

**УКРАЇНА****(19) UA****(11) 122209****(13) C2****(51) МПК****G01F 1/66** (2006.01)**G01S 15/58** (2006.01)**G01P 5/24** (2006.01)

**МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ**

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2017 00583	(72) Винахідник(и): Хіс Томас Вернер (SG), Луон Трун Дун (SG), Оль Клаус-Дітер (SG), Скріпалле Юрген Хайнц-Фрідріх (DE)
(22) Дата подання заявки: 29.07.2015	(73) Володілець (володільці): ГеВеЕф МЕСЗЮСТЕМЕ АГ, Obergrundstrasse 119, Postfach 2770, 6002 Luzern, Switzerland (CH)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 13.10.2020	(74) Представник: Михайлюк Ганна Валентинівна, реєстр. №184
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: PCT/IB2014/063502	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: WO 2013164805 A1, 07.11.2013 US 2014012518 A1, 09.01.2014 US 2012271568 A1, 25.10.2012 US 2002078737 A1, 27.06.2002 US 2011231137 A1, 22.09.2011 WO 2004102499 A1, 25.11.2004 WO 2014016159 A1, 30.01.2014
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 29.07.2014	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: IB	
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.04.2017, Бюл.№ 8	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 12.10.2020, Бюл.№ 19	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/IB2015/055724, 29.07.2015	

(54) ПОЛІПШЕНИЙ ВИТРАТОМІР НА ОСНОВІ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСУ ПРОХОДЖЕННЯ СИГНАЛУ**(57) Реферат:**

Згідно з винаходом пропонується спосіб визначення швидкості потоку рідини в трубопроводі для текучого середовища. Під час фази генерування сигналу імпульсний сигнал подають у перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач. Сигнал відгуку потім приймають на другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі. Вимірювальний сигнал потім одержують із сигналу відгуку, при цьому одержання включає звернення частини сигналу відносно часу. Під час фази вимірювання рідина рухається відносно трубопроводу для текучого середовища. Вимірювальний сигнал потім подають в один із двох вимірювальних перетворювачів, і сигнал відгуку на вимірювальний сигнал вимірюють на іншому вимірювальному перетворювачі. Швидкість потоку одержують із сигналу відгуку на вимірювальний сигнал.

UA 122209 C2

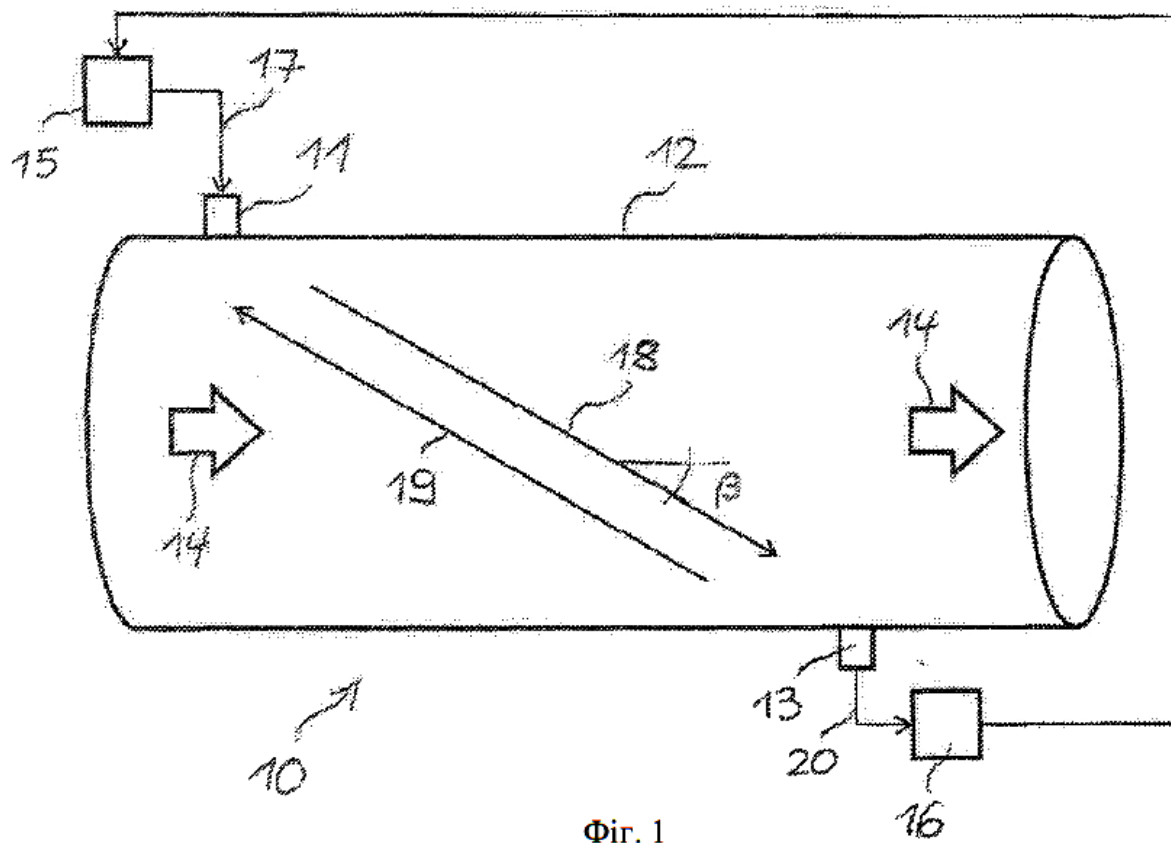


Fig. 1

Даний винахід відноситься до витратомірів і, зокрема, до ультразвукових витратомірів на основі вимірювання часу проходження сигналу.

Різні типи витратомірів у цей час використовуються для вимірювання об'ємної витрати текучого середовища, такого як рідина або газ, через трубу. Ультразвукові витратоміри являють собою або доплерівські витратоміри, у яких застосовується акустичний ефект Доплера, або витратоміри на основі вимірювання часу проходження сигналу, які іноді також називають витратомірами на основі переданих сигналів, у яких застосовується різниця за часом поширення сигналу, викликана відносним рухом джерела та середовища. Час проходження також називається часом прольоту або часом поширення.

Ультразвуковий витратомір на основі вимірювання часу проходження сигналу оцінює різницю за часом поширення ультразвукових імпульсів, що поширюються в напрямку потоку та проти нього. Ультразвукові витратоміри передбачені як вбудовані витратоміри, також відомі як заглибні витратоміри або витратоміри, які поміщають в текуче середовище, або накладні витратоміри, також відомі як незаглибні витратоміри. До інших видів витратомірів відносяться канали Вентурі, переливні пороги, радарні витратоміри, витратоміри Коріоліса, витратоміри, засновані на принципі диференціального тиску, магнітно-індуктивні витратоміри й інші типи витратомірів.

При наявності нестандартних профілів потоку або відкритих каналів, для визначення середньої швидкості потоку може бути необхідно більш одного шляху поширення. Серед іншого, процедури багатопроменевого поширення описані в гідрометричних стандартах, таких як IEC 41 або EN ISO 6416. У якості додаткового застосування ультразвукові витратоміри також використовуються для визначення профілів потоку, наприклад за допомогою акустичного доплерівського вимірювача течії (ADCP). ADCP також підходить для вимірювання швидкості та витрати води в ріках та відкритих водах.

Мета даного винаходу полягає в наданні поліпшеного витратоміра на основі вимірювання часу поширення сигналу та відповідного способу вимірювання середньої швидкості потоку або профілю потоку текучого середовища в цілому й, зокрема, для рідин, таких як вода, нафта, або для газів.

У пристрої вимірювання витрати згідно із даним винаходом звукові вимірювальні перетворювачі, наприклад, у вигляді п'єзоелектричних елементів, також відомих як п'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі, використовуються для генерування та для приймання іспитового сигналу та вимірювального сигналу.

Альтернативні звукопередавачі містять лазери, які викликають вібрацію металевої мембрани, або прості динаміки. Також можна створювати хвилі тиску іншими способами. Приймальна сторона може також бути представлена іншими засобами, які відрізняються від п'єзоелектричних вимірювальних перетворювачів, але виявляють ультразвукові хвилі.

Незважаючи на те, що термін "п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач" використовується часто в даному описі, він позначає також інші вимірювальні перетворювачі звукових хвиль, які створюють або виявляють ультразвукові хвилі.

Вимірювальний сигнал згідно із даним винаходом може бути сформований відповідним фільтром. Якщо імпульс із різким піком використовується в якості перевірного або іспитового сигналу, прийнятий сигнал на вимірювальному перетворювачі являє собою імпульсний відгук трубопроводу або каналу текучого середовища. Згідно із даним винаходом інвертована версія імпульсного відгуку відносно часу відправляється назад через той же канал як вимірювальний сигнал або у зворотному напрямку, або в тому ж напрямку. Це приводить до сигналу з піком на початковому етапі, де було початкове джерело, або до сигналу з піком як на початковому приймачі відповідно.

Перетворення відносно часу може бути забезпечене декількома способами. При використанні аналогічних засобів для запису сигналу відгуку можна відтворювати записаний сигнал відгуку в режимі зворотного перемотування. При використанні цифрових засобів для запису зразків сигналу відгуку порядок записаних дискретних значень звернений для одержання інвертованого сигналу. Цього можна досягти шляхом інвертування значень позначок часу кожного записаного дискретного значення за допомогою множення відповідного значення часу на (-1). При відтворенні згідно зі зростаючим порядком значень позначок часу записані дискретні значення відтворюють у зворотному порядку. Інакше кажучи, інвертований сигнал відгуку являє собою записаний сигнал відгуку, але відтворений у зворотному напрямку.

Ультразвуковий витратомір згідно із даним винаходом передбачає можливість фокусування шляхом використання згаданого вище інвертованого сигналу або подібним чином сформованого сигналу для ультразвукового витратоміра для утворення сигналу відгуку, який зосереджений як в просторовій, так і в часовій області. Це, у свою чергу, приводить до більш

високої амплітуди на приймальному п'єзоелектричному елементі і більш кращого співвідношення сигнал/шум.

Завдяки ультразвуковому витратоміру згідно із даним винаходом фокусування може бути отримане при досить звичайних умовах. Наприклад, властивість фокусування одержують, навіть коли тільки один ультразвуковий передавач активований і навіть коли інвертований сигнал перетвориться в сигнал, який лише грубо оцифрований у діапазоні амплітуди, при достатній роздільній здатності за часом інвертованого сигналу. Крім того, витратомір згідно із даним винаходом може використовуватися з вимірювальними перетворювачами з механічним кріпленням, які легко розміщати на трубі й для яких не потрібні модифікації труби.

У способі вимірювання витрати згідно із даним винаходом можна відрегулювати бітову роздільну здатність відносно амплітуди вимірювального сигналу. Зокрема, бітова роздільна здатність може бути відрегульована для одержання високої амплітуди сигналу відгуку.

