



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 113240

(13) C2

(51) МПК

G01R 27/02 (2006.01)

G01N 27/02 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

(21) Номер заявки:	а 2015 07558	(72) Винахідник(и):	Івіна Олена Олександрівна (UA), Давиденко Олександр Петрович (UA)
(22) Дата подання заявки:	28.07.2015	(73) Власник(и):	Івіна Олена Олександрівна, вул. Корчагінців, 11-а, кв. 59, м. Харків, 61171 (UA), Давиденко Олександр Петрович, пр. Л. Свободи, 39-а, кв. 102, 61202 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	26.12.2016	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	RU 2510032 C2, 20.03.2014 US 3646436 A, 29.02.1972 RU 2284533 c1, 27.09.2006 RU 2420749 C1, 10.06.2011 US 5210500 A, 11.05.1993 EP 0245116 A2, 11.11.1987 RU 2453854 C1, 20.06.2012 JPH 08313571 A, 29.11.1996
(41) Публікація відомостей про заявку:	25.05.2016, Бюл.№ 10		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	26.12.2016, Бюл.№ 24		

(54) СПОСІБ ЕЛЕКТРОІМПЕДАНСНОГО КОНТРОЛЮ ПЛОСКОПАРАЛЕЛЬНИХ ВИРОБІВ МАЛОЇ ТОВЩИНИ І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ВТІЛЕННЯ**(57) Реферат:**

Спосіб електроімпедансного контролю плоскопаралельних виробів малої товщини та пристрій для його втілення належить до електротехніки і може бути використаний для контролю плоскопаралельних виробів малої товщини, як інформативні параметри які використовують електричний імпеданс. Система вимірювальних електродів складається з верхньої і нижньої груп електродів, які при розташуванні між ними досліджуваного об'єкта ортогональні між собою і умовно ділять площину досліджуваного об'єкта на рівні частини. Кожна пара верхніх і нижніх електродів вибирається парами електронних комутаторів. Між кожною парою електродів вимірюється падіння напруги. Отримане значення напруги надходить до диференціального підсилювача, і, після підсилення сигналу, надходить на синфазний та квадратурний детектори, які виділяють складові активної і реактивної напруги, що є пропорційними активному і реактивному опору досліджуваного об'єкта в вибраній точці. Після цього сигнали надходять до аналогово-цифрових перетворювачів, де вони перетворюються на код і в цифровому вигляді надходять в блок обробки інформації, який обчислює складові імпедансу та передає координати точки аналізу, значення частоти аналізу та значення активної та реактивної складової імпедансу на персональний комп'ютер, де за допомогою програм будується графік розподілення імпедансу і визначається наявність і місце розташування неоднорідності та визначаються аномальні зони в структурі об'єкта, що контролюється. Технічним результатом є проведення аналізу неоднорідності виробів у широкому діапазоні частот і амплітуд, знімання амплітудно-частотних характеристик об'єкта, виявлення порушення структури контролю плоскопаралельних виробів.

