі поля взаємодіють одне з одним, проникають взаємно як в контрольований матеріал, так і матеріал для порівняння (зразковий). Це знижує чутливість диференціального датчика і не дозволяє концентрувати зондує поле в об'ємі тільки контрольованого матеріалу. Одночастотні завади від живильного генератора на різницеву напругу двох зустрічно включених приймальних обмоток приводить до зміщення нуля пристрою, що понижує точність контролю.

Відомий також пристрій для контролю металевих включень в діелектричні матеріали [Патент України №52090А, МПК G01N33/20, 2002р.], що містить кварцовий генератор, диференціальний індукційний датчик, кінці якого з'єднані з загальною заземленою шиною, автоматичний перемикач, послідовно з'єднані вибіркового підсилювач частоти комутації, синхронний детектор, фільтр нижніх частот і реєстратор, повторювач напруги, з'єднаний з трансформатором і конденсатор. Крім того, пристрій містить автогенератор, частотний детектор, одновібратор і усереднюючий фільтр, підключені до виходу автогенератора, формувач імпульсів і другий автоматичний перемикач, дві печатні спіральні обмотки на різних сторонах діелектричної підложки навиті в різних напрямках і включені паралельно відносно загальної землі.

При різних початкових частотах автогенератора, які визначаються вихідним складом матеріалу, який зондується, виникають відмінності в струмах, що протікають через різні обмотки індукційного датчика, так як вони задаються напругами на вході і виході автогенератора. Через нерівність струмів, що намагнічують, магнітне поле однієї обмотки проникає в магнітне поле іншої обмотки, що суттєво обмежує роздільну здатність відомого пристрою. При зондуванні діелектричних матеріалів, які армовані металевими компонентами, наприклад, трикотажних полотен з добавкою металевих ниток, виникають ускладнення у здійсненні режиму автогенерації через великі початкові магнітні втрати в порівнюваних матеріалах.

В основу корисної моделі покладено задачу створення такого пристрою для контролю металевих включень в діелектричні матеріали, в якому введенням нових елементів і зв'язків забезпечилась би можливість виявляти і оцінювати різного роду металеві включення в контрольованих матеріалах як з малими так і великими електричними та магнітними втратами, що покращує функціональні можливості пристрою.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для контролю металевих включень в діелектричні матеріали, що містить кварцовий генератор, диференціальний індукційний датчик, кінці якого з'єднані з загальною заземленою шиною, автоматичний перемикач, послідовно з'єднані ви-

біркового підсилювач частоти комутації, синхронний детектор, фільтр нижніх частот і реєстратор, повторювач напруги, з'єднаний з трансформатором і конденсатор, згідно корисної моделі, в пристрій введені додатковий конденсатор, смуговий фільтр низької частоти, квадратичний детектор та два послідовно з'єднані подільника частоти підключені до виходу кварцового генератора, до виходу першого подільника частоти через повторювач напруги підключена первинна обмотка трансформатора, кінці вторинної обмотки через конденсатори з'єднані з початками обмоток диференціального індукційного датчика, що з'єднані зі входами автоматичного перемикача, вихід якого через смуговий фільтр низької частоти з'єднаний зі входом квадратичного детектора, вихід якого з'єднаний з входом вибіркового підсилювача частоти комутації, керуючі входи автоматичного перемикача і синхронного детектора з'єднані з виходом другого подільника частоти.