Згідно з одним варіантом здійснення бітова роздільна здатність збільшується для збільшення амплітуди сигналу відгуку на вимірювальний сигнал. В одному варіанті здійснення бітова роздільна здатність збільшується на попередньо визначених етапах, вибирається бітова роздільна здатність, яка створює сигнал відгуку з найвищою амплітудою, та відповідне представлення вимірювального сигналу зберігається в машинопрочитуваному запам'ятовувальному пристрої.

Згідно з іншим варіантом здійснення бітова роздільна здатність знижується для збільшення амплітуди сигналу відгуку на вимірювальний сигнал. В одному варіанті здійснення бітова роздільна здатність знижується на попередньо визначених етапах, вибирається бітова роздільна здатність, яка створює сигнал відгуку з найвищою амплітудою, та відповідне представлення вимірювального сигналу зберігається в машинопрочитуваному запам'ятовувальному пристрої.

Зокрема, бітова роздільна здатність може являти собою низьку бітову роздільну здатність, таку як роздільна здатність, яка зберігається у вигляді одного числа або двох чисел, зокрема у вигляді одного або двох двійкових чисел. Згідно з іншими варіантами здійснення низька бітова роздільна здатність являє собою щонайменше 1-бітну роздільну здатність і щонайбільше 64-бітну роздільну здатність.

Згідно з додатковим варіантом здійснення перший сигнал відгуку обробляється для визначення або одержання зміни в товщині стінки трубопроводу або для визначення або встановлення характеристик матеріалу стінки трубопроводу шляхом визначення характеристик поздовжньої та поперечної звукової хвилі. Наприклад, характеристики поперечних і поздовжніх хвиль можуть бути одержані з відповідних ділянок прийнятого сигналу або сигналу відгуку, який відповідає різному часу появи акустичних хвиль.

Згідно з даним варіантом здійснення той же сигнал відгуку використовується для визначення швидкості потоку й для виявлення вищезгаданих властивостей. При цьому більше немає необхідності у використанні окремого сигналу або окремого пристрою для визначення факторів впливу, таких як забруднення й ушкодження матеріалу, хоча допускається використання окремого сигналу або окремого пристосування. Крім того, одержані властивості каналу можуть бути використані для отримання більш точної величини швидкості потоку.

В ультразвуковому витратомірі згідно із даним винаходом технічні характеристики, які забезпечують гарне з'єднання й спрямованість вимірювальних перетворювачів з механічним кріпленням, і зменшення розсіювання, можуть не бути необхідними, або, навпаки, вони можуть ще більше поліпшити фокусування. Щоб забезпечити збільшене розсіювання, може бути вибраний матеріал з'єднання, який пристосований до показника переломлення рідини, або можуть бути використані вимірювальні перетворювачі та з'єднання вимірювальних перетворювачів, які забезпечують більше хвиль зрушення.

Переважно, частота звукових хвиль, які використовуються у витратомірі згідно з винаходом, становить від >20 кГц до 2 МГц, що відповідає періоду коливань 0,5 мікросекунди (мкс), але може навіть становити до 800 МГц.

У багатьох випадках ультразвукові витратоміри працюють набагато вище порога чутності із частотами в кілька сотень кГц або вище. Частота ультразвукових витратомірів на основі вимірювання часу поширення сигналу перебуває, як правило, у кілогерцовому або мегагерцовому діапазоні.

Згідно з одним аспектом даного винаходу описується виконуваний комп'ютером спосіб визначення швидкості потоку текучого середовища в трубопроводі або каналі для текучого середовища, у якому використовують ультразвуковий витратомір на основі вимірювання часу проходження сигналу. Зокрема, спосіб може застосовуватися для труби або трубки, а також призначений для застосувань у відкритих каналах, таких як застосування у водовідвідних або

іригаційних каналах. У переважному варіанті здійснення "виконуваний комп'ютером" відноситься до виконання на електронних компонентах малого масштабу, таких як мікропроцесори, мікросхеми ASIC, FPGA тощо, які можуть використовуватися в портативних або в компактних стаціонарних пристроях цифрової обробки сигналів, які зазвичай меншого розміру, ніж робочі станції або базові комп'ютери, і які можуть бути розміщені в необхідному місці уздовж труби для

текучого середовища.

Далі терміни "канал", "трубопровід", "прохід", "труба" тощо використовуються як синоніми. Предмет винаходу може застосовуватися до всіх типів трубопроводів для текучих середовищ незалежно від їхньої відповідної форми й незалежно від того, чи є вони відкритими, або закритими, або повністю заповненими, або частково заповненими. Предмет винаходу може також застосовуватися до всіх типів текучих середовищ або газів незалежно від того, чи є вони газами або рідинами, або їх сумішшю.

Під час фази генерування вимірювального сигналу в трубопровід для текучого середовища подають текуче середовище на попередньо визначений швидкості відносно трубопроводу для текучого середовища, зокрема текуче середовище, яке по суті не рухається відносно трубопроводу для текучого середовища. Вимірювальний сигнал генерується із сигналу відгуку, який канал передачі генерує у відповідь на спочатку поданий імпульсний сигнал.

Імпульсний сигнал подається в перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, такий як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, при цьому імпульсний сигнал відноситься до сигналу, який має енергію сигналу, яка зосереджена у короткому періоді часу; зокрема, у конкретному варіанті здійснення імпульсний сигнал проходить тільки через кілька періодів коливань несучої частоти, наприклад 10-20 періодів коливань або менше. Зокрема, обвідна імпульсного сигналу може мати прямокутну форму, але також можливі й інші форми. Наприклад, імпульсний сигнал може відповідати однократному піку або одиночному імпульсу, короткому прямокутному сплеску або будь-якій іншій формі сигналу, такий як пілкоподібна форма, прямокутна хвиля, імпульс із лінійною частотною модуляцією, синусоїдальна хвиля або попередньо визначений сплеск шуму, такий як "білий" шум або "рожевий" шум, який також відомий як $1/f$ шум. Спосіб працює майже з будь-якою формою імпульсного сигналу.

Фазу генерування сигналу не потрібно повторювати для кожного вимірювання. Наприклад, її можна здійснити перед першим вимірюванням і пізніше, коли умови в трубопроводі для текучого середовища змінюються, наприклад внаслідок відкладань, корозії й теплового навантаження.

Іноді термін "фаза калібрування" використовується тоді, коли мова йде про фазу генерування вимірювального сигналу. Це не зовсім правильно. Для витратомірів звичайним є те, що витратомір розміщений на перевірочному стенді, де порівнюють виміряні значення й цільові значення для витрати. Сполучним коефіцієнтом між цими двома значеннями називають коефіцієнт калібрування, і він включає помилки апаратного забезпечення й програмного забезпечення при вимірюванні витрати, які не можуть бути визначені. Для розуміння предмета винаходу більш підходящим є встановлення різниці між фазою генерування вимірювального сигналу та фазою калібрування. Фаза генерування вимірювального сигналу передбачає вимірювальний сигнал, який, при використанні, формує відносно різкий пік у сигналі відгуку на вимірювальний сигнал, у той час як фаза калібрування передбачає витратомір, який забезпечує точний вимір витрати.

Наступні етапи способу згідно з винаходом, а саме:

- надання імпульсного сигналу в перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач розташований на трубопроводі для текучого середовища в першому місці,

- надання сигналу відгуку на імпульсний сигнал в другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач розташований на трубопроводі для текучого середовища в другому місці,

- одержання вимірювального сигналу із сигналу відгуку, при цьому одержання вимірювального сигналу включає вибір частини сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, і звернення частини сигналу відносно часу,

можуть бути виконані шляхом застосування й вимірювання реальних фактичних сигналів для реального трубопроводу. Звідси впливає те, що етапи надання сигналу відгуку на імпульсний сигнал на другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі й одержання вимірювального сигналу можуть бути виконані шляхом чисельного або аналогового моделювання, оскільки імпульсний сигнал наданий у якості цифрового або аналогового сигналу. З цією метою може використовуватися програмне забезпечення для аналізу методом кінцевих елементів.

П'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі розташовані на трубопроводі для текучого середовища. Зокрема, вони можуть бути розташовані, будучи відповідно встановленими, на трубопроводі для текучого середовища. Перший п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач розташований, будучи відповідно встановленим, по периметру трубопроводу для текучого середовища в першому місці. В одному конкретному варіанті здійснення він закріплений по периметру трубопроводу для текучого середовища. Сигнал відгуку на імпульсний сигнал приймається на другому п'єзоелектричному вимірювальному перетворювачі.

Другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач, такий як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, розташований, будучи відповідно встановленим, на трубопроводі для текучого середовища в другому місці, яке зміщене в поздовжньому напрямку трубопроводу для текучого середовища відносно першого місця й уздовж поперечного перерізу, який проходить через центр осі трубопроводу, при цьому поздовжній напрямком відповідає напрямку середнього потоку через канал. Трубопровід для текучого середовища може бути повністю заповнений текучим середовищем, якщо немає необхідності у відбитті поверхні текучого середовища й інших ефектах.

Вимірювальний сигнал одержують із сигналу відгуку, який являє собою відповідь каналу передачі на початковий імпульсний сигнал, за допомогою аналогового засобу або також у цифровій формі. Одержання вимірювального сигналу включає вибір частини сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, і звернення частини сигналу відносно часу, і воно може включати етап збереження вимірювального сигналу, наприклад у його о цифрованій формі, у машинопрочитуваному запам'ятовувальному пристрої для подальшого використання. При цьому можливі різні послідовності етапів способу. Наприклад, сигнал може бути інвертований відносно часу після його збереження.

Під час фази вимірювання, у якій текуче середовище рухається відносно трубопроводу для текучого середовища згідно із зовнішніми умовами, таким як тиск, сила тяжіння, нахил труби тощо, вимірювальний сигнал подається в один з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів, таких як п'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі. Більш конкретно, електричний сигнал, який може бути одержаний зі збереженого вимірювального сигналу, може подаватися у вимірювальний перетворювач.

Перший сигнал відгуку на вимірювальний сигнал вимірюється на іншому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі, такому як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, швидкість потоку текучого середовища одержують із щонайменше першого сигналу відгуку. Зокрема, це включає вимірювання часу прольоту вниз за потоком або вверх за потоком. Величина швидкості може бути отримана шляхом порівняння вимірюного часу прольоту із часом прольоту при калібруванні, беручи до уваги швидкість звуку при поточних умовах, наприклад, шляхом вимірювання температури текучого середовища. На подальших етапах об'ємна витрата або масова витрата може бути одержана зі швидкості потоку або із профілю швидкості потоку.