UA 113240 C2

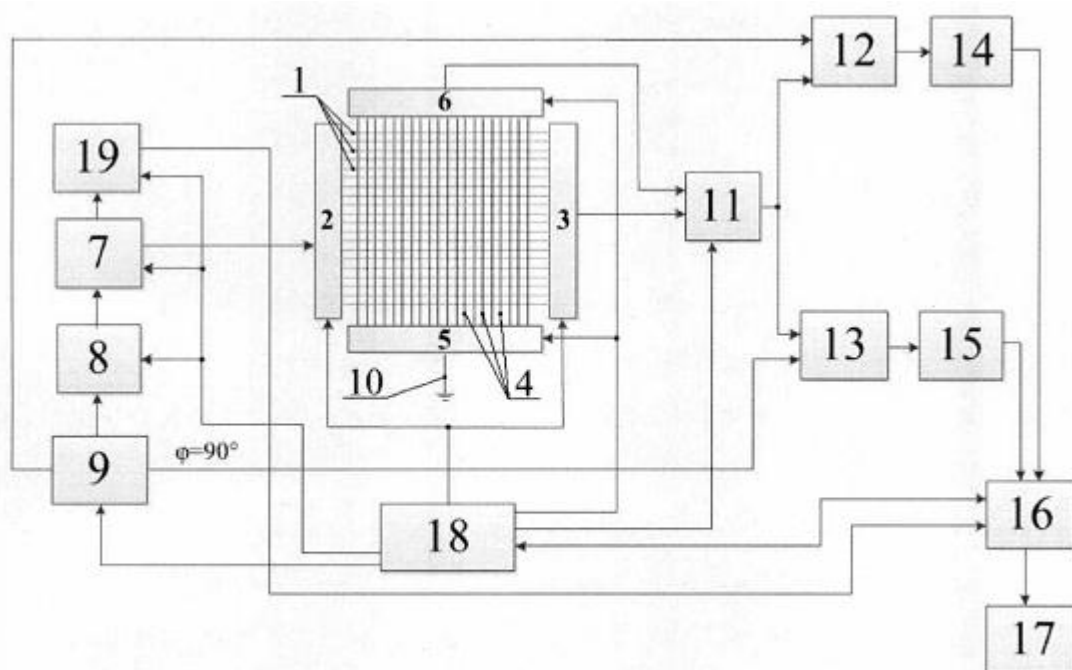


Fig. 1

Винахід належить до засобів неруйнівного контролю і може бути використаний для контролю плоскопаралельних виробів малої товщини, як інформативні параметри яких використовують електричний імпеданс.

Відомий спосіб визначення електричного опору з використанням техніки із незмінною вихідною напругою [патент США № 3646436, МПК G01R 27/14, опубл. 29.02.1972р.], за яким вимірювання опору здійснюють шляхом контактування пари електродів з однієї із сторін досліджуваного зразка, пропускання постійного електричного струму через зразок між електродами, вимірювання значення різниці потенціалів між електродами, порівняння вимірюваного значення різниці потенціалів з попередньо встановленим значенням, зміни значення постійного струму для зміни різниці потенціалів між електродами, вимірювання електричного струму, в момент, коли різниця потенціалів між електродами стане еквівалентною з попередньо встановленим значенням.

Недоліком такого способу є мала інформативність отриманої інформації для визначення аномальних зон всередині об'єкта, внаслідок того, що результат вимірювання є інтегральним показником опору між електродами і не дає змоги визначити локальні дефекти в структурі об'єкта. Крім того, вимірювання опору здійснюється на постійному струмі, тому визначається тільки активна складова опору вимірюваного зразка, що обмежує використання способу тільки для контролю об'єктів з електропровідних матеріалів.

Найбільш близьким до запропонованого винаходу є спосіб вимірювання імпедансу в багатьох точках об'єкта [патент РФ № 2510032, МПК G01R 27/02, опубл. 20.03.2014р.]. Спосіб полягає в визначенні глибини просочення об'єкта шляхом розташування вимірювальних електродів по овалу з числом $2n$ на ділянці об'єкта, вимірювання імпедансів між усіма найближчими сусідніми вимірювальними електродами в першій серії, імпедансів між усіма вимірювальними електродами у другій серії з різницею на одиницю, обчислення і порівняння результатів, по яких роблять висновок про глибину просочення.

Недоліком цього способу є те, що вимірювання імпедансу проводиться лише на обмеженій ділянці об'єкта. Для обстеження всього об'єкта необхідно переміщувати систему електродів або об'єкт відносно один одного, що значно ускладнює технічну реалізацію процесу визначення якості просочення та потребує проведення великої кількості вимірювальних операцій і значних часових витрат. Крім того, на результат вимірювання впливають неінформативні параметри, зокрема імпеданс мультиплексорів і вимірювальних електродів, вплив яких частково усувається лише під час обробки результатів вимірювань, в наслідок чого залишається не скомпенсованою значна похибка вимірювання.