Введення в схему пристрою для контролю металевих включень в діелектричні матеріали додаткового конденсатора, смугового фільтра низької частоти, квадратичного детектора і двох подільників частоти, включених вказаним чином, дозволяє зондувати контрольований матеріал і зразковий матеріал змінними магнітними полями, які є незалежними і не проникають одне в інше при близькому розміщенні порівнюваних матеріалів. Послідовне включення обмоток диференціального індукційного датчика відносно живильного трансформатора забезпечує рівність намагнічуючих струмів навіть при порушенні резонансу в одній із обмоток, що зберігає просторове розділення зондуючих полів, але дозволяє виявляти наявність металевих включень в контрольованому матеріалі по зміні падіння напруги на обмотці, що зондує цей матеріал. Почергова фільтрація порівнюваних падінь напруг з резонуючих обмоток диференціального індукційного датчика великих рівнів і послідовне квадратичне детектування протифазних, відносно загальної землі, падінь напруг дозволяє виділити різницевий сигнал у вигляді змінної напруги частоти перемикачання порівнюваних падінь напруг при мінімальному впливі одночастотних завад від живильного трансформатора. Керування роботою автоматичного перемикача і синхронного детектора від подільника частоти, утворюючого комутуючу напругу, частота якої кратна частоті змінного магнітного поля, забезпечує мінімізацію перехідних процесів в вибіркових ланцюгах пристрою і придушення комутаційних завад. Одноканальне виконання схеми порівняння двох падінь напруги виключає дрейф нуля в запропонованому пристрої. Збудження обмоток диференціального індукційного датчика від зовнішнього генератора кварцової частоти в режимі послідовного резонансу дозволяє контролювати низько добротні матеріали без автогенерації. Вказані відмінності забезпечують виявлення і оцінку різних металевих включень в контрольованих матеріалах, навіть в тих, що мають високі електричні і магнітні втрати.

На Фіг.1 представлена електрична функціональна схема пристрою для контролю металевих

включень в діелектричні матеріали, на Фіг.2 - розріз по А-А.

Пристрій містить кварцовий генератор 1, до якого підключені послідовно з'єднані подільники частоти 2 і 3. До першого подільника частоти 2 через повторювач напруги 4 підключена первинна обмотка трансформатора 5, кінці вторинної обмотки якого через конденсатори 6 і 7 з'єднані з початками спіральних печатних обмоток 8 і 9 диференціального індукційного датчика 10. Спіральні печатні обмотки 8 і 9 розміщені на протилежних сторонах діелектричної підложки 11, а її кінці з'єднані між собою і підключені до загальної заземленої шини 12. Автоматичний перемикач 13 своїми входами з'єднаний з початками спіральних печатних обмоток 8, 9 і керується напругою частоти комутації, яка формується подільником частоти 3. До виходу автоматичного перемикача 13 підключені послідовно з'єднані смуговий фільтр 14 низької частоти, квадратичний детектор 15, вибіркоковий підсилювач 16 частоти комутації, синхронний детектор 17, що керується вихідною напругою подільника частоти 3, фільтр 18 нижніх частот і реєстратор 19. Печатні обмотки виконані зі спіральною навивкою 20, кінці яких з'єднані в центрі діелектричної підложки 11 провідною перемичкою 21 і з'єднані з металічними входами 22.

Позицією 23 позначений зразковий (еталонний) матеріал, а позицією 24 - контрольований матеріал.

Пристрій працює наступним чином.

Із високочастотних коливань кварцового генератора 1 подільником частоти 2 формується напруга низької частоти ω , яка через повторювач напруги 4 живить трансформатор 5. Напруги кінців вторинної обмотки трансформатора 5, симетричні відносно загальної заземленої шини 12, збуджують послідовні резонансні ланцюги, які складаються із конденсатора 6 і індуктивності обмотки 8, а також із конденсатора 7 і індуктивності обмотки 9. Струм, що протікає через послідовно включені обмотки 8 і 9 при напрузі на виході трансформатора 5 $U = U_m \sin \omega t$ визначається виразом

$$I_1 = \frac{U_m \sin \omega t}{\sqrt{\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}\right)^2 + r_1^2} + \sqrt{\left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}\right)^2 + r_2^2}}, \quad (1)$$

де L_1 і r_1 - індуктивність і опір обмотки 8;

L_2 і r_2 - індуктивність і опір обмотки 9;

C_1 і C_2 - ємності конденсаторів 6 і 7.