Для одержання більш точної величини вимірювання можуть проводитися в обох напрямках, з першого в другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач, такий як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, і у зворотному напрямку. Зокрема, це дозволяє виключити швидкість звуку при вимірюванні часу прольоту, або це може забезпечити достовірну величину поточної швидкості звуку.

Вимірювання витрати згідно із даним винаходом може використовуватися в пристроях тільки із двома вимірювальними перетворювачами, а також у пристроях з множиною вимірювальних перетворювачів, таких як пристрої за фіг. 43 і 44 або пристрій за фіг. 4 і 5. Зокрема, вимірювання витрати може бути виконане за допомогою пари вимірювальних перетворювачів пристрою з множиною вимірювальних перетворювачів, які розташовані напроти один одного. Пара вимірювальних перетворювачів може бути розташована в площині, яка проходить через центральну вісь трубопроводу, як показано на фіг. 43, або вони можуть бути розташовані в площині, яка зміщена відносно центральної осі трубопроводу, як показано на фіг. 44. Пристрій за фіг. 44 може використовуватися для визначення швидкості текучого середовища в шарі текучого середовища на попередньо визначеній відстані до центральної осі.

Відповідно, етапи подачі вимірювального сигналу та вимірювання сигналу відгуку повторюються у зворотному напрямку. Інакше кажучи, первинний приймач використовується як відправник, а первинний відправник використовується як приймач, і сигнал відправляється від відповідного іншого ультразвукового вимірювального перетворювача, такого як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, до відповідного першого із двох вимірювальних перетворювачів для того, щоб одержати другий сигнал відгуку. Швидкість потоку текучого середовища одержують із першого сигналу відгуку та другого сигналу відгуку. Зокрема, одержання включає одержання часу прольоту вниз за потоком та вверх за потоком.

Незважаючи на те, що можна відправляти вимірювальний сигнал від одного ультразвукового вимірювального перетворювача, такого як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, до іншого ультразвукового вимірювального перетворювача, такого як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, також переважним є виконання цього в

5 прямому та зворотному напрямках, коли вимірювання швидкості або витрати завершено.

Інакше кажучи, процедура може бути виконана наступним чином.

Прямий напрямок:

- відправлення імпульсного сигналу від першого ультразвукового вимірювального перетворювача до другого ультразвукового вимірювального перетворювача,

10 - приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал на другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі,

- інвертування прийнятого сигналу відгуку на другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі відносно часу з отриманням при цьому вимірювального сигналу,

- відправлення вимірювального сигналу від першого ультразвукового вимірювального перетворювача до другого ультразвукового вимірювального перетворювача,

15 - приймання сигналу відгуку на вимірювальний сигнал на другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі.

Зворотний напрямок:

20 - відправлення імпульсного сигналу від другого ультразвукового вимірювального перетворювача до першого ультразвукового вимірювального перетворювача, такого як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач,

- приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал на першому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі,

25 - інвертування прийнятого сигналу відгуку на імпульсний сигнал від першого ультразвукового вимірювального перетворювача відносно часу з отриманням при цьому вимірювального сигналу,

- відправлення вимірювального сигналу від другого ультразвукового вимірювального перетворювача до першого ультразвукового вимірювального перетворювача,

30 - приймання сигналу відгуку на вимірювальний сигнал на першому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі,

- вимірювання різниці за часом між прийнятими сигналами відгуку на другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі та першому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі. Дана різниця за часом пропорційна швидкості потоку між двома ультразвуковими вимірювальними перетворювачами, такими як п'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі.

35 Слід зазначити, що вимірювальний сигнал для прямого напрямку може відрізнитися від вимірювального сигналу для зворотного напрямку. Вимірювальний сигнал зазвичай має індивідуальну форму для кожного напрямку поширення, однак для простих конфігурацій можуть використовуватися однакові вимірювальні сигнали.

40 За всією заявкою часто використовується термін "комп'ютер". Хоча до комп'ютера відносяться пристрої, такі як переносний або настільний комп'ютер, передача й приймання сигналу можуть також бути виконані мікроконтролерами, ASIC, FPGA тощо.

Крім того, транзитна сполучна лінія між вимірювальними перетворювачами може бути геометрично зміщена відносно центру трубопроводу для текучого середовища для того, щоб одержати швидкість потоку в попередньо визначеному шарі, і може передбачатися більш однієї пари вимірювальних перетворювачів. Крім того, вимірювальний сигнал може бути забезпечений більш ніж одним вимірювальним перетворювачем, та/або сигнал відгуку на вимірювальний сигнал може бути виміряний більш ніж одним вимірювальним перетворювачем.

50 Згідно із простим варіантом здійснення середній вимірювальний сигнал генерується лінійною суперпозицією сигналів відгуку з множини приймальних вимірювальних перетворювачів, і вищезгадані етапи обробки сигналу виконуються відносно середнього сигналу відгуку для одержання вимірювального сигналу.

Згідно із ще одним варіантом здійснення існує рівна кількість, наприклад N, відправних та приймальних вимірювальних перетворювачів, при цьому відносні розміщення відправних вимірювальних перетворювачів дорівнюють відносним розміщенням приймальних вимірювальних перетворювачів. N прийнятих сигналів відгуку потім обробляються окремо згідно з вищезгаданими етапами обробки сигналу для одержання N окремих вимірювальних сигналів.

60 Ці N вимірювальних перетворювачів, як правило, виконані, наприклад, у вигляді вимірювальних перетворювачів з механічним кріпленням, вимірювальних перетворювачів, що вставляються, або встановлюваних усередині. Як приклад, на фіг. 43 показаний пристрій з 8

вимірювальними перетворювачами з механічним кріпленням, а на фіг. 44 показаний пристрій з 8 вимірювальними перетворювачами, що вставляються. 8 вимірювальних перетворювачів за фіг. 43 розташовані в чотирьох відповідних площинах, які проходять через центр осі трубопроводу.

8 вимірювальних перетворювачів, що вставляються, за фіг. 44 розташовані в чотирьох паралельних площинах.

Сполучні лінії між вимірювальними перетворювачами показують робочий режим вимірювальних перетворювачів. У робочому режимі за фіг. 43 сигнали відправляються від першого вимірювального перетворювача до другого вимірювального перетворювача, який є протилежним першому вимірювальному перетворювачу відносно центральної точки центральної осі водопроводу.

У робочому режимі за фіг. 44 сигнали відправляються від першого вимірювального перетворювача до другого вимірювального перетворювача відносно центральної точки, яка розташована в центрі відповідного прямокутного пристрою й в одній із чотирьох паралельних площин.

Згідно з одним варіантом здійснення частина сигналу відгуку, яку використовують для одержання вимірювального сигналу, містить першу частину поблизу максимальної амплітуди сигналу відгуку й кінцеву частину сигналу, при цьому кінцева частина сигналу проходить у часі після часу досягнення максимальної амплітуди. Кінцева частина забезпечує сигнали з додаткових відбиттів крім сигналів поблизу прямого сигналу й може сприяти кращому фокусуванню.

Для того, щоб одержати поліпшений згенерований вимірювальний сигнал, етапи подачі імпульсного сигналу та приймання відповідного сигналу відгуку можуть виконуватися не тільки один раз, але вони можуть повторюватися кілька раз, щонайменше два рази. При цьому одержують множину сигналів відгуку. Потім одержують вимірювальний сигнал із середнього значення прийнятих сигналів відгуку.

В одному варіанті здійснення вимірювання повторюються кілька раз, але із проходженням ультразвукового сигналу тільки в одному напрямку. В іншому варіанті здійснення вимірювання повторюються кілька раз із проходженням ультразвукового сигналу в обох напрямках. Ще в одному варіанті здійснення вимірювання повторюються кілька раз в обох напрямках, і окремі середні значення одержують для обох напрямків.

Згідно з додатковим варіантом здійснення одержання вимірювального сигналу з одного або більше прийнятих сигналів відгуку включає визначення обвідної сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього. Передбачений коливальний сигнал, модульований за амплітудою, який модулюється за амплітудою відповідно до обвідної. Використовуючи обвідну замість дискретних значень, або на додаток до них, можна забезпечити переваги відносно об'єму запам'ятовувального пристрою та швидкості обчислення.

Зокрема, амплітуда модуляції може мати форму визначеної обвідної для вимірювального сигналу або для його частини. Частота коливань генератора несучої становить щонайменше 20 кГц. Згідно з додатковими варіантами здійснення частота становить щонайменше 100 кГц, щонайменше 500 кГц або щонайменше 1 МГц. Вибір частоти впливає на процес розсіювання, і більш висока частота може забезпечити дискретизацію стінки трубопроводу з меншим кроком, що, у свою чергу, забезпечує більш точну форму ультразвукового сигналу.

Згідно з додатковими варіантами здійснення сигнал відгуку або сигнал, одержаний з нього, оцифровується відносно амплітуди й, зокрема, з роздільною здатністю від 1 до 8 біт. Завдяки даному винаходу зрозуміло, що навіть неповне оцифровування відносно амплітуди може привести до достатнього фокусування ультразвукового сигналу. Завдяки низькій роздільній здатності зберігається час обчислення та об'єм запам'ятовувального пристрою, у той час як більш висока роздільна здатність не обов'язково забезпечує більш точний результат вимірювання витрати текучого середовища через трубопровід. Звідси також впливає те, що збільшення або зниження роздільної здатності сигналу відгуку або вимірювального сигналу може допомогти поліпшити відношення сигнал/шум і точність вимірювання часу. Зменшення роздільної здатності приводить до більш різкого й більш характерного піка у відповідь на вимірювальний сигнал. Це значить, що при високому відношенні сигнал/шум можна знизити роздільну здатність вимірювального сигналу або сигналу відгуку на вимірювальний сигнал замість збільшення потужності передачі вимірювального сигналу.

Згідно з додатковим аспектом даного винаходу в деяких способах для визначення швидкості потоку текучого середовища в трубопроводі або трубі для текучого середовища може використовуватися вимірювальний сигнал, модульований за амплітудою, або сигнал відгуку, модульований за амплітудою, ультразвукового витратоміра на основі вимірювання часу

проходження сигналу. У даному способі необов'язково застосовується етап з фазою генерування сигналу, хоча може застосовуватися однократний етап з фазою генерування сигналу для одержання вимірювального сигналу. Наприклад, спосіб може ґрунтуватися на попередньо згенерованому вимірювальному сигналі на території заводу, при цьому вимірювальний сигнал згенерований у якості прийнятого сигналу, інвертованого відносно часу, одного ультразвукового вимірювального перетворювача, такого як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, який прийняв ряд коливань, відправлених іншим ультразвуковим вимірювальним перетворювачем, таким як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач.

На першому етапі трубопровід для текучого середовища забезпечений текучим середовищем, яке рухається відносно трубопроводу для текучого середовища згідно із зовнішніми умовами, такими як тиск, сила тяжіння, нахил труби тощо.

