



УКРАЇНА

(19) UA (11) 35110 (13) A

(51) 6 G01H9/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВІНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ

(21) 99084642

(22) 13.08.1999

(24) 15.03.2001

(46) 15.03.2001, Бюл. № 2, 2001 р.

(72) Хлопов Григорій Іванович

(73) ХЛОПОВ ГРИГОРІЙ ІВАНОВИЧ

(57) 1. Пристрій для безконтактного вимірювання параметрів механічних коливань, який містить генератор НВЧ, передавальну та приймальну антени і аналого-цифровий перетворювач, вихід якого з'єднаний з входом обчислювального пристрою, який відрізняється тим, що введені задавальний генератор, фазовий модулятор, міст НВЧ, перетворювач НВЧ, підсилювач, вимірювач рівня відбитого сигналу та індикатор, вихід генератора НВЧ і вихід приймальної антени з'єднані відповідно з першим і другим входами моста НВЧ, перший і другий виходи якого з'єднані відповідно з першим входом фазового модулятора і входом перетворювача НВЧ, вихід якого з'єднаний з входом підсилювача, другий вихід задавального генератора з'єднаний з першим входом вимірювача рівня відбитого сигналу, вихід якого з'єднаний з входом ін-

дикатора, перший вихід задавального генератора з'єднаний з другим входом фазового модулятора, вихід якого з'єднаний з входом передавальної антени, третій вихід задавального генератора з'єднаний з першим входом аналого-цифрового перетворювача, другий вхід якого з'єднаний з другим входом вимірювача рівня відбитого сигналу і виходом підсилювача.

2. Пристрій за п.1, який відрізняється тим, що вимірювач рівня відбитого сигналу містить перший і другий ключі, перший і другий інтегратори, перший і другий квадратори, інвертор і суматор, перші ключ, інтегратор і квадратор з'єднані послідовно, другі ключ, інтегратор і квадратор з'єднані послідовно, перші входи першого і другого ключів об'єднані і з'єднані з другим входом вимірювача рівня відбитого сигналу, другий вхід першого ключа з'єднаний з виходом інвертора, вхід якого з'єднаний з другим входом другого ключа і першим входом вимірювача рівня відбитого сигналу, виходи першого і другого квадраторів з'єднані відповідно з першим і другим входами суматора, вихід якого з'єднаний з виходом вимірювача рівня відбитого сигналу.

Вінахід належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для оцінювання технічного стану машин, механізмів, будівельних конструкцій тощо, в різних галузях техніки.

Відомі пристрої для безконтактного вимірювання параметрів механічних коливань, які опромінюють коливну поверхню радіохвилями надвисокої частоти (НВЧ) і вимірюють параметри вібрацій за характеристиками відбитих сигналів. Істотним недоліком таких пристроїв є залежність відбитого сигналу від багатьох важко врахованих факторів, а саме від потужності генератора НВЧ, чутливості детектора, відстані до поверхні об'єкта, коефіцієнта відбиття від поверхні, тощо, що негативно впливає на точність вимірювання.

Для усунення впливу складових похибки, зумовлених згаданими чинниками, перед початком вимірювання здійснюють калібрування пристроїв, тобто експериментальне установлення кількісного зв'язку між переміщенням поверхні даного конкретного об'єкта і відбитим сигналом. На жаль, це не завжди є здійсненим, особливо у випадках, ко-

ли контрольоване обладнання працює в безперервному технологічному циклі і не може бути зупинене для проведення калібрування.

Так, наприклад, відомі пристрої для безконтактного вимірювання параметрів механічних коливань, що містять послідовно з'єднані генератор НВЧ, детектор з підключеним до нього індикатором і антену, в яких чутливість вимірювання знаходиться в безпосередній залежності як від відстані між генератором НВЧ і антеною, так і від відстані між антеною і контрольованим об'єктом (патенти Російської Федерації №№ 2025669, 2025670 від 17.07.91р., МКВ GН01Н/90).

Відомий також пристрій для безконтактного вимірювання параметрів механічних коливань, що містить послідовно з'єднані генератор НВЧ, відгалужувач і випромінювач, а також приймальну антену, детектор, підсилювач, блок сканування частоти та реєструючий прилад (патент Російської Федерації NN 2009452 від 11.09.91р., МКВ G01Н/17/00).