При ідентичності спіральних печатних обмоток 8 і 9 ($L_1 = L_2$) ємності конденсаторів 6 і 7 також обирають однаковими ($C_1 = C_2$). Значення ємностей конденсаторів 6 і 7 обирають із умови резонансу на частоті ω :

$$\omega L_1 = \frac{1}{\omega C_1}, \quad (2)$$

$$\omega L_2 = \frac{1}{\omega C_2}, \quad (3)$$

З урахуванням рівності опорів обмоток 8, 9 ($r_1 = r_2 = r$) змінний струм (1) при резонансі приймає значення:

$$I_2 = \frac{U_m \sin \omega t}{2r}. \quad (4)$$

Завдяки резонансу напруг на конденсаторах 6 і 7 і обмотках 8 і 9 диференціального індукційного датчика 10 значно зростає намагнічуючий струм через послідовно включені обмотки 8 і 9 ($I_2 \gg I_1$), що збільшує інтенсивність зондуючих магнітних полів. При вказаному включенні початків і кінців обмоток 8 і 9 магнітні поля виявляються включеними зустрічно. Завдяки цьому вони не проникають в зони зондування зразкового 23 і контрольованого 24 матеріалів. Падіння напруги на обмотках 8 і 9 при відсутності включень металів в контрольований матеріал 24 знаходяться в протифазі відносно загальної заземленої шини 12:

$$U_1 = \frac{\sqrt{(\omega L_1)^2 + r_1^2}}{2r} U_m \sin \omega t, \quad (5)$$

$$U_2 = \frac{\sqrt{(\omega L_2)^2 + r_2^2}}{2r} U_m (\sin \omega t - \pi) \quad (6)$$

Враховуючи, що добротність обмоток $Q = \frac{\omega L}{r}$,

падіння напруг (5) і (6) приймають вигляд:

$$U_3 = \frac{1}{2} \sqrt{Q_1^2 + 1} U_m \sin \omega t, \quad (7)$$

$$U_4 = \frac{1}{2} \sqrt{Q_2^2 + 1} U_m \sin(\omega t - \pi). \quad (8)$$

де $Q_1 = \frac{\omega L_1}{r_1}$, $Q_2 = \frac{\omega L_2}{r_2}$ - добротності обмоток

диференціального індукційного датчика 10.

Якщо добротності обмоток більше 10, то при відсутності металевих включень в контрольований матеріал падіння напруг:

$$U_5 = \frac{Q_1}{2} U_m \sin \omega t, \quad (9)$$

$$U_6 = -\frac{Q_2}{2} U_m \sin \omega t. \quad (10)$$

Із виразів (9) і (10) витікає, що при відсутності металевих включень в контрольований матеріал падіння напруги (9) і (10) рівні за амплітудою, але мають протилежні фази.

В випадку появи металевих включень в контрольованому матеріалі 24 добротність обмотки Q_1 зменшується за рахунок розмагнічуючої дії наведених струмів і електричних втрат, що вносяться. В цьому випадку добротність обмотки 8 приймає значення:

$$Q_2 = \frac{\omega(L_2 - \Delta L)}{r_2 + \Delta r} = Q_2 - \Delta Q_1, \quad (11)$$

де ΔL - приріст індуктивності обмотки від дії наведених струмів;

Δr - приріст опору обмотки за рахунок втрат, що вносяться.

Добротність обмотки 9, яка зондує зразковий матеріал залишається незмінною.

Виникає нерівність падінь напруг на обмотках 8 і 9 диференціального індукційного датчика 10. Для виявлення і вимірювання цієї нерівності падіння напруг:

$$U_7 = \frac{Q_1}{2} U_m \sin \omega t, \quad (12)$$

$$U_8 = -\frac{Q_2 - \Delta Q}{2} U_m \sin \omega t \quad (13)$$

почергово через автоматичний перемикач 13 подають на смуговий фільтр 14 низької частоти з центральною частотою ω . В результаті фільтрації подавляються завади різного спектрального складу. Одночастотні завади від трансформатора 5 мало впливають на результат порівняння відносно великих резонансних падінь напруг. На виході квадратичного детектора 15, який не чутливий до фази напруги, що детектується утворюється послідовність імпульсів із постійних напруг:

$$U_9 = k_1 S_1 \frac{Q_1^2}{4} U_m^2, \quad (14)$$

$$U_{10} = k_1 S_1 \frac{(Q_2 - \Delta Q)^2}{4} U_m^2, \quad (15)$$

де k_1 - коефіцієнт передачі смугового фільтра 14 низької частоти;

S_1 - крутизна перетворення квадратичного детектора 15.