Перший п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач передбачений у першому місці трубопроводу для текучого середовища. Другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач, такий як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, передбачений у другому місці трубопроводу для текучого середовища. Друге місце зміщене в поздовжньому напрямку трубопроводу для текучого середовища відносно першого місця, при цьому поздовжній напрямком відповідає напрямку потоку текучого середовища в каналі для текучого середовища.

Вимірювальний сигнал надається й подається до першого або до другого ультразвукового вимірювального перетворювача, такого як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач. Більш конкретно, електричний сигнал, одержаний із сигналу, модульованого за амплітудою, може бути відправлений у вимірювальний перетворювач.

Перший сигнал відгуку на вимірювальний сигнал вимірюється на іншому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі, такому як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, і швидкість потоку текучого середовища одержують із першого сигналу відгуку. Зокрема, це включає одержання часу прольоту вниз за потоком або вверх за потоком.

Подібно вищезгаданому способу більш висока точність може бути досягнута за допомогою повторення вимірювання у зворотному напрямку для одержання часу прольоту вниз за потоком або вверх за потоком. Як показано на фіг. 43 і 44, N пар вимірювальних перетворювачів можуть бути задіяні, наприклад, для одержання більш точної величини середнього потоку або для одержання величини витрати в площині на попередньо заданій відстані від центральної осі трубопроводу для рідини.

Зокрема, етапи подачі вимірювального сигналу та вимірювання сигналу відгуку повторюються у зворотному напрямку для одержання другого сигналу відгуку, і швидкість потоку текучого середовища одержують із першого сигналу відгуку та другого сигналу відгуку, при цьому одержання включає одержання часу прольоту вниз за потоком і вверх за потоком.

Дані етапи дуже подібні до етапів способу, описаного вище, з різницею в тому, що вимірювання здійснюються без регулювання пристрою перед кожним вимірюванням.

Наступні ознаки застосовні до обох способів з фазою генерування сигналу або без неї перед кожним вимірюванням.

Згідно з додатковим варіантом здійснення амплітуда вимірювального сигналу або амплітуда сигналу відгуку може збільшуватися до максимальної амплітуди за допомогою попередньо визначеної кількості коливань, наприклад п'яти або більше періодів коливань сигналу несучої. Коли амплітуда збільшується через період часу, дія інерційних сил часу реагування ультразвукових вимірювальних перетворювачів, таких як п'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі, на вимірювання може бути зменшена.

В одному конкретному варіанті здійснення вимірювальний сигнал або сигнал відгуку збільшується експоненційно до максимальної амплітуди через щонайменше п'ять періодів коливань сигналу несучої.

Згідно з додатковим варіантом здійснення вимірювальний сигнал містить передню частину, при цьому передня частина проходить у часі через ряд напівширин максимуму вимірювального сигналу, і передня частина передує щонайменше одній ділянці напівширини максимуму сигналу в часі.

Згідно із ще одним варіантом здійснення вимірювальний сигнал містить передню частину. Передня частина одержана з кінцевої частини прийнятого сигналу, яка іде за максимумом прийнятого сигналу відносно часу.

Передня частина проходить щонайменше тричі через напівширину навколо максимуму прийнятого сигналу.

Згідно з додатковими варіантами здійснення передня частина містить щонайменше 10 % або щонайменше 50 % енергії вимірювального сигналу.

Енергія E сигналу $s(t)$ в інтервалі часу може бути визначена на підставі виразу $E = \int_{T_1}^{T_2} dt |s(t)|^2$
або його дискретної версії $E = \sum_{i=-m}^n \frac{n}{i} |s(i)|^2$, при цьому інтервал часу задається $[T_1, T_2]$ або $[-m \cdot \Delta t, n \cdot \Delta t]$, відповідно.

Передня частина вимірювального сигналу може значно впливати на створення сигналу, який досягає піка в просторі та часу.

У деяких варіантах здійснення вимірювальний сигнал або сигнал відгуку може бути забезпечений коливальним сигналом, модульованим за амплітудою, який оцифрований відносно амплітуди, наприклад, з роздільною здатністю від 1 до 8 біт. Це може надати переваги щодо швидкості обчислення й об'єму запам'ятовувального пристрою та може навіть привести до збільшеного піка сигналу.

Згідно з додатковим варіантом здійснення вимірювальний сигнал, який подається у вимірювальний перетворювач, може містити коливальний сигнал, який модульований згідно 0-1 модуляції, або забезпечуючи попередньо визначену амплітуду, або не забезпечуючи ніякої амплітуди, або, інакше кажучи, забезпечуючи нульову амплітуду.

Зокрема, вимірювальний сигнал, модульований за амплітудою, може бути одержаний з вимірюваного сигналу відгуку згідно з фазою генерування сигналу, при якій трубопровід для текучого середовища забезпечений текучим середовищем, яке має попередньо визначену швидкість або по суті не рухається відносно трубопроводу для текучого середовища.

Імпульсний сигнал подається в перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, такий як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, і сигнал відгуку на імпульсний сигнал приймається на другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі, такому як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач.

Вимірювальний сигнал одержують із сигналу відгуку. Одержання вимірювального сигналу включає вибір частини сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, і звернення частини сигналу відносно часу, і оцифрований вимірювальний сигнал може бути збережений у машинопрочитуваному запам'ятовувальному пристрої для подальшого використання.

В одному конкретному варіанті здійснення амплітуда обвідної вимірювального сигналу або сигналу відгуку може збільшуватися щонайменше на один порядок величин від передньої частини вимірювального сигналу до максимальної амплітуди. Основна частина сигналу передусь максимуму сигналу за часом. Інакше кажучи, вона відправляється раніше. Згідно з додатковими варіантами здійснення амплітуда збільшується щонайменше на два або навіть щонайменше на три порядки величин.

Згідно з додатковим аспектом розкривається пристрій для вимірювання швидкості потоку в ультразвуковому витратомірі на основі вимірювання часу проходження сигналу.

Пристрій містить перший з'єднувач для з'єднання першого п'єзоелектричного елемента, другий з'єднувач для з'єднання другого п'єзоелектричного елемента, факультативний цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), який з'єднаний з першим з'єднувачем, і факультативний аналого-цифровий перетворювач (АЦП), який з'єднаний із другим з'єднувачем.

Крім того, пристрій містить машинопрочитуваний запам'ятовувальний пристрій, електронний таймер або генератор коливальних, передавальний блок для відправлення імпульсного сигналу в перший з'єднувач, приймальний блок для приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал від другого з'єднувача.

Більше того, пристрій містить засіб для генерування вимірювального сигналу із прийнятого сигналу відгуку, такий як блок вибору для вибору частини прийнятого сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, і блок інвертування для інвертування вибраної частини сигналу відгуку відносно часу для отримання інвертованого сигналу. Факультативно, смуговий фільтр може бути передбачений для видалення небажаних компонентів сигналу. Крім того, блок обробки передбачений для одержання вимірювального сигналу із щонайменше інвертованого сигналу та для збереження вимірювального сигналу в машинопрочитуваному запам'ятовувальному пристрої.

Крім того, пристрій містить засіб для вимірювання швидкості потоку. На стороні відправлення передбачені генератор вимірювальних сигналів, виконаний з можливістю з'єднання з першим з'єднувачем або із другим з'єднувачем, а також засоби передачі, такі як ЦАП и з'єднувачі, для відправлення вимірювального сигналу в перший з'єднувач. На приймальній стороні передбачені приймальний блок для приймання сигналу відгуку на вимірювальний сигнал від другого з'єднувача та блок обробки швидкості для одержання швидкості потоку із прийнятого сигналу відгуку. Терміни "потоків швидкість", "швидкість потоку" і "швидкість руху потоку" використовуються в якості синонімів у даній заявці.

Оскільки пристрій може бути передбачений у вигляді аналогового пристрою без аналого-цифрового й цифро-аналогового перетворювача та без блоку машинопрочитаного запам'ятовувального пристрою, також можна забезпечити пристрій або його частини цифровою обчислювальною системою.

Зокрема, різні блоки обробки сигналу, такі як блок обробки швидкості, блок вибору й блок інвертування, можуть бути надані повністю або окремо зі спеціалізованим електронним компонентом або програмною пам'яттю з набором машинопрочитаних команд. Подібним чином, генератор вимірювальних сигналів і генератор імпульсного сигналу передавального блоку можуть бути передбачені повністю або окремо зі спеціалізованим електронним компонентом, який може містити набір машинопрочитаних команд.

Згідно з додатковим варіантом здійснення пристрій містить прямий цифровий синтезатор сигналів (DDS), який містить вищезгаданий АЦП. DDS містить регістр керування частотою, опорний генератор, генератор із числовим програмним керуванням та відновлювальний фільтр нижніх частот. Крім того, АЦП виконаний з можливістю з'єднання з першим й з другим з'єднувачем через відновлювальний фільтр нижніх частот.

Серед іншого, цифровий синтезатор сигналів може бути виконаний з можливістю синтезування сигналу, такого як вимірювальний сигнал, шляхом використання попередньо визначеного алгоритму або попередньо визначених значень, які збережені в запам'ятовувальному блоці за допомогою машинопрочитаного запам'ятовувального пристрою. Наприклад, сигнал може генеруватися за допомогою прямого генерування сигналу або за допомогою DDS (прямого цифрового синтезу).

Крім того, згідно із даним винаходом розкритий пристрій вимірювання витрати з першим п'єзоелектричним вимірювальним перетворювачем, який з'єднаний з першим з'єднувачем, й з другим ультразвуковим вимірювальним перетворювачем, таким як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, який з'єднаний із другим з'єднувачем. Зокрема, ультразвукові вимірювальні перетворювачі, такі як п'єзоелектричні вимірювальні перетворювачі, можуть бути забезпечені засобами для кріплення, такими як затискний механізм, для прикріплення їх до труби.

Крім того, згідно із даним винаходом розкривається пристрій вимірювання витрати із частиною труби. Перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, такий як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, установлений на частині труби в першому місці, а другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач, такий як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, установлений на частині труби в другому місці. Зокрема, вимірювальні перетворювачі можуть бути зафіксовані на частині труби. Забезпечення пристрою частиною труби може надати переваги, коли пристрій попередньо калібрують відносно частини труби.

Пристрій може бути виконаний компактним і портативним. Портативний пристрій згідно із даним винаходом, який обладнаний вимірювальним перетворювачами, виконаними з можливістю установки на поверхні, такими як вимірювальні перетворювачі з механічним кріпленням, може використовуватися для перевірки труби на будь-якому доступному місці. У цілому, пристрій може бути нерухливим або портативним. Переважно, пристрій є досить компактним для розміщення в необхідному місці й досить захищеним від навколишніх умов, таких як вологість, тепло й корозійні речовини.