Даному пристрою також притаманний недолік попереднього аналога - залежність точності

(19) UA (11) 35110 (13) A

вимірювання від відстані до контрольованого об'єкта

Прототипом пристрою, що заявляється, є пристрій для безконтактного вимірювання параметрів механічних коливань, який містить генератор НВЧ, передавальну та приймальну антени і аналого-цифровий перетворювач (АЦП), вихід якого з'єднаний з входом обчислювального пристрою (авторське свідоцтво СРСР N1293497 від 5.11.84 р., МКВ G01H 9/00). Пристрій також містить стробоскоп, перший і другий входи якого з'єднані відповідно з виходами генератора НВЧ і приймальної антени, а вихід через аналого-цифровий перетворювач підключений до входу обчислювального пристрою. Стробоскоп реєструє розподілені за часом миттєві значення амплітуд відбитих НВЧ хвиль в моменти, що відповідають двом крайнім значенням положення коливної поверхні. Далі вимірюють різницю ΔV і ΔU миттєвих значень амплітуд НВЧ хвилі відповідно в фазі $\pi/4$ і в фазі $\pi/2$, які відповідають їх середньому положенню, і визначають за допомогою обчислювального пристрою амплітуду S механічних коливань за формулою

$$S = \frac{\lambda}{\pi} \left\{ \begin{aligned} &\text{ArcTg} \left(\frac{2\Delta V}{\Delta U} \right) \rightarrow \frac{\Delta V}{\Delta U} \leq \frac{1}{2}, \\ &\frac{1}{2} \text{ArcCos} \left(1 - \frac{2\Delta V}{\Delta U} \right) \rightarrow \frac{1}{2} < \frac{\Delta V}{\Delta U} \leq 1. \end{aligned} \right.$$

де λ - довжина НВЧ хвилі, ΔV і ΔU - різниця миттєвих значень амплітуд відбитих НВЧ хвиль від двох крайніх положень коливної поверхні відповідно в фазі $\pi/4$ і в фазі $\pi/2$, які відповідають їх середньому положенню

Основний недолік прототипу, як і вищезгаданих аналогів, полягає в невисокій точності вимірювання параметрів механічних коливань через залежність амплітуди відбитих НВЧ сигналів від властивостей відбиваючої поверхні, відстані до об'єкта та інших факторів, для усунення впливу яких перед початком вимірювання пристрій треба калібрувати

До того ж, вимірювання параметрів механічних коливань згідно з винаходом за прототипом, здійснюються виходячи з припущення, що коливання мають періодичний синусоїдальний характер, що рідко відбувається на практиці

В основу винаходу поставлено задачу в пристрої для вимірювання параметрів механічних коливань шляхом введення нових елементів (задавального генератора, фазового модулятора, моста НВЧ, перетворювача НВЧ, посилювача і вимірювача рівня відбитого сигналу) і нових зв'язків між відомими і новими елементами, забезпечити високу точність вимірювання без проведення калібрування пристрою перед початком вимірювання і таким чином підвищити достовірність оцінки технічного стану обладнання, що працює в безперервному технологічному циклі

Для вирішення поставленої задачі в пристрій для безконтактного вимірювання параметрів механічних коливань, який містить генератор НВЧ, передавальну та приймальну антени і аналого-цифровий перетворювач, вихід якого з'єднаний з входом обчислювального пристрою, згідно з винаходом, введені задавальний генератор, фа-

зовий модулятор, міст НВЧ, перетворювач НВЧ, підсилювач, вимірювач рівня відбитого сигналу та індикатор, вихід генератора НВЧ і вихід приймальної антени з'єднані відповідно з першим і другим входами моста НВЧ, перший і другий виходи якого з'єднані відповідно з першим входом фазового модулятора і входом перетворювача НВЧ, вихід якого з'єднаний з входом підсилювача, другий вихід задавального генератора з'єднаний з першим входом вимірювача рівня відбитого сигналу, вихід якого з'єднаний з входом індикатора, перший вихід задавального генератора з'єднаний з другим входом фазового модулятора, вихід якого з'єднаний з входом передавальної антени, третій вихід задавального генератора з'єднаний з першим входом аналого-цифрового перетворювача, другий вхід якого з'єднаний з другим входом вимірювача рівня відбитого сигналу і виходом підсилювача