Тривалість імпульсів постійних напруг (14) і (15) визначається напівперіодом комутуючої напруги, частота Ω якої задається коефіцієнтом ділення n подільника частоти 3:

$$\Omega = \frac{\omega}{n}. \quad (16)$$

В часовій послідовності імпульсів з амплітудами (14) і (15) присутня змінна складова напруги частоти комутації Ω :

$$U_{11} = \frac{U_9 - U_{10}}{2} \sin \Omega t \quad (17)$$

Вибірковим підсилювачем 16, налаштованим на частоту комутації Ω , підсилюється різниця напруга (17), яка потім синхронно детектується синхронним детектором 17 і згладжується фільтром нижніх частот 18. Реєстратором 19 фіксується постійна напруга

$$U_{12} = \frac{1}{2} k_2 S_2 k_3 (U_9 - U_{10}), \quad (18)$$

де k_2 - коефіцієнт підсилення вибіркового підсилювача низької частоти 16;

S_2 - крутизна перетворення синхронного детектора 17;

k_3 - коефіцієнт передачі фільтра 18 нижніх частот.

Підставляючи в вираз (18) значення напруг (14) і (15), отримуємо

$$U_{12} = \frac{1}{8} k_1 S_1 k_2 S_2 k_3 (Q_1^2 - Q_2^2 + 2Q_2 \Delta Q - \Delta Q^2) U_m^2. \quad (19)$$

Так як $Q_1 = Q_2$, а значенням ΔQ^2 можливо знехтувати як величиною другого порядку малості, то

$$U_{14} = S_0 Q_2 \Delta Q U_m^2, \quad (20)$$

Де $S_0 = \frac{1}{4} k_1 S_1 k_2 S_2 k_3$ - результуюча крутизна

одноканального тракту порівняння.

З виразу (20) витікає, що запропонований пристрій реєструє зміну добротності ΔQ тієї обмотки, якою зондується безпосередньо контрольований матеріал 24. При цьому зміна добротності ΔQ обмотки 8 пропорційна масі металевих включень в зоні дії диференціального індукційного датчика 10. Чутливість пропорційна квадрату живильної напруги (U_m^2) і добротності обмоток (Q) диференціального індукційного датчика. Таким чином, резонансний режим роботи обмоток диференціального датчика дозволяє значно (в десятки раз) підвищити чутливість пристрою, а значить, дає можливість виявити навіть невелику кількість металевих домішків в діелектричних матеріалах.

Варто відмітити, що порушення резонансу в одній із обмоток диференціального датчика при наявності металевих включень позначається і на напрузі іншої обмотки через зменшення загальної струму (4):

$$I_3 = \frac{U_m \sin \omega t}{\sqrt{(\omega \Delta L)^2 + (r_1 + \Delta r)^2 + r_2}} < I_2 \quad (21)$$

де ΔL і Δr - параметри, що вносяться в обмотку 8 за рахунок дії наведених струмів, згідно виразу (11).

Але завдяки послідовному включенню обмоток 8 і 9 їх намагнічуючі струми залишаються рівними. Це забезпечує непроникність магнітних силових ліній одного зонduючого поля в інше. При цьому обмотка 9, якою зондується зразковий матеріал 23, залишається в послідовному резонансі з конденсатором 7. В обмотці 8, яка зондує контрольований матеріал 24, за рахунок параметрів, що вносяться (ΔL і Δr) послідовний резонанс порушується, що і створює велику різницю падінь напруг. Ці відмінності порівнянно з прототипом і аналогами дозволяють виявляти і оцінювати різного роду металеві включення в контрольованих матеріалах навіть при великих електричних втратах в обох матеріалах, що порівнюються.