Більше того, згідно із даним винаходом розкривається машинопрочитаний код для виконання способу вимірювання витрати згідно із даним винаходом, при цьому машинопрочитаний запам'ятовувальний пристрій містить машинопрочитаний код і спеціалізований електронний компонент, який виконаний з можливістю виконання етапів способу згідно із даним винаходом.

Зокрема, спеціалізований електронний компонент може бути забезпечений електронним компонентом, що містить вищезгаданий машинопрочитаний запам'ятовувальний пристрій, такий як EPROM, EEPROM, флеш-пам'ять тощо. Згідно з іншими варіантами здійснення спеціалізований електронний компонент забезпечений компонентом з апаратно-реалізованою схемою або із схемою зі змінною конфігурацією, такою як спеціалізована інтегральна схема (ASIC) або програмована користувачем вентиля матриця (FPGA).

У додатковому варіанті здійснення спеціалізований електронний компонент згідно із даним винаходом забезпечений множиною взаємно з'єднаних електронних компонентів, наприклад FPGA, яка з'єднана з додатним чином запрограмованим EPROM у багатоканальному пристрої. Додатковими прикладами спеціалізованого електронного компонента є програмовані інтегральні схеми, такі як програмовані логічні матриці (PLA) і складні програмовані логічні пристрої (CPLD).

Доцільно визначити, чи вимірює доступний іспитовий пристрій швидкість потоку текучого середовища в трубопроводі для текучого середовища згідно із даним винаходом. Для цієї мети трубопровід для текучого середовища забезпечують текучим середовищем, яке має попередньо визначену швидкість відносно трубопроводу для текучого середовища. Іспитовий імпульсний сигнал подається в перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, такий як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач іспитового пристрою, при цьому перший п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач установлений на трубопроводі для текучого середовища в першому місці, після чого приймається іспитовий сигнал відгуку на іспитовий імпульсний сигнал на другому п'єзоелектричному вимірювальному перетворювачі іспитового пристрою, при цьому другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач, такий як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, установлений на трубопроводі для текучого середовища в другому місці.

Іспитовий вимірювальний сигнал потім одержують із сигналу відгуку, при цьому одержання іспитового вимірювального сигналу включає звернення сигналу відносно часу, після чого відбувається порівняння іспитового вимірювального сигналу з вимірювальним сигналом, який випускає інший з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів, таких як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач. Вимірювальний сигнал являє собою сигнал, який подається іспитовим пристроєм, що поставляється виробником, заснований на однократному згенерованому на заводі вимірювальному сигналі після виготовлення іспитового пристрою, часто встановленого на ділянці трубки.

У випадку, коли в іспитовому пристрої застосовують спосіб визначення швидкості потоку текучого середовища в трубопроводі для текучого середовища згідно з винаходом, іспитовий вимірювальний сигнал і вимірювальний сигнал подібні. Інакше кажучи, зворотне проектування предмета винаходу здійснюється за допомогою вибору іспитового сигналу та повторення фази генерування сигналу згідно з винаходом доти, доки іспитовий вимірювальний сигнал і вимірювальний сигнал не будуть подібні. Термін "подібний" означає, що існує значний взаємозв'язок між іспитовим вимірювальним сигналом і вимірювальним сигналом.

Спосіб може також включати вибір частини іспитового сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, і збереження іспитового вимірювального сигналу для подальшого використання.

Відповідно, пристрій для вимірювання швидкості потоку в ультразвуковому витратомірі на основі вимірювання часу проходження сигналу, як визначено функціональними ознаками, містить перший з'єднувач для першого п'єзоелектричного елемента, другий з'єднувач для другого п'єзоелектричного елемента, передавальний блок для відправлення імпульсного сигналу в перший з'єднувач, приймальний блок для приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал від другого з'єднувача, блок інвертування для інвертування сигналу відгуку відносно часу для одержання інвертованого сигналу, блок обробки для одержання вимірювального сигналу з інвертованого сигналу. При використанні пристрою для визначення швидкості потоку текучого середовища в трубопроводі для текучого середовища трубопровід для текучого середовища забезпечують текучим середовищем, яке має швидкість відносно трубопроводу для текучого середовища.

Після цього відбувається подача вимірювального сигналу на один з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів, таких як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, і вимірювання першого сигналу відгуку на вимірювальний сигнал на іншому з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів, такому як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач. Потім можна одержати швидкість потоку текучого середовища з першого сигналу відгуку. При зворотному проектуванні пристрою виявляється, що при подачі іспитового імпульсного сигналу на перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, такий як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач іспитового пристрою, виконується приймання іспитового сигналу відгуку на іспитовий імпульсний сигнал на другому п'єзоелектричному вимірювальному перетворювачі іспитового пристрою, а на другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі, такому як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, установлений на трубопроводі для текучого середовища в другому місці, виконується одержання іспитового вимірювального сигналу із сигналу відгуку, при цьому одержання іспитового вимірювального сигналу включає звернення сигналу відносно часу, при цьому іспитовий вимірювальний сигнал і вимірювальний сигнал, який випускається на першому або другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі, такому як п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач, подібні. Даний функціональний опис допомагає охарактеризувати пристрій згідно з винаходом без опису структури й форми сигналів, що випускаються.

Ясно, що пристрій може містити цифро-аналоговий перетворювач, при цьому цифро-аналоговий перетворювач з'єднаний з першим з'єднувачем, аналого-цифровий перетворювач, при цьому аналого-цифровий перетворювач з'єднаний із другим з'єднувачем, і машинопрочитуваний запам'ятовувальний пристрій. Воно може додатково містити блок вибору для вибору частини прийнятого сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, при цьому визначення величин, описаних вище, виконується з використанням вибраної частини прийнятого сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього.

Предмет даного винаходу далі пояснюється більш докладно з посиланням на наступні фігури, на яких:

на фіг. 1 показаний перший пристрій у вигляді витратоміра із двома п'єзоелектричними елементами;

на фіг. 2 показаний пристрій у вигляді витратоміра за фіг. 1 з одним прямим сигналом;

на фіг. 3 показаний пристрій у вигляді витратоміра за фіг. 1, якщо дивитися в напрямку потоку;

на фіг. 4 показаний другий пристрій у вигляді витратоміра із чотирма п'єзоелектричними елементами та чотирма прямими сигналами;

на фіг. 5 показаний пристрій у вигляді витратоміра за фіг. 4, якщо дивитися в напрямку потоку;

на фіг. 6 показане схематичне представлення іспитового сигналу;

на фіг. 7 показане схематичне представлення відгуку іспитового сигналу;

на фіг. 8 показане схематичне представлення інвертованого сигналу; на фіг. 9 показана схематичне представлення відгуку від інвертованого сигналу;

на фіг. 10 показаний перший інвертований сигнал у високій роздільній здатності;

на фіг. 11 показаний відгук інвертованого сигналу за фіг. 10;

на фіг. 12 показаний ще один інвертований сигнал у високій роздільній здатності;

на фіг. 13 показаний відгук інвертованого сигналу за фіг. 12;

на фіг. 14 показаний ще один інвертований сигнал у високій роздільній здатності;

на фіг. 15 показаний відгук інвертованого сигналу за фіг. 14;

на фіг. 16 показаний ще один інвертований сигнал у високій роздільній здатності;

на фіг. 17 показаний відгук інвертованого сигналу за фіг. 16;

на фіг. 18 показаний ще один інвертований сигнал у високій роздільній здатності;

на фіг. 19 показаний відгук інвертованого сигналу за фіг. 18;

на фіг. 20 показаний ще один інвертований сигнал у високій роздільній здатності;

на фіг. 21 показаний відгук інвертованого сигналу за фіг. 20;

на фіг. 22 показаний ще один інвертований сигнал у високій роздільній здатності;

на фіг. 23 показаний відгук інвертованого сигналу за фіг. 22;

на фіг. 24 показаний ще один інвертований сигнал у високій роздільній здатності;

на фіг. 25 показаний відгук інвертованого сигналу за фіг. 24;

на фіг. 26 показаний ще один інвертований сигнал у високій роздільній здатності;

на фіг. 27 показаний відгук інвертованого сигналу за фіг. 26;

на фіг. 28 показаний ще один інвертований сигнал в 12-бітній роздільній здатності;

на фіг. 29 показаний відгук сигналу за фіг. 28;

на фіг. 30 показаний ще один інвертований сигнал в 3-бітній роздільній здатності;

на фіг. 31 показаний відгук сигналу за фіг. 30;

на фіг. 32 показаний ще один інвертований сигнал в 2-бітній роздільній здатності;

на фіг. 33 показаний відгук сигналу за фіг. 32;

на фіг. 34 показаний ще один інвертований сигнал в 1-бітній роздільній здатності;

на фіг. 35 показаний відгук сигналу за фіг. 34;

на фіг. 36 показаний короткий імпульс на п'єзоелектричному елементі витратоміра за фіг. 1;

на фіг. 37 показаний сигнал п'єзоелектричного елемента витратоміра за фіг. 1, який одержаний з інвертованого відгуку сигналу за фіг. 36;

на фіг. 38 показаний відгук сигналу за фіг. 37;

на фіг. 39 показана функція взаємної кореляції вище за потоком й нижче за потоком;

на фіг. 40 показаний збільшений вигляд ділянки за фіг. 39;

на фіг. 41 показаний пристрій для вимірювання швидкості потоку згідно із даним винаходом;

i

на фіг. 42 показаний прямий цифровий синтезатор для використання в пристрої за фіг. 41;

на фіг. 43 показаний перший пристрій з множиною вимірювальних перетворювачів; і

на фіг. 44 показаний другий пристрій з множиною вимірювальних перетворювачів;

на фіг. 45 показані вимірювальні перетворювачі з механічним кріпленням в Z-подібній

конфігурації;

на фіг. 46 показані вимірювальні перетворювачі з механічним кріпленням в V-подібній конфігурації;

на фіг. 47 показані вимірювальні перетворювачі з механічним кріпленням в W-подібній конфігурації;

на фіг. 48 показаний сигнал з одним циклом, що відправляється;

на фіг. 49 показаний сигнал з десятьма циклами, що відправляється;

на фіг. 50 показаний сигнал TRA, що відправляється;

на фіг. 51 показаний сигнал відгуку на сигнал з одним циклом, що відправляється, за фіг. 48;

на фіг. 52 показаний сигнал відгуку на сигнал з десятьма циклами, що відправляється, за фіг. 49;

на фіг. 53 показаний сигнал відгуку на сигнал TRA, що відправляється, за фіг. 50;

на фіг. 54 показана крива тиску сигналу TRA, що відправляється, і сигнал відгуку на сигнал TRA, що відправляється;

на фіг. 55 показана крива тиску сигналу TRA, що відправляється, і сигнал відгуку на сигнал TRA, що відправляється;

на фіг. 56 показаний імпульсний сигнал, який використовується для генерування вхідного сигналу за фіг. 55;

на фіг. 57 показаний перший сигнал відгуку, що вказує на властивості каналу;

на фіг. 58 показаний другий сигнал відгуку, що вказує на властивості каналу;

на фіг. 59 показаний додатковий сигнал відгуку; і

на фіг. 60 показаний додатковий сигнал відгуку.