Вимірювач рівня відбитого сигналу в конкретному прикладі реалізації винаходу містить перший і другий ключі, перший і другий інтегратори, перший і другий квадратори, інвертор і суматор, перший ключ, інтегратор і квадратор з'єднані послідовно, другий ключ, інтегратор і квадратор з'єднані послідовно, перші входи першого і другого ключів об'єднані і з'єднані з другим входом вимірювача рівня відбитого сигналу, другий вхід першого ключа з'єднаний з виходом інвертора, вхід якого з'єднаний з другим входом другого ключа і першим входом вимірювача рівня відбитого сигналу, виходи першого і другого квадраторів з'єднані відповідно з першим і другим входами суматора, вихід якого з'єднаний з виходом вимірювача рівня відбитого сигналу

Сукупність ознак технічного рішення, що заявляється, на відміну від аналогів і прототипу, забезпечує високу точність вимірювання параметрів механічних коливань при відсутності процедури калібрування завдяки тому, що поверхня коливного об'єкта опромінюється сигналом модульованим за фазою $[0, \pi/2]$, а вибірки відбитого сигналу синхронно записуються по черзі в два окремі масиви даних, подальше перетворення яких дозволяє виключити складові похибки, що зумовлені впливом важко врахованих факторів, таких як потужність генератора НВЧ, чутливість перетворювача НВЧ, відстань до поверхні об'єкта, коефіцієнт відбиття від поверхні, тощо. Завдяки цьому стає можливим безперервне стеження за технічним станом обладнання з високим ступенем достовірності і без порушення технологічного циклу для калібрування пристрою, а також одержання детальної інформації про основні параметри механічних коливань, такі як миттєва амплітуда, статистичні і спектральні характеристики, тощо, за допомогою обчислювального пристрою згідно з запропонованим автором алгоритмом

Суть винаходу пояснюється кресленням, де на фіг 1 представлено структурну схему пристрою для вимірювання параметрів механічних коливань, на фіг 2 - приклад реалізації моста НВЧ, на фіг 3 - приклад реалізації вимірювача рівня відбитого сигналу, на фіг 4 - часова діаграма робочого циклу пристрою, на фіг 5 - часова діаграма спектрів сигналів випромінюваних, відбитих та на виході перетворювача НВЧ

Пристрій для вимірювання параметрів механічних коливань (фіг.1) містить генератор 1 НВЧ, передавальну антену 2, приймальну антену 3, АЦП 4, обчислювальний пристрій 5, міст 6 НВЧ, перетворювач 7 НВЧ, задавальний генератор 8, фазовий модулятор 9, підсилювач 10, вимірювач 11 рівня відбитого сигналу та індикатор 12. Перший і другий входи моста НВЧ з'єднані відповідно з виходом генератора 1 НВЧ і виходом приймальної антени 3, а перший і другий входи моста 6 НВЧ з'єднані відповідно з першим входом фазового модулятора 9 і входом перетворювача 7 НВЧ, вихід якого з'єднаний з входом підсилювача 10. Перший, другий і третій виходи задавального генератора 8 з'єднані відповідно з другим входом фазового модулятора 9, першим входом вимірювача 11 рівня відбитого сигналу і першим входом АЦП 4, другий вхід якого з'єднаний з другим входом вимірювача 11 рівня відбитого сигналу і виходом підсилювача 10, а вихід - з входом обчислювального пристрою 5. Вихід вимірювача 11 рівня відбитого сигналу з'єднаний з входом індикатора 12.

В конкретному прикладі реалізації пристрою міст 6 НВЧ (фіг.2) являє собою паралельне з'єднання прямого і П-подібного відрізків хвильоводу вздовж спільної вузької стінки, в якій виконані отвори 13, при цьому кінці 14 і 15 прямого відрізка хвильоводу утворюють відповідно перший вхід і вихід, а кінці 16 і 17 П-подібного відрізка хвильоводу - відповідно другі вхід і вихід моста 6 НВЧ. Діаметр і розташування отворів 13 забезпечують спрямоване відгалуження енергії в заданому співвідношенні (див. Фельдштейн А.Л., Явич Л.Р., Смирнов В.П. Справочник по элементам волноводной техники. - М.: Сов. Радио, 1967, с.583-584). Міст 6 НВЧ призначений для складання потужності відбитих сигналів з виходу приймальної антени 3 і частини потужності генератора 1 НВЧ на вході перетворювача 7 НВЧ.