В основу винаходу поставлена задача створення способу неруйнівного контролю, який дозволяє оптимізувати процедуру отримання даних про об'єкт, виключити переміщення системи вимірювальних електродів відносно об'єкта вимірювання, зменшити кількість вимірювань, зменшити вплив зовнішніх факторів на похибку результату вимірювання, зменшити час дослідження, підвищити інформативність та корисність отриманої інформації для визначення аномальних зон всередині об'єкта, розширити номенклатуру можливих об'єктів дослідження.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі електроімпедансного контролю плоскопаралельних виробів малої товщини, за яким на змінному струмі проводяться вимірювання імпедансу в рівнорозподілених точках по площині об'єкта за допомогою вимірювальних електродів, згідно з винаходом площа об'єкта умовно дискретизується на множину менших площин квадратної форми, кожен з яких лежить в області умовного перетину кожної з пар вимірювальних електродів, вимірювання імпедансу проводиться по всій площині об'єкта в рівномірно розподілених точках на вибраних реперних частотах, при обробці результатів вимірювань виділяється активна і реактивна складові імпедансу, по отриманих масивах даних будуються графіки розподілення імпедансу по площині об'єкта, які дозволяють комплексно оцінити розподілення імпедансу, а наявність і місце розташування дефекту визначаються по істотній зміні значення імпедансу на графіку.

Відомий пристрій визначення електричного опору з використанням техніки із незмінною вихідною напругою [патент США № 3646436, МПК G01R 27/14, опубл. 29.02.1972р.], який містить джерело постійного струму, що забезпечує пару електродів заданим струмом, який протікає крізь об'єкт дослідження між електродами. В результаті протікання струму крізь об'єкт на електродах утворюється різниця потенціалів, яка подається на широкосмуговий підсилювач, вихід якого під'єднано до детектора помилок, вихід якого подається на вхід контрольного підсилювача, вихід якого під'єднано до входу джерела струму з метою керування значенням струму, яке необхідне для отримання заданої різниці потенціалів між електродами, значення якого встановлюється за показами амперметра.

Недоліком такого пристрою є мала ефективність для визначення аномальних зон всередині об'єкта. Точкове контактування з об'єктом дослідження має малу площу контакту, і, як наслідок, великий перехідний опір, що при малих значеннях опору досліджуваного зразка може призводити до впливу великої похибки на результат вимірювання. За рахунок включення досліджуваного зразка у вимірювальний ланцюг за двопровідною схемою утворюється похибка від впливу внутрішнього опору елементів вимірювальної схеми.

Найбільш близьким до запропонованого винаходу, є пристрій для вимірювання імпедансу в багатьох точках об'єкта [патент РФ № 2510032, МПК G01R 27/02, опубл. 20.03.2014р.], який містить генератор змінної напруги, чотириплечий мостовий вимірювальний ланцюг, масштабний підсилювач, амплітудний випрямляч, аналогово-цифровий перетворювач, блок обробки інформації (обчислювальний пристрій) і два електронні комутатори, вимірювальні електроди, формувач прямокутних імпульсів і блок керування мультиплексорами (блок управління), при цьому вимірювальні електроди розташовуються на об'єкті у вигляді овалу або еліпсу.

Недоліком цього пристрою є вплив на результат вимірювання неінформативних параметрів за рахунок включення об'єкта в плече моста по двопровідній схемі, що призводить до великої похибки вимірювання. Крім того, вимірювання проводиться лише в зоні лінії розташування вимірювальних електродів, а не по всій поверхні досліджуваного об'єкта, тому для обстеження всього об'єкта необхідно переміщувати систему електродів або об'єкт відносно один одного, що ускладнює процес вимірювання і потребує витрати значного часу.

В основу винаходу поставлена задача створення пристрою неруйнівного контролю, використання якого дозволило б проводити вимірювання без переміщення будь-яких частин вимірювальної схеми, оптимізувати процедуру отримання даних про об'єкт, зменшити вплив неінформативних параметрів на результати вимірювань, зменшити час дослідження, підвищити інформативність і наочність представлення отриманої інформації, розширити номенклатуру об'єктів дослідження.