ДОКЛАДНИЙ ОПИС

У наступному описі наведені деталі для опису варіантів здійснення даного винаходу. Однак для фахівця в даній області техніки повинно бути очевидно, що варіанти здійснення можуть бути здійснені без таких деталей.

На фіг. 1 показаний перший пристрій 10 у вигляді витратоміра. У пристрої у вигляді витратоміра перший п'єзоелектричний елемент 11 розміщений на зовнішній стінці труби 12, яка також називається трубкою 12. Другий п'єзоелектричний елемент 13 розміщений на протилежній стороні труби 12 так, що пряма лінія між другим п'єзоелектричним елементом 11 і розташованим нижче за потоком п'єзоелектричним елементом 13 проходить під кутом β до напрямку 14 середнього потоку, яке в той же час також є напрямком осі симетрії труби 12. Кут β обраний рівним приблизно 45 градусам у прикладі за фіг. 1, але він також може бути більше, таким як, наприклад, 60 градусів, або менше, таким як, наприклад, 30 градусів.

П'єзоелектричний елемент, такий як п'єзоелектричні елементи 11, 13 за фіг. 1, може в цілому працювати в якості акустичного передавача й у якості акустичного датчика. Акустичний передавач і акустичний датчик можуть бути забезпечені тим же п'єзоелектричним елементом або різними ділянками того ж п'єзоелектричного елемента. У цьому випадку п'єзоелектричний елемент або вимірювальний перетворювач також називається п'єзоелектричним передавачем, коли він працює як передавач або джерело звуку, і він також називається акустичним датчиком або приймачем, коли він працює як акустичний датчик.

Коли напрямок потоку є таким, як показано на фіг. 1, перший п'єзоелектричний елемент 11 також називається "розташованим вище за потоком" п'єзоелектричним елементом, а другий п'єзоелектричний елемент 13 також називається "розташованим нижче за потоком" п'єзоелектричним елементом. Витратомір згідно із даним винаходом працює в обох напрямках потоку по суті однаково, і напрямок потоку за фіг. 1 наведений лише як приклад.

На фіг. 1 показаний потік електричних сигналів за фіг. 1 для конфігурації, у якій розташований вище за потоком п'єзоелектричний елемент 11 працює в якості п'єзоелектричного вимірювального перетворювача, а розташований нижче за потоком п'єзоелектричний елемент 13 працює в якості акустичного датчика. Для ясності пристрій працює вище за потоком й нижче за потоком, тобто положення п'єзоелектричних елементів може взаємно змінюватися.

Перший блок 15 обчислення з'єднаний з розташованим вище за потоком п'єзоелектричним елементом 11, а другий блок 16 обчислення з'єднаний з розташованим нижче за потоком п'єзоелектричним елементом 13. Перший блок 15 обчислення містить перший цифровий сигнальний процесор, перший цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) і перший аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Подібним чином, другий блок 16 обчислення містить другий цифровий сигнальний процесор, другий цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) і другий аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Перший блок 15 обчислення з'єднаний із другим блоком 16 обчислення.

Пристрій із двома блоками 15, 16 обчислення, показаними на фіг. 1, наведений лише як приклад. Інші варіанти здійснення можуть мати різну кількість та розташування блоків обчислення. Наприклад, може бути тільки один центральний блок обчислення, або може бути два аналого-цифрових/цифро-аналогових перетворювача та один центральний блок обчислення, або може бути два невеликі блоки обчислення на вимірювальних перетворювачах і один більший центральний блок обчислення.

Наприклад, блок обчислення або блоки обчислення можуть бути забезпечені мікроконтролерами або спеціалізованими інтегральними схемами (ASIC), ASIC або програмованими користувачем вентиляними матрицями (FPGA). Більше того, синтез електричного сигналу зі збереженого цифрового сигналу може бути забезпечений прямим цифровим синтезатором (DDS), який містить цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП).

Спосіб генерування вимірювального сигналу згідно із даним винаходом включає наступні етапи.

Попередньо визначений цифровий іспитовий сигнал генерується шляхом синтезування акустичного сигналу за допомогою цифрового сигнального процесора першого блоку 15 обчислення. Цифровий іспитовий сигнал відправляється з першого блоку 15 обчислення в п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач 11 по шляху 17 сигналу. П'єзоелектричний вимірювальний перетворювач 11 генерує відповідний ультразвуковий іспитовий сигнал. Блоки 15 і 16 можуть також бути передбачені в одному окремому блоці.

Іспитовий сигнал передбачений як короткий імпульс, наприклад, з одним коливанням в 1 МГц або з 10 такими коливаннями. Зокрема, іспитовий сигнал може бути передбачений з невеликою кількістю коливань із постійною амплітудою, тим самим приблизно відповідаючи прямокутному сигналу. Одне коливання або декілька коливань можуть мати синусоїдальну форму, трикутну форму, прямокутну форму або також інші форми.

Ультразвуковий іспитовий сигнал проходить через рідину в трубі 12 до п'єзоелектричного датчика 13. На фіг. 1 прямий шлях ультразвукового сигналу зазначений стрілкою 18. Подібним чином, прямий шлях ультразвукового сигналу у зворотному напрямку зазначений стрілкою 19. Сигнал відгуку приймається п'єзоелектричним датчиком 13, відправляється в другий блок 16 обчислення по шляху 20 сигналу та оцифровується другим блоком 16 обчислення.

На подальшому етапі цифровий вимірювальний сигнал одержують із оцифрованого сигналу відгуку. Одержання вимірювання включає звернення оцифрованого сигналу відгуку відносно часу. Згідно з додатковими варіантами здійснення одержання включає додаткові етапи, такі як перетворення із забезпеченням зменшеної роздільної здатності у діапазоні амплітуди, смугова фільтрація сигналу для усунення шуму, такого як низькочастотний шум і високочастотний шум. Зокрема, етап смугової фільтрації може бути виконаний перед етапом звернення сигналу відносно часу.

Звернення сигналу може бути здійснене різними способами, наприклад шляхом зчитування області запам'ятовувального пристрою у зворотному напрямку або шляхом зміни знака синусоїдальних компонентів у представленні Фур'є на протилежний.

В одному варіанті здійснення вибирається придатна частина оцифрованого сигналу відгуку, яка містить відгук із прямого сигналу. Полярність частини сигналу відгуку потім змінюється на протилежну, або вона інвертується, відносно часу. Іншими словами частини сигналу відгуку, які приймаються пізніше, відправляються раніше у вигляді інвертованого вимірювального сигналу. Якщо сигнал представлений послідовністю з часовим порядком дискретних значень амплітуди, як приклад, вищезгадане інвертування сигналу означає інвертування або звернення порядку дискретних значень амплітуди.

Отриманий у результаті сигнал, у якому напрямок, або знак, часу було інвертовано, також називається "інвертованим сигналом". Вираження "інвертований" у даному контексті відноситься до інверсії відносно напрямку часу, а не до інверсії відносно значення, такого як значення амплітуди.

На фіг. 10-19 показані як приклад цифрові сигнали згідно із даним винаходом.

У витратомірі згідно з одним варіантом здійснення даного винаходу той самий вимірювальний сигнал використовується для обох напрямків 18, 19, напрямок вниз за потоком та вверх за потоком, надаючи простий та ефективний пристрій. Згідно з іншими варіантами здійснення різні вимірювальні сигнали використовуються для обох напрямків. Зокрема, вимірювальний сигнал може бути поданий на початковий приймач іспитового сигналу. Такі пристрої можуть надавати переваги для асиметричних положень і форм труби.

Спосіб вимірювання швидкості потоку рідини через трубу, у якому використовується вищезгаданий інвертований сигнал як вимірювальний сигнал, включає наступні етапи.

Вищезгаданий вимірювальний сигнал відправляється з першого блоку 15 обчислення в

п'єзоелектричний вимірювальний перетворювач 11 по шляху 17 сигналу. П'єзоелектричний вимірювальний перетворювач 11 генерує відповідний ультразвуковий вимірювальний сигнал. Приклади такого вимірювального сигналу надані на фіг. 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 37 і 38.

5 Ультразвуковий вимірювальний сигнал проходить через рідину в трубі 12 до п'єзоелектричного датчика 13. Сигнал відгуку приймається п'єзоелектричним датчиком 13, відправляється в другий блок 16 обчислення по шляху 20 сигналу та оцифровується другим блоком 16 обчислення.

10 Другий блок 16 обчислення відправляє оцифрований сигнал відгуку в перший блок 15 обчислення. Перший блок 15 обчислення визначає час прольоту прийнятого сигналу, наприклад, за допомогою одного зі способів, описаних далі.

15 Подібний спосіб здійснюється для сигналу, що проходить у зворотному напрямку 19, а саме вищезгаданий вимірювальний сигнал подається в розташований нижче за потоком п'єзоелектричний елемент 13, і сигнал відгуку вимірюється розташованим вище за потоком п'єзоелектричним елементом 11 для одержання часу прольоту сигналу вгору за потоком TOF_{up} у зворотному напрямку 19. Перший блок 15 обчислення визначає швидкість потоку, наприклад, згідно з формулою

$$v = \frac{c^2}{2 \cdot L \cos \beta} \cdot (TOF_{up} - TOF_{down})$$

20 де L являє собою довжину прямого шляху між п'єзоелектричними елементами 11, 13; β являє собою кут нахилу прямого шляху між п'єзоелектричними елементами 11, 13 і напрямом середнього потоку; і c являє собою швидкість звуку в рідині при заданому тиску та температурних умовах.

25 Для квадрату швидкості звуку c^2 можна здійснити апроксимацію другого порядку за допомогою виразу

$$c^2 \approx \frac{L^2}{(TOF_{up} * TOF_{down})}$$

30 що приводить до формули

$$v = \frac{L}{2 * \cos \beta} \cdot \frac{TOF_{up} - TOF_{down}}{TOF_{up} * TOF_{down}}$$

35 При цьому немає необхідності визначати температуру або тиск, які у свою чергу визначають щільність текучого середовища та швидкість звуку, або безпосередньо вимірювати швидкість звуку або щільність текучого середовища. І навпаки, перший порядок помилки не виключає можливість тільки одного напрямку вимірювання.