В конкретному прикладі реалізації пристрою вимірювач 11 рівня відбитого сигналу (фіг.3) містить перший і другий ключі 18 і 19, відповідно, перший і другий інтегратори 20 і 21 відповідно, перший і другий квадратори 22 і 23 відповідно, інвертор 24 і суматор 25. Перші ключі 18, інтегратор 20 і квадратор 22 з'єднані послідовно, другі ключі 19, інтегратор 21 і квадратор 23 також з'єднані послідовно. Перші входи ключів 18 і 19 об'єднані і з'єднані з другим входом вимірювача 11 рівня відбитого сигналу, другий вхід першого ключа 18 з'єднаний з виходом інвертора 24, вхід якого з'єднаний з другим входом ключа 19 і першим входом вимірювача 11 рівня відбитого сигналу, виходи квадраторів 22 і 23 з'єднані відповідно з першим і другим входами суматора 25, вихід якого є виходом вимірювача 11 рівня відбитого сигналу.

Вимірювач 11 рівня відбитого сигналу призначений для усунення переважання АЦП 4 вхідними сигналами, тобто забезпечує такий режим роботи АЦП 4, при якому рівень відбитих сигналів не перевищує максимально припустимого рівня вхідних сигналів АЦП 4. Це дає змогу з високою точністю вимірювати параметри механічних коливань незалежно від рівня відбитих від коливної поверхні сигналів.

Як фазовий модулятор 9 може бути використаний, наприклад, відрізок хвильоводу з резонансною діафрагмою, в якій розташований варактор (див. Leitch C.A., Epprecht G.W. Controlled Wideband Differential Phase Shifters Using Varactor Diodes // IEEE Trans. on Microwave Technique and Theory, v. MTT-15, October 1967, p 586-589). В конкретному прикладі параметри пристрою обрані таким чином, щоб зміна фазового зсуву, що вноситься в хвильоводний тракт, складала $\pi/2$.

Перетворювач 7 НВЧ може бути виконаний, наприклад, у вигляді короткозамкненого відрізка хвильоводу, в якому встановлений напівпровідниковий НВЧ діод, вивід сигналу і дроселюючий пристрій, який запобігає витоку енергії НВЧ через вивід сигналу (див. Розанов Б.А., Розанов С.Б. Приемники миллиметровых волн. - М.: Радио и связь, 1989, с.83-90) Перетворювач 7 НВЧ призначений для виділення сигналів доплерівської частоти з відбитих сигналів.

Задавальний генератор 8 призначений для синхронізації роботи фазового модулятора 9, АЦП 4 і вимірювача 11 рівня відбитого сигналу. Як задавальний генератор може бути використаний, наприклад, відомий пристрій (див. Гершунский Б.С. Справочник по расчету электронных схем. - Киев «Вища школа», 1983, с.223-233).

Як передавальну, так і приймальну антени 2 і 3 краще використовувати рупорно-лінзові антени (див. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование линзовых, сканирующих, широкодиапазонных антен и фидерных устройств - М.: Энергия, 1973, с.6-12).

Прикладом генератора 1 НВЧ може бути твердотільний генератор на лавино-пролітному діоді (див. Давыдова Н.С., Данюшевский Ю.З. Диодные генераторы и усилители СВЧ. - М.: Сов. Радио, 1986, с.111-115).

АЦП 4 може бути виконаний, наприклад, за відомою схемою (див. Barr P. Voltage Converters and Digital Voltmeters, Electromech. Design, 1965, v.9, January, p.301-310).

Підсилювач 10 є стандартним радіотехнічним пристроєм (див. Белкин М.К., Белинский В.Т., Мазор Ю.Л., Терещук Р.М. // Под ред. проф. Белкина М.К. Справочник по учебному проектированию приемно-усилительных устройств К.: Вища школа, 1988, с.405-432).

Обчислювальним пристроєм 5 може бути, наприклад, персональний комп'ютер IBM AT 586.