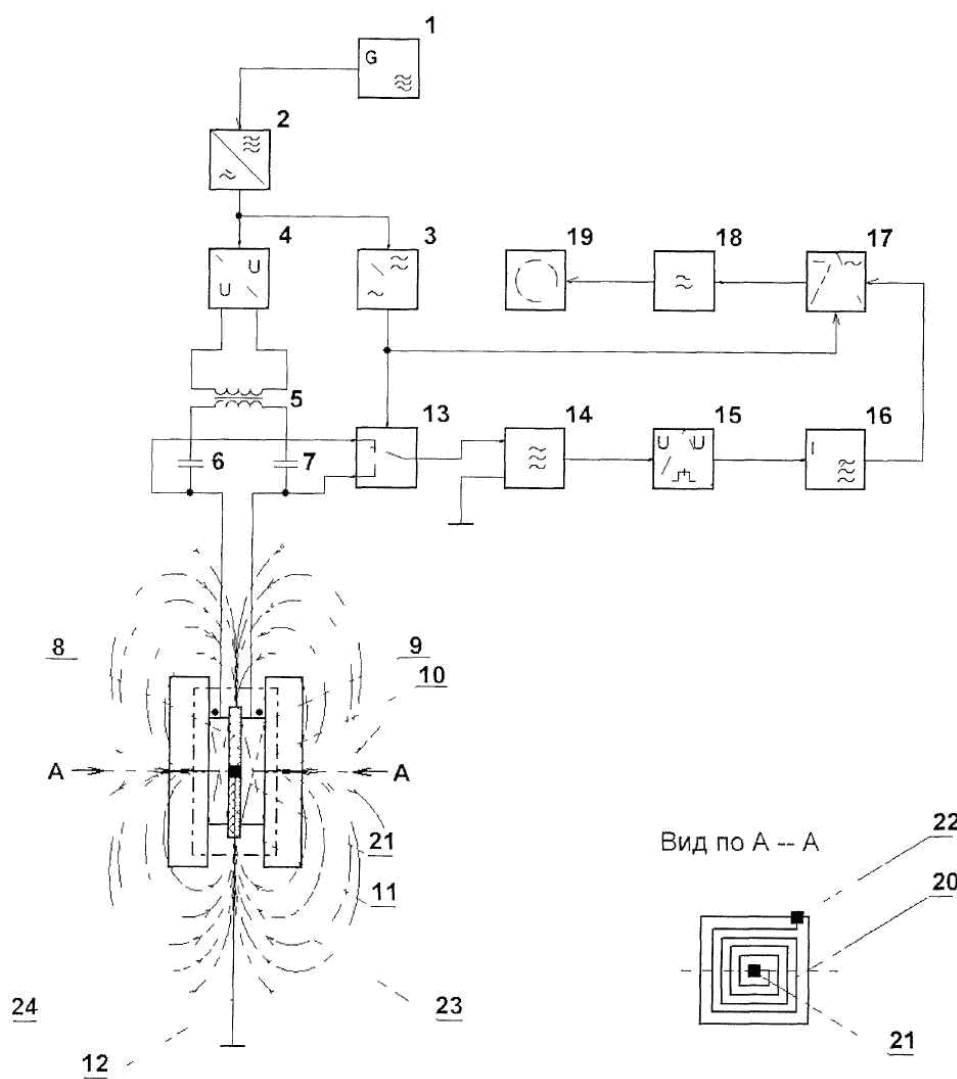
Використання запропонованого пристрою в контрольно-вимірювальній техніці дозволить:

- визначати наявність металевих осколків в розплавах полімерів перед процесом формування полімерних плівок вальцями з високим ступенем чистоти поверхні;

- контролювати якість харчових продуктів за наявністю в їх складі металевих пилу або струмопровідних домішок, електролітів і ферментів;

- оцінювати вологість матеріалів і речовин з великими діелектричними втратами, а також оброблених різними барвниками і пігментами;

- використовувати в медицині для фіксації тромбів і інших електропровідних неоднорідностей і новоутворень в біологічних тканинах і органах.



Фиг.1

Фиг.2