40 Замість використання коефіцієнта $\frac{1}{2 \cdot L \cdot \cos \beta}$, множник пропорційності може бути одержаний з каліброваного вимірювання з відомою швидкістю потоку. Множник пропорційності калібрування враховує додаткові ефекти, такі як профілі потоку та впливи звукових хвиль, які були розсіяні й не проходять по прямій лінії.

45 Згідно з додатковим варіантом здійснення процес генерування імпульсного сигналу, запису сигналу відгуку та одержання інвертованого вимірювального сигналу із сигналу відгуку моделюється на комп'ютері. Параметри, що мають важливе значення, такі як діаметр труби 12 і місця розташування датчиків, вводяться у вигляді вхідних параметрів у моделювання.

50 Згідно з ще одним варіантом здійснення вимірювальний сигнал, який повинен подаватися в передавальний п'єзоелектричний елемент, синтезується з використанням форми звичайного сигналу відгуку в імпульсний сигнал, на прикладі форм сигналу, показаних на фіг. 37 і 38. Наприклад, вимірювальний сигнал може бути передбачений із синусоїдальним коливанням в 1 МГц, яке модульоване за амплітудою з обвідною згідно з гаусовою функцією ймовірності при півширині 10 мікросекунд. Півширина може бути обрана в якості вхідного параметра, який залежить від поточних параметрів, таких як діаметр труби й місце розташування датчика.

Витратомір згідно із даним винаходом може також бути наданий у якості попередньо визначеного витратоміра, у якому вимірювальний сигнал генерується під час сеансу випробування на території заводу, зокрема, коли витратомір поставляється разом із секцією труби.

Згідно із простим варіантом здійснення даного винаходу час прольоту в напрямку вверх за потоком та вниз за потоком визначається шляхом оцінювання часу максимальної амплітуди прийнятого сигналу відносно часу відправлення вимірювального сигналу. Для досягнення більшої точності максимум може бути визначений з використанням обвідної прийнятого сигналу. Згідно з додатковим варіантом здійснення вимірювання повторюють кілька разів, і використовується середній час прольоту.

Згідно з додатковим варіантом здійснення даного винаходу час прольоту сигналу оцінюють із використанням методу взаємної кореляції. Зокрема, відповідні зсуви за часом можуть бути оцінені шляхом взаємної кореляції прийнятого сигналу, що проходить вниз за потоком або вверх за потоком, із прийнятим сигналом при нульовій швидкості потоку згідно з формулою:

$$CCorr(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{\infty} Sig_{Flow}(t) \cdot Sig_{NoFlow}(t + \tau)$$

де Sig_Flow представляє сигнал, що проходить вниз за потоком або вверх за потоком, за умови вимірювання, коли є витрата текучого середовища через трубу, і де Sig_Noflow представляє сигнал за умови калібрування з нульовою витратою. Межі нескінченної суми представляють досить велике часове вікно $[-T1, +T2]$. Загалом, $-T1$ і $+T2$ не повинні бути однаковими, і з практичної точки зору це може бути переважним для витратоміра.

Зсув за часом τ_{up} і τ_{down} потім одержують шляхом порівняння часу максимуму кореляційної функції вище за потоком із часом максимуму кореляційної функції нижче за потоком. Обвідна кореляційної функції може бути використана для більш точного визначення місця максимуму.

У ще одному варіанті здійснення між першим блоком 15 обчислення та другим блоком 16 обчислення передбачений окремий блок оцінювання, який виконує оцінювання часу надходження сигналу та швидкості потоку.

Загалом, вимірюваний сигнал акустичного датчика виходить із накладення розсіяних сигналів та прямого сигналу. Розсіяні сигнали розсіюються від стінок труби один раз або множину раз. Це показано як приклад на фіг. 2 і 3.

Конфігурація вимірювального перетворювача за фіг. 1 являє собою прямолінійну або Z-подібну конфігурацію. Інші розташування, у яких використовуються відбиття на протилежній стороні труби, також можливі, такі як V- і W-подібна конфігурація. Принцип роботи V- і W-подібної конфігурації заснований на відбиттях на стінці труби, які індують більше розсіювання, ніж при Z-подібній конфігурації. Предмет винаходу має переваги з даними конфігураціями за умови, що шляхи розуміються правильно.

В V-подібній конфігурації два вимірювальних перетворювачі встановлені на одній і тій же стороні труби. Для запису відбиття в 45 градусів вони рознесені один від одного на відстані, що приблизно дорівнює діаметру труби, в напрямку потоку. В W-подібній конфігурації використовуються три відбиття. Подібно V-подібній конфігурації два вимірювальних перетворювачі встановлені на одній і тій же стороні труби. Для запису сигналу після двох відбиттів в 45 градусів вони рознесені один від одного на відстані, що дорівнює двом діаметрам труби, в напрямку потоку.

На фіг. 2 показаний як приклад перший акустичний сигнал, який проходить безпосередньо від п'єзоелектричного елемента 11 до п'єзоелектричного елемента 13.

Для простоти випадки розсіювання показані у вигляді відбиттів на фіг. 2-5, але дійсний процес розсіювання може бути більш складним. Зокрема, розсіювання, що має найбільш важливе значення, відбувається, як правило, на стінці труби або на матеріалі, який встановлений попереду від п'єзоелектричних вимірювальних перетворювачів. Прийняте розсіювання також залежить від розташування датчиків. Як приклад на фіг. 45, 46, і 47 показані розташування датчиків в Z-, V-, і W-подібних конфігураціях. На фіг. 3 показаний вигляд за фіг. 2 у напрямку потоку в напрямку спостереження A-A.

На фіг. 4 і 5 показане друге розташування датчиків, у якому додатковий п'єзоелектричний елемент 22 розташований під кутом 45 градусів до п'єзоелектричного елемента 11 і додатковий п'єзоелектричний елемент 23 розташований під кутом 45 градусів до п'єзоелектричного елемента 13.

Крім того, на фіг. 4 і 5 показана пряма або рівна лінія, шляхи акустичного сигналу для ситуації, у якій п'єзоелектричні елементи 11, 22 працюють у якості п'єзо-вимірювальних перетворювачів, а п'єзоелектричні елементи 13, 23 працюють у якості акустичних датчиків. П'єзоелектричний елемент 23, який перебуває за трубою 12 у вигляді за фіг. 4, показаний пунктирною лінією на фіг. 4.

На фіг. 6-9 показаний у спрощеному вигляді спосіб генерування вимірювального сигналу з відгуку іспитового сигналу. На фіг. 6-9 втрати внаслідок розсіювання позначені заштрихованими частинами сигналу й стрілками.

При розгляді фіг. 6-9 допускається, що акустичний сигнал поширюється тільки по шляху у вигляді рівної лінії, по першому каналу для розсіювання із затримкою часу Δt і по другому каналу для розсіювання із затримкою часу $2\Delta t$. Загасання сигналу уздовж шляхів не враховується.

Іспитовий сигнал у вигляді прямокутного піка подається в п'єзоелектричний елемент 11. Внаслідок розсіювання перша частина амплітуди сигналу губиться через перший шлях для розсіювання й з'являється після часу Δt , а друга частина амплітуди губиться через другий шлях для розсіювання та з'являється після часу $2\Delta t$. Це дає сигнал згідно з білими колонками на фіг. 7, який записується на п'єзоелектричному елементі 13.

Сигнальний процесор інвертує даний записаний сигнал відносно часу, і він подає інвертований сигнал у п'єзоелектричний елемент 11. Той же процес розсіювання, як було пояснено раніше, зараз застосовується до всіх трьох компонентів сигналу. У результаті сигнал згідно фіг. 9 записується на п'єзоелектричному елементі 13, який є приблизно симетричним.

У дійсності прийняті сигнали будуть розподілені за часом, і часто існує "поверхнева хвиля", яка проходить через матеріал труби та надходить перед прямим сигналом. Дана поверхнева хвиля відкидається за допомогою вибору придатного часового вікна для генерування інвертованого вимірювального сигналу. Подібним чином, сигнали, які походять із множинних відбиттів і надходять пізніше, можуть бути відкинуті за допомогою обмеження часового вікна та/або за допомогою вибору конкретних частин сигналу.

У наступній таблиці показані виміряні затримки часу для прямого вирівнювання, або, інакше кажучи, для з'єднання у вигляді рівної лінії між п'єзоелектричними елементами з механічними кріпленнями на трубі DN 250 у площині, перпендикулярній подовжньому подовженню труби DN 250. Витрата відноситься до потоку води через трубу DN 250.

У даному документі "TOF з 1 циклом" відноситься до імпульсу, такому як імпульс, показаний на фіг. 36, який генерується п'єзоелектричним елементом, що збуджується електричним сигналом з 1 коливанням, яке має період 1 мкс. "TOF з 10 циклами" відноситься до сигналу, який генерується п'єзоелектричним елементом, що збуджується електричним сигналом з 10 синусоїдальними коливаннями постійної амплітуди, які мають період 1 мкс.

Витрата/Спосіб	21 м³/год.	44 м³/год.	61 м³/год.
TOF з 1 циклом	7 нс	18 нс	27 нс
TOF з 10 циклами	9 нс	19 нс	26 нс
Час при зверненні	8 нс	18 нс	27 нс

На фіг. 10-27 показані інвертовані сигнали з високою роздільною здатністю та їх відповідні сигнали відгуку. Напряга представлена в довільних одиницях у часі в мікросекундах.

Осі часу в представлених вище фігурах показують час передачі інвертованого сигналу. Час передачі обмежений часовим вікном, яке використовується для запису інвертованого сигналу. У прикладі за фіг. 10-27 часове вікно починається безпосередньо перед початком максимуму, який походить із прямого сигналу, і закінчується через 100 мікросекунд після нього.

Осі часу в представлених нижче фігурах відцентровані біля максимуму сигналів відгуку й тривають 100 мікросекунд, що є розміром часового вікна для інвертованого сигналу, перед максимумом сигналів відгуку та після нього.

На фіг. 28-35 показані оцифровані інвертовані сигнали у високій роздільній здатності та в 12-, 3-, 2- і 1-бітній роздільній здатності в діапазоні амплітуди і їх відповідні сигнали відгуку. Напряга представлена у вольтах за часом у мікросекундах. Сигнали за фіг. 28-35 отримані для труби DN 250, заповненою водою.

Довжина часового вікна для інвертованого сигналу становить 450 мікросекунд. Отже, часове вікно за фіг. 28-35 більш ніж у чотири рази більше того, що показане на попередніх фіг. 9 - 27.

На фіг. 28-35 можна побачити, що навіть внаслідок оцифровування з 1-бітною роздільною здатністю утворюється різкий пік. Можна побачити, що пік стає ще більш вираженим для низьких роздільних здатностей. Можливим поясненням даного ефекту є те, що в прикладі за

фіг. 28-35 сумарна енергія вхідного сигналу збільшена за рахунок використання грубого оцифровування в діапазоні амплітуди, у той час як сигнал відгуку залишається сконцентрованим у часі.