Пристрій для безконтактного вимірювання параметрів механічних коливань працює так. Генератор 1 НВЧ (фіг.1) випромінює немодульовані коливання на частоті F_0 (приблизно 30 ГГц), які поступають по хвильоводу на перший вхід моста 6 НВЧ (фіг.2) і далі по прямому відрізку 14,15 хвильоводу з першого виходу моста 6 НВЧ на перший вхід фазового модулятора 9, а з другого виходу моста 6 НВЧ через відрізок 17 хвильоводу - на вхід перетворювача 7 НВЧ.

Задавальний генератор 8 формує послідовність імпульсів напруги в моменти часу t_1, t_2, \dots, t_n (фіг. 4,а), які поступають на другий вхід фазового модулятора 9 і керують роботою останнього, в результаті чого фаза сигналів на виході фазового модулятора 9 модулюється за законом $[0, \pi/2]$ (фіг. 4,б).

Промодульовані за фазою коливання генератора 1 НВЧ з виходу фазового модулятора 9 подаються на вхід передавальної антени 2 і опромінюють досліджуваний об'єкт.

Відбиті від об'єкта коливання збираються приймальною антеною 3 і подаються на другий вхід моста 6 НВЧ (фиг 2), з незначними втратами проходять послідовно через плечі 16 і 17, а потім сумісно з вищезгаданою частиною потужності генератора 1 НВЧ, яка використовується як опорний сигнал з другого виходу моста 6 НВЧ потрапляють на вхід перетворювача 7 НВЧ. Згідно з ефектом Доплера частота F_0 відбитого сигналу за рахунок руху поверхні коливного об'єкта набуває додаткового приросту δF (фиг 4 в), величина і знак якого залежать від швидкості і напрямку руху поверхні. Вид миттєвих спектрів $S(F)$ випромінюваного і відбитого сигналів наведено на фиг 5, а. В результаті перегворення випромінюваного і відбитого сигналів в перетворювачі 7 НВЧ їхні спектри лінійно зміщуються на величину F_0 в область нульових частот (фиг 5, б). При цьому частота випромінюваного сигналу відповідає нульовій частоті, а частота відбитого сигналу - доплеровському зміщенню частоти δF , що дозволяє використовувати достатньо низькочастотні (менше 100 кГц) радіотехнічні пристрої для подальшої обробки відбитих сигналів.

З виходу перетворювача 7 НВЧ відбитий сигнал, який несе інформацію про параметри вібрації, поступає на вхід підсилювача 10 і потім - на другі входи вимірювача 11 рівня відбитого сигналу і АЦП 4 на перші входи яких подаються імпульси синхронізації з відповідно другого і третього виходів задавального генератора 8. В результаті вибірки сигналу з виходу АЦП 4 для обох станів фазового модулятора 9 $[0; \delta/2]$ мають вигляд, як показано на фиг 4 г і фиг 4 д відповідно.

Робота вимірювача 11 рівня відбитого сигналу здійснюється таким чином.

Сигнали з виходу підсилювача 10 подаються одночасно на перші входи ключів 18 і 19 (фиг 3), комутація яких по других (керуючих) входах здійснюється в протифазі за допомогою інвертора 22 так, що їхні коефіцієнти пропускання змінюються за часом, як вказано на фиг 4 е і фиг 4 ж. Внаслідок того, що переключення ключів 18 і 19 синхронізоване з роботою фазового модулятора 9 за допомогою задавального генератора 8, сигнали на виходи кожного з інтеграторів 20 і 21 відрізняються за фазою на $\pi/2$, як це вказано на фиг 4 з і фиг 4 і. Квадратори 22 і 23 здійснюють обчислення квадрата модуля сигналів з виходу інтеграторів 20 і 21, а їхня сума обчислюється за допомогою суматора 25, вихідний сигнал якого (фиг 4 к) є пропорційним повній потужності відбитого фазомодульованого сигналу.

Для контролювання рівня відбитого сигналу використовується індикатор 12, вхід якого зв'язаний з виходом вимірювача 11 рівня відбитого сигналу.

Вибірки сигналу з виходу АЦП 4 (фиг 4, д) вводяться в обчислювальний пристрій 5 безпосередньо або за допомогою накопичувача на гнучких дисках (на кресленні не показаний) з використанням стандартних пристроїв для запису даних вимірювань з виходу АЦП 4 і їх вводу в електронну пам'ять обчислювального пристрою 5.