Для вирішення поставленої задачі у пристрої, для електроімпедансного контролю плоскопаралельних виробів малої товщини, що містить вимірювальні електроди, генератор змінної напруги, підсилювач, два електронні комутатори, амплітудний випрямляч, аналогово-цифровий перетворювач, блок обробки інформації, блок управління, згідно з винаходом, містить дві паралельні групи вимірювальних електродів, що утворюють умовно дискретизовані ділянки по площині досліджуваного об'єкта, і з'єднані з додатково встановленими двома електронними комутаторами, при цьому вхід одного з них з'єднаний з перетворювачем напруга-струм, а вихід другого з'єднаний з диференціальним підсилювачем, при цьому перетворювач напруга-струм під'єднаний до керованого підсилювача напруги, який з'єднаний з генератором змінної напруги, а диференціальний підсилювач під'єднаний до амплітудного випрямляча, що складається з синфазного і квадратурного детекторів, які з'єднані з генератором змінної напруги та відповідними аналогово-цифровими перетворювачами, які з'єднані з обчислювальним пристроєм, що під'єднаний до персонального комп'ютера та блока управління, виходи якого з'єднані з адресними входами електронних комутаторів, входом генератора змінної напруги, керованого підсилювача напруги, перетворювача напруга-струм, перетворювача струм-код, диференціального підсилювача.

Система вимірювальних електродів складається з верхньої групи електродів ($x_1; x_2 \div x_n$) і нижньої групи електродів ($y_1; y_2 \div y_m$). Вони є паралельними між собою, але при розташуванні між ними досліджуваного об'єкта ці групи розташовують так, щоб електроди обох груп були ортогональні між собою і умовно ділили площину досліджуваного об'єкта на рівні частини, утворюючи матрицю із стовпцями і рядками розмірністю $n \times m$. Крім того, генератор змінної напруги виконано з можливістю керування частотою, і з наявністю двох виходів, що мають фазовий зсув 90° , додатково встановлений перетворювач струм-код, передає інформацію про величину генерованого струму на блок обробки інформації, з якого ланцюгом зворотного зв'язку через блок управління подається керуючий сигнал, що переналаштовує керований підсилювач напруги, змінюючи діапазони вимірювань опору. Диференціальний підсилювач виконано з великим вхідним опором і можливістю програмного керування коефіцієнтом підсилення. Для виключення впливу опорів електронних комутаторів застосована чотирипровідна схема включення досліджуваного об'єкта, яка реалізована за допомогою електронних комутаторів, що підключені до верхньої $x_1 \div x_n$ і нижньої $y_1 \div y_m$ груп електродів. Електронними комутаторами перебираються всі пари перехрещених електродів, між якими пропускається струм, утворюючи множину рівномірно розподілених точок вимірювань кількістю $n \times m$. Кожна пара електродів автоматично вибирається блоком управління. Амплітудний випрямляч виконано у вигляді синфазного і квадратурного детекторів, які виділяють складові активної і реактивної напруги, що є пропорційними активному і реактивному опору досліджуваного об'єкта в вибраній точці. Блок

управління дозволяє за вимогами експерименту встановлювати частотний діапазон генератора змінної напруги, крок зміни частоти, значення струму через об'єкт та коефіцієнт підсилення диференційного підсилювача. Блок обробки інформації передає координати точки аналізу, значення частоти аналізу та значення активної та реактивної складової імпедансу на персональний комп'ютер, де за допомогою спеціалізованих програм будується графік розподілення імпедансу по площині об'єкта, що контролюється, по якому визначаються аномальні зони в структурі об'єкта.

Технічний результат полягає у тому, що використання способу за допомогою пристрою дозволяє збільшити ефективність неруйнівного контролю неоднорідності будь-яких виробів, збільшити інформативність, тобто корисність отриманої інформації для визначення аномальних зон всередині об'єкта, зменшити час вимірювання, зменшити вплив похибки від мультіплексорів і вимірювальних електродів, забезпечити наочність дослідження.

Сутність запропонованого винаходу пояснюється кресленнями.