На фіг. 36 показаний сигнал, який генерується п'єзоелектричним елементом після приймання електричного імпульсу, який триває приблизно 0,56 мікросекунди, що еквівалентно частоті 3,57 МГц. Завдяки інерційній силі п'єзоелектричного елемента максимальна амплітуда для негативної напруги менше, ніж для позитивної напруги, і існують реверберації кратних хвиль перед зупинкою п'єзоелектричного елемента.

На фіг. 37 показаний електричний сигнал, який подається в п'єзоелектричний елемент, такий як розташований вище за потоком п'єзоелектричний елемент 11 за фіг. 1. Сигнал за фіг. 37 одержують шляхом формування в середньому десятиох оцифрованих сигналів відгуку в сигнал показаного на фіг. 36 типу та зверненням сигналу за часом, при цьому сигнали відгуку приймаються п'єзоелектричним елементом, таким як розташований нижче за потоком п'єзоелектричний елемент 13 за фіг. 1.

У прикладі на фіг. 37 оцифровані сигнали одержують шляхом відсікання частини сигналу від сигналу відгуку, яка починається приблизно на 10 мікросекунд раніше початку обвідної сигналу відгуку і яка закінчується на приблизно 55 мікросекундах пізніше обвідної сигналу відгуку. Форма обвідної сигналу відгуку за фіг. 37 подібна формі згідно з гаусовим розподілом ймовірностей, або, інакше кажучи, придатної зміщеної та масштабованої версії виразу $(-x^2)$.

На фіг. 38 показана частина сигналу відгуку на сигнал, показаний на фіг. 37, при цьому сигнал за фіг. 37 подається в перший п'єзоелектричний елемент, такий як розташований вище за потоком п'єзоелектричний елемент 11, і приймається на другому п'єзоелектричному елементі, такому як розташований нижче за потоком п'єзоелектричний елемент 13 за фіг. 1.

На фіг. 39 показана функція взаємної кореляції вище за потоком й функція взаємної кореляції нижче за потоком, які отримані шляхом взаємної кореляції сигналу, що проходить вгору за потоком, та сигналу, що проходить вниз за потоком, пристрою за фіг. 1 із сигналом, отриманим при нульовій витраті, відповідно.

На фіг. 40 показаний збільшений вигляд ділянки за фіг. 39. Два індикатори положення вказують на положення відповідних максимумів функції взаємної кореляції вище за потоком й нижче за потоком. Різниця за часом між максимумами являє собою величину різниці за часом між сигналом, що проходить вгору за потоком, та сигналом, що проходить вниз за потоком.

На фіг. 48, 49 і 50 показано три різні сигнали, що відправляються: на фіг. 48 показаний звичайний імпульс (1 цикл) і на фіг. 48 показаний імпульс із 10 циклами, у порівнянні з вимірювальним сигналом, згенерованим, як описано вище, таким як сигнал за фіг. 50. Вимірювальні перетворювачі закріплюються на трубі DN250.

На фіг. 51, 52 і 53 показані відповідні прийняті сигнали після відправлення сигналів, проілюстрованих на відповідних фіг. 48, 49 і 50. За допомогою порівняння можна легко побачити, що вимірювальний сигнал фокусує енергію та генерує більше ніж у два рази більшу амплітуду прийнятого сигналу в порівнянні із прийнятими сигналами у відповідь на звичайні імпульси (наприклад, з 1 або 10 циклами) за фіг. 48 і 49.

На фіг. 41 показаний як приклад пристрій 60 вимірювання витрати для вимірювання витрати в пристрої на фіг. 1 або інших пристроях згідно з винаходом. У пристрої за фіг. 1 пристрій 60 вимірювання витрати забезпечений першим і другим блоками 15, 16 обчислення.

Пристрій 60 вимірювання витрати містить перший з'єднувач 61 для з'єднання першого п'єзоелектричного вимірювального перетворювача та другий з'єднувач 62 для з'єднання другого п'єзоелектричного вимірювального перетворювача. Перший з'єднувач 61 з'єднаний із цифро-аналоговим перетворювачем (ЦАП) 64 через мультиплексор 63. Другий з'єднувач 62 з'єднаний з аналого-цифровим перетворювачем 65 через демультимплексор 66.

АЦП 65 з'єднаний із блоком 67 вибору сигналу, який з'єднаний із блоком 68 інвертування сигналу, з'єднаним зі смуговим фільтром 69, який з'єднаний з машинопрочитуваним запам'ятовувальним пристроєм 70. Крім того, АЦП 65 з'єднаний із блоком 71 обчислення швидкості.

ЦАП 64 з'єднаний з генератором 72 імпульсних сигналів і генератором 73 вимірювальних сигналів. Генератор вимірювальних сигналів з'єднаний з генератором 72 імпульсів через командну лінію 74. Блок 71 обчислення швидкості з'єднаний з генератором 73 вимірювальних сигналів через другу командну лінію 75.

Загалом, генератор 72 імпульсних сигналів і генератор вимірювальних сигналів містять елементи апаратного забезпечення, такі як генератор коливачів, і елементи програмного забезпечення, такі як модуль генератора імпульсів і модуль генератора вимірювальних сигналів. У цьому випадку командні лінії 74, 75 можуть бути забезпечені програмними

інтерфейсами між відповідними модулями.

Під час фази генерування сигналу генератор імпульсних сигналів відправляє сигнал у ЦАП 64, блок 67 вибору приймає відповідний вхідний сигнал за допомогою АЦП 65 і вибирає частину вхідного сигналу. Блок 68 інвертування інвертує вибрану частину сигналу відносно часу, факультативний смуговий фільтр 69 фільтрує низькі й високі частоти, і вимірювальний сигнал, отриманий в результаті, зберігається в машинопрочитуваному запам'ятовувальному пристрої 70. Коли слово "сигнал" використовується з посиланням на етап керування сигналом, воно може, зокрема, відноситися до представлення сигналу в машинопрочитуваному запам'ятовувальному пристрої.

Зокрема, представлення сигналу може бути визначене парю значень оцифрованих амплітуд і пов'язаних дискретних часів. Інші представлення включають, серед іншого, коефіцієнти Фур'є, коефіцієнти хвилі малої амплітуди та обвідну для амплітуди, на якій змодульований сигнал.

На фіг. 42 показаний другий варіант здійснення пристрою 60' вимірювання витрати для вимірювання витрати в пристрої на фіг. 1 або інших пристроях згідно з винаходом. Пристрій 60' вимірювання витрати містить прямий цифровий синтезатор (DDS) 76. Для простоти показані тільки компоненти DDS 76. DDS 76 також відноситься до генератора коливальної форми (AWG).

DDS 76 містить опорний генератор 77, з'єднаний з регістром 78 керування частотою, генератором 79 з числовим програмним керуванням (NCO) та з ЦАП 64. Вхід NCO 79 для N каналів з'єднаний з виходом регістру 78 керування частотою. Вхід ЦАП 64 для M каналів з'єднаний з NCO 79 і вхід відновлювального фільтра нижніх частот з'єднаний із ЦАП 64. Як приклад генератор 79 із прямим числовим програмним керуванням з тактовою частотою 100 МГц може використовуватися для генерування сигналу, модульованого за амплітудою в 1 МГц.

Вихід відновлювального фільтра 80 нижніх частот з'єднаний з п'єзоелектричними вимірювальними перетворювачами 11, 13 за фіг. 1.

Завдяки інерційній силі кварцового генератора часто переважним є використання генератора коливальних із більш високою частотою, ніж частота генератора несучої хвилі для одержання попередньо визначеного сигналу, модульованого за амплітудою, наприклад, з використанням прямого цифрового синтезатора.

На фіг. 45, 47 і 48 проілюстровані вищезгадані Z-, V- і W-подібні конфігурації для вимірювання витрати. У прикладах за фіг. 45, 47, 48 вимірювальні перетворювачі з механічним кріпленням прикріплені до трубопроводу за допомогою відповідних сполучних частин.

На фіг. 54 і 55 показане порівняння відповідного прийнятого сигналу або сигналу відгуку з відповідним сигналом, що відправляється, який був згенерований без використання процедури звернення за часом й із використанням процедури звернення за часом.

У прикладах за фіг. 54 змодульована гармонійна хвиля з обвідною гаусової форми використовується як сигнал, що відправляється. Енергія сигналу, що відправляється, пропорційна $1,3 \times 10^{-7} \text{ (Па/м)}^2 \text{ с}$ і амплітуда сигналу становить 0,1 Па. Значення одержують шляхом інтегрування квадрата тиску на одиницю довжини за часом. Сигнал відгуку має подвійну амплітуду прийнятого сигналу приблизно 0,09 Па.

У прикладі за фіг. 55 звернений за часом сигнал, який одержаний із сигналу відгуку на імпульсний сигнал за фіг. 56, використовується в якості сигналу, що відправляється. Сигнал, що відправляється, відрегульований так, щоб мати ту ж енергію сигналу $1,3 \times 10^{-7} \text{ (Па/м)}^2 \text{ с}$ у якості сигналу, що відправляється, за фіг. 54. Це дає подвійну амплітуду прийнятого сигналу, яка становить близько 0,375 Па.

Амплітуда прийнятого сигналу за фіг. 55 вище більш ніж у чотири рази амплітуди прийнятого сигналу за фіг. 54. Збільшена амплітуда на приймальній стороні може забезпечувати більш легке й більш стабільне розпізнавання сигналу. Серед іншого, збільшення в амплітуді може бути відрегульоване шляхом регулювання бітової роздільної здатності амплітуди зверненого за часом сигналу, зокрема шляхом збільшення або зменшення бітової роздільної здатності для одержання більшої амплітуди.

На фіг. 56 і 57 проілюстровано, як прийняті сигнали можуть бути використані для одержання інформації про канал передачі та, зокрема, про товщину стінки трубопроводу, відкладання на стінці. Згідно із даним винаходом відгук на вимірювальний сигнал, який є зверненням за часом сигналом відгуку, може бути проаналізований для забезпечення можливості визначення змін властивостей трубного матеріалу, таких як тріщини, утворення кірки тощо. При вимірюванні витрати згідно з одним варіантом здійснення даного винаходу дані зміни властивостей визначаються аналізом того ж прийнятого сигналу, який використовується для вимірювання часу прольоту.

На фіг. 57 показаний перший сигнал відгуку, який містить інформацію про перший канал передачі.

На фіг. 58 показаний другий сигнал відгуку, який містить інформацію про другий канал передачі. Довжина горизонтальної стрілки на центральній головній пелюстці проходить між лівою пелюсткою й правою пелюсткою, які перебувають ліворуч і праворуч від головної пелюстки відповідно. Довжина стрілки представляє товщину стінки труби, якщо