Для обчислення параметрів вібрації - $\Delta R(t)$ використовується запропонований автором алгоритм

$$\Delta R(t) = \frac{\lambda}{4\pi} \arctg \frac{\frac{\bar{U}_2 < \bar{U}_1 > - \bar{U}_1 < \bar{U}_2 >}{\sqrt{\bar{U}_1^2 + \bar{U}_2^2}}}{\sqrt{1 - \left[\frac{\bar{U}_2 < \bar{U}_1 > - \bar{U}_1 < \bar{U}_2 >}{\sqrt{\bar{U}_1^2 + \bar{U}_2^2}} \right]^2}},$$

де λ - довжина хвилі випромінюваних коливань,

\bar{U}_1 і \bar{U}_2 - значення нормованої напруги з виходу АЦП для двох станів фазового модулятора - $[0; \pi/2]$ відповідно,

$$\bar{U}_1 = \frac{U_1}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}}, \quad \bar{U}_2 = \frac{U_2}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}},$$

U_1 і U_2 - миттєві значення напруги з виходу АЦП для двох станів фазового модулятора $-[0; \pi/2]$ відповідно,

$< \bar{U}_1 >$ і $< \bar{U}_2 >$ - середні значення нормованої напруги з виходу АЦП для двох станів фазового модулятора $-[0; \pi/2]$ відповідно,

$$< \bar{U}_1 > = \frac{1}{T} \int_0^T d\bar{U}_1(t), \quad < \bar{U}_2 > = \frac{1}{T} \int_0^T d\bar{U}_2(t),$$

T - тривалість записаної реалізації відбитих сигналів.

Таким чином, пристрій для безконтактного вимірювання параметрів механічних коливань, що заявляється, дозволяє з високим ступенем достовірності здійснювати безперервне стеження за технічним станом обладнання без порушення технологічного циклу для калібрування пристрою, і в той же самий час за допомогою обчислювального пристрою одержувати детальну інформацію про основні параметри вібрації, такі як миттєва амплітуда, статистичні та спектральні параметри механічних коливань використовуючи запропонований автором алгоритм.

Пристрій, що заявляється, зручний в користуванні, легко транспортується і не потребує додаткових витрат часу на його калібрування перед початком вимірювань.