На фіг. 1 зображена схема пристрою для електроімпедансного контролю плоскостепенних виробів малої товщини, на фіг. 2 - схема розташування електродів, на фіг. 3 графік розподілення імпедансу по площині об'єкта, що контролюється.

Пристрій містить групу електродів 1, яка з'єднана з електронними комутаторами 2 і 3, група електродів 4 з'єднана з електронними комутаторами 5 і 6. Вхід електронного комутатора 2 з'єднано з виходом перетворювача напруга-струм 7 вхід якого, в свою чергу, під'єднано до виходу керованого підсилювача напруги 8, вхід якого з'єднано з виходом генератора 9. Вихід електронного комутатора 5 виведено на "землю" 10. Виходи електронних комутаторів 3 і 6 з'єднані із входом диференціального підсилювача 11, вихід якого під'єднано до входів синфазного 12 і квадратурного 13 детекторів, входи яких також з'єднані із виходами генератора змінної напруги 9. Виходи синфазного 12 і квадратурного 13 детекторів під'єднані до входів аналогово-цифрових перетворювачів 14 і 15. Виходи аналогово-цифрових перетворювачів 14 і 15 з'єднані з блоком обробки інформації 16, вихід якого з'єднаний з персональним комп'ютером 17 за допомогою дротового або бездротового зв'язку. Виходи блока управління 18 з'єднані з входами електронних комутаторів 2, 3, 5, 6, входом генератора змінної напруги 9, керованого підсилювача напруги 8, перетворювача напруга-струм 7, перетворювача струм-код 19, диференціального підсилювача 11 і двостороннім зв'язком із блоком обробки інформації 16. Вихід перетворювача струм-код 19 з'єднаний з входом блока обробки інформації 16.

Принцип здійснення способу за допомогою пристрою полягає в наступному.

Верхня група електродів 1 ($x_1; x_2 \dots x_n$) і нижня група електродів 4 ($y_1; y_2 \dots y_m$) є паралельними між собою, але при розташуванні між ними досліджуваного об'єкта ці групи розташовують так, щоб електроди обох груп були ортогональні між собою і умовно ділили площину досліджуваного об'єкта на рівні частини, утворюючи матрицю із стовпцями і рядками розмірністю $n \times m$. Кожна пара верхнього і нижнього електродів x_{n_i} і y_{m_i} вибирається парами електронних комутаторів 2, 3 і 5, 6. Між кожною парою електродів вимірюється падіння напруги при попередньо встановленому значенні струму. Отримане значення напруги надходить до диференціального підсилювача 11 і після підсилення сигналу надходить на синфазний та квадратурний детектори 12, 13, які виділяють складові активної і реактивної напруги, що є пропорційними активному і реактивному опорі досліджуваного об'єкта в вибраній точці. Після детекторів 12, 13 сигнали надходять до аналогово-цифрових перетворювачів 14, 15, де вони перетворюються на код і в цифровому вигляді надходять в блок обробки інформації 16. Керований блоком управління 18 генератор змінної напруги 9 забезпечує можливість аналізу або на одній частоті, критичній для досліджуваного об'єкта, або в заданому діапазоні частот з вибором максимальної і мінімальної частоти та кроку дискретизації по частоті. Рішення про зміну величини напруги, струму і меж вимірювання приймається на основі даних про опір об'єкта та сигналів аналогово-цифрових перетворювачів 14, 15, які аналізуються у блоці обробки інформації 16. У випадку, коли ці сигнали замалі, то струм, який протікає крізь об'єкт, збільшується, а якщо вони наближаються до максимальних значень, то струм зменшується. Блок обробки інформації 16, отримуючи інформацію про виміряне значення напруги від аналогово-цифрових перетворювачів 14, 15 і значення струму від перетворювача струм-код 19, обчислює значення активної та реактивної складової імпедансу і передає координати точки аналізу, значення частоти аналізу та значення активної та реактивної складової імпедансу на персональний комп'ютер 17, де за допомогою спеціалізованих програм будується графік розподілення імпедансу, по якому можна судити про наявність і місце розташування неоднорідності та визначити аномальні зони в структурі об'єкта контролю.