Fig. 2

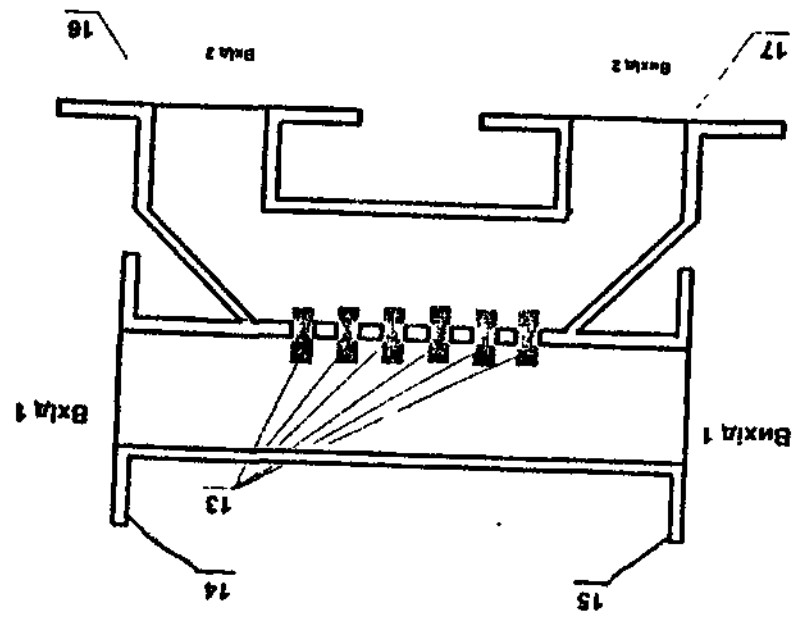
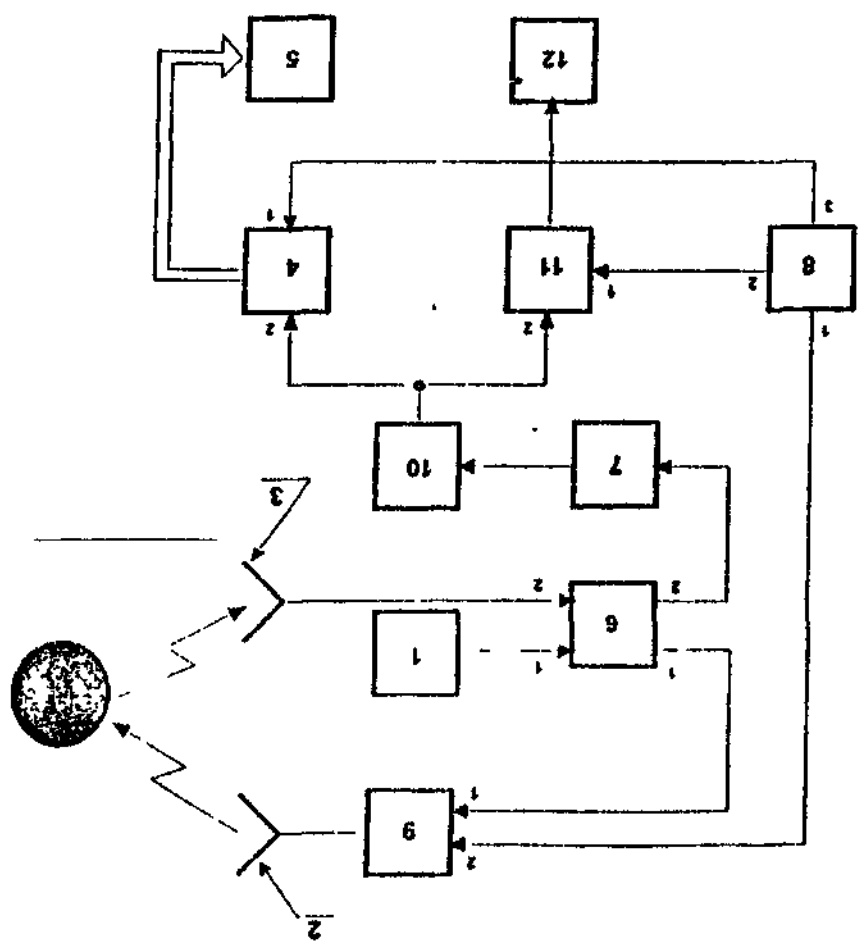
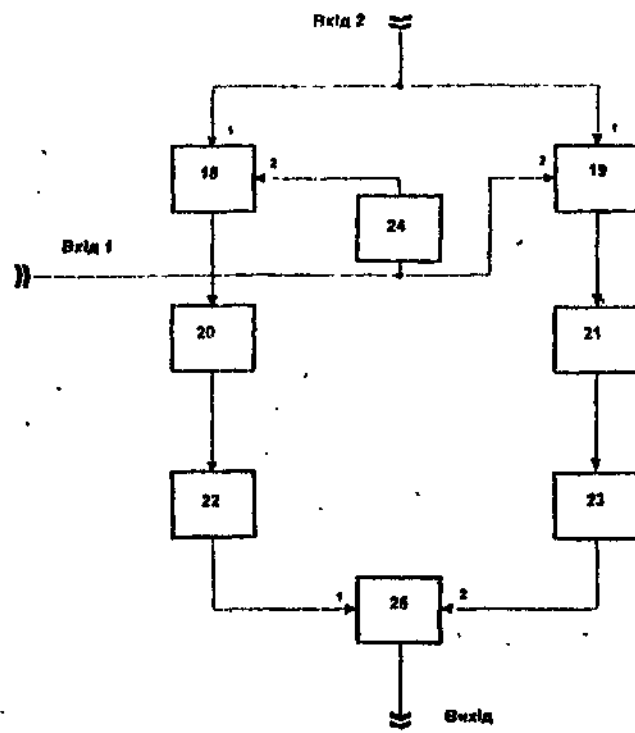