Використання винаходу дозволяє проводити аналіз неоднорідності структури виробів у широкому діапазоні частот і амплітуд, знімати амплітудно-частотні характеристики об'єкта, якщо

вони частото-залежні, виявляти резонансні явища і це також дозволяє виявити порушення структури. Для біологічних об'єктів або хімічних розчинів можливе також дослідження на різних амплітудах для зменшення похибки взаємодії.

Запропонований винахід використаний для дослідження зразка плоскопаралельного електропровідного матеріалу. Для проведення експерименту був виготовлений зразок, що являв собою бавовняну тканину просочену сумішшю графітового порошку з лаком. Розмір графітової плями зразка склав 87×63 мм, товщина зразка $0,97 \pm 0,02$ мм, значення опору в точках по площині зразка ≈ 200 Ом. Електродні пластини були виготовлені у вигляді електроізоляційних плат, на яких із кроком 2,54 мм розташовані мідні шини (електроди). Розмір електродних плат склав 82×80 мм. Зразок встановлювався між двома пластинами з електродами так, щоб електроди обох пластин були ортогональні між собою і умовно ділили площину досліджуваного об'єкта на рівні частини, утворюючи матрицю із стовпцями і рядками розмірністю $n \times m$. Для розмірів досліджуваного зразка, із кроком розташування електродів 2,54 мм, матриця складала 32 на 24 точки. За умовами експерименту вимірювалась активна складова імпедансу в 768 рівнорозподілених точках по площині досліджуваного зразка. По отриманому масиву результатів вимірювань був побудований 3D графік розподілення імпедансу по площині об'єкта, що контролюється (фіг. 3). Отримана характеристика зразка порівняна із результатами імітаційних моделювань в спеціалізованій програмі схемотехнічного моделювання на персональному комп'ютері.

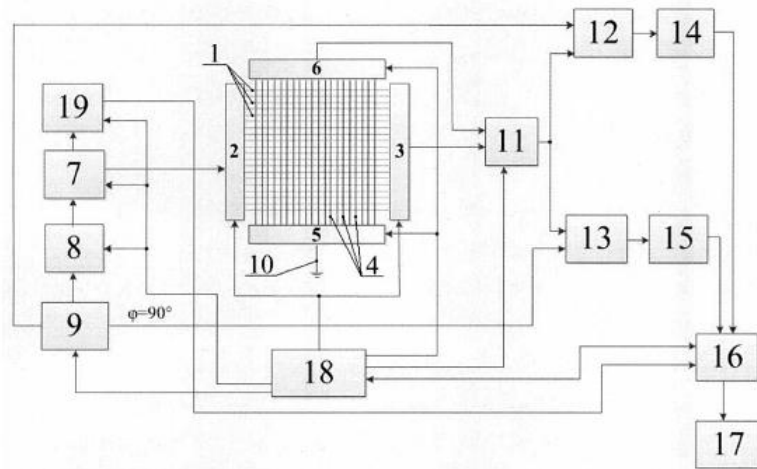
Дослідження дозволило визначити неоднорідність електричного імпедансу в окремих точках зразка, яка пов'язана з порушеннями структури матеріалу, тобто запропонований винахід може бути використаний для високоефективного контролю плоскопаралельних виробів малої товщини.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