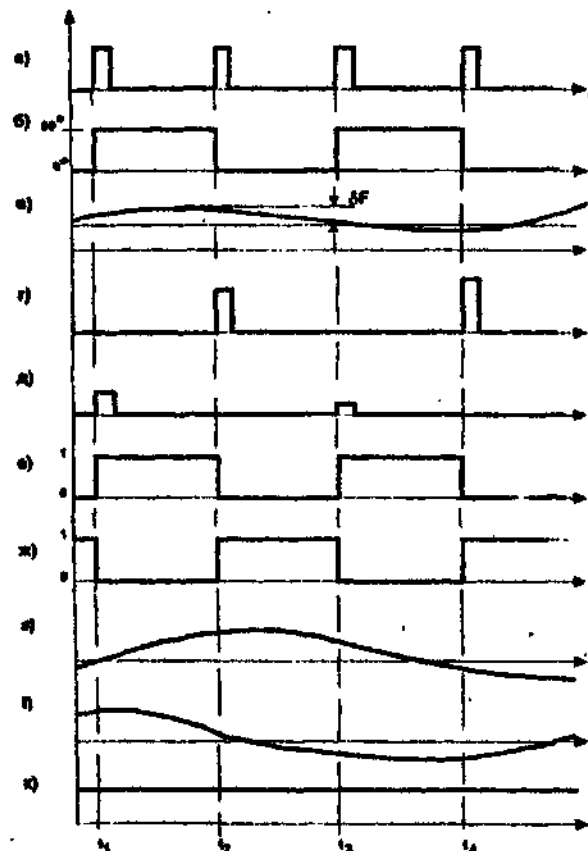
Fig. 1



35110

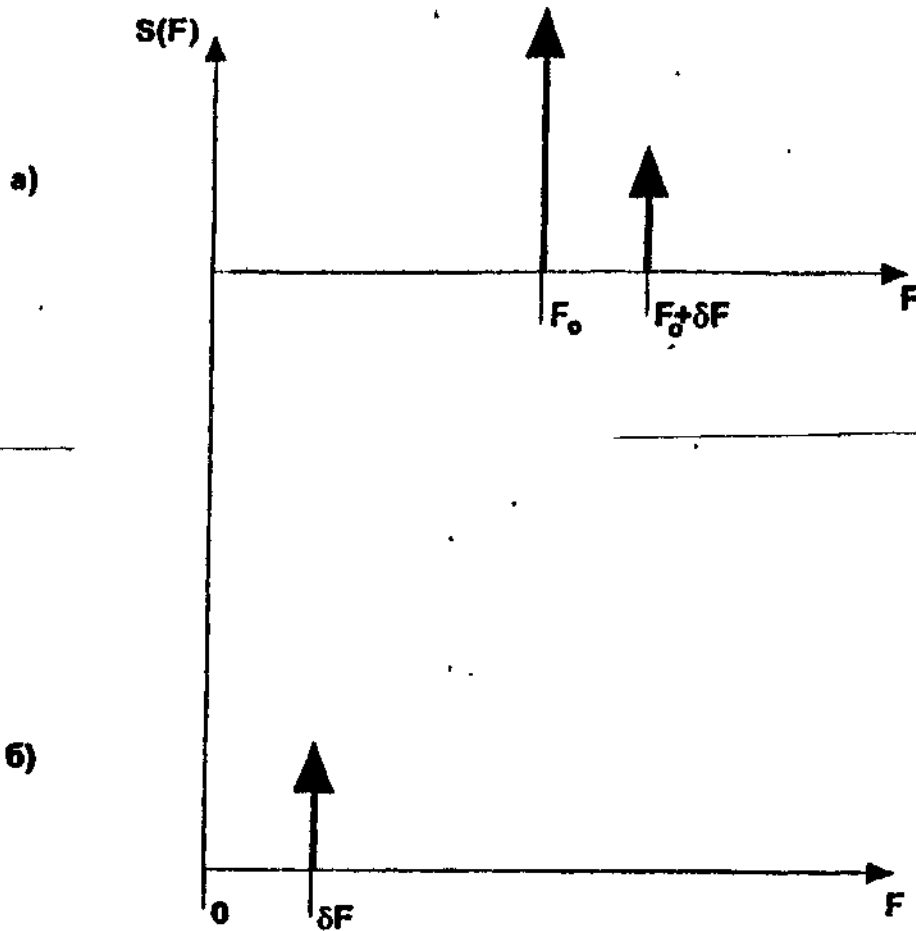


Фиг. 3



Фиг. 4

35110



Фиг. 5

Тираж 50 екз

Відкрите акціонерне товариство «Патент»

Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101

(03122) 3 - 72 - 89 (03122) 2 - 57 - 03