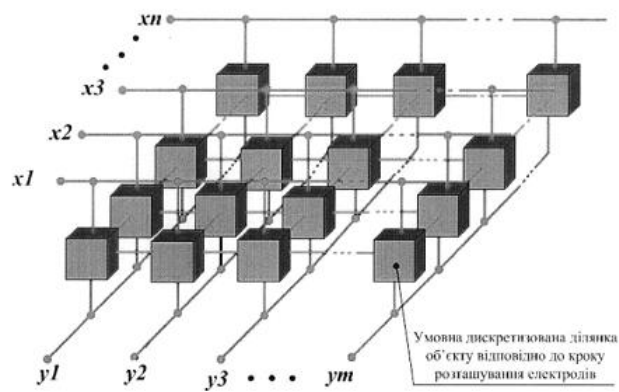
1. Спосіб електроімпедансного контролю плоскопаралельних виробів малої товщини, за яким на змінному струмі проводяться вимірювання імпедансу в рівнорозподілених точках по площині об'єкта за допомогою вимірювальних електродів, який **відрізняється** тим, що площину об'єкта умовно дискретизують на множину менших площин квадратної форми, кожна з яких лежить в області умовного перетину кожної з пар вимірювальних електродів, вимірюють імпеданс по всій площині об'єкта в рівномірно розподілених точках на вибраних реперних частотах, при обробці результатів вимірювань виділяють активну і реактивну складові імпедансу, по отриманих масивах даних будують графіки розподілення імпедансу по площині об'єкта та комплексно визначають розподілення імпедансу, а наявність і місце розташування дефектів визначають по істотній зміні значення імпедансу на цьому графіку.

2. Пристрій для електроімпедансного контролю плоскопаралельних виробів малої товщини, який містить групу вимірювальних електродів, що з'єднана із входами першого електронного комутатора і з виходами другого електронного комутатора, вихід якого з'єднано із входом масштабного підсилювача, вихід якого з'єднано із входом амплітудного випрямляча, вихід якого з'єднано із входом аналогово-цифрового перетворювача, вихід якого з'єднано із входом блока обробки інформації, блока управління, виходи якого з'єднані з керуючими входами першого і другого електронних комутаторів, генератора змінної напруги, який **відрізняється** тим, що додатково містить другу групу вимірювальних електродів, яка є паралельною першій, і разом вони розміщені таким чином, що утворюють умовно-дискретизовані ділянки по площині досліджуваного об'єкта і з'єднані із входами двох додатково встановлених третього і четвертого електронних комутаторів, при цьому вхід третього з них з'єднано із виходом додатково встановленого перетворювача напруга-струм, вихід якого з'єднано з входом додатково встановленого перетворювача струм-код, вихід якого з'єднано із входом блока обробки інформації, а вихід четвертого електронного комутатора з'єднано із входом масштабного підсилювача, що виконаний у вигляді диференціального підсилювача, що має великий вхідний опір і можливість програмного керування коефіцієнтом підсилення, вхід перетворювача напруга-струм під'єднано до виходу додатково встановленого керованого підсилювача напруги, вхід якого з'єднано з виходом генератора змінної напруги, що виконаний з можливістю керування частотою і містить два виходи, що мають фазовий зсув 90° , а вихід диференціального підсилювача під'єднано до амплітудного випрямляча, що складається з синфазного і квадратурного детекторів, які з'єднані з виходами генератора змінної напруги, аналогово-цифровим перетворювачем та другим додатково встановленим аналогово-цифровим перетворювачем, виходи обох аналогово-цифрових перетворювачів з'єднані з блоком обробки інформації, що з'єднаний з персональним комп'ютером та блоком управління, виходи якого

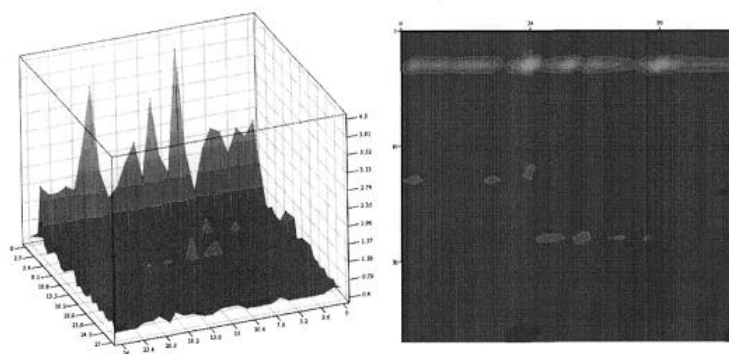
з'єднані з адресними входами електронних комутаторів, входом генератора змінної напруги, керованого підсилювача напруги, перетворювача напруга-струм, перетворювача струм-код, диференціального підсилювача.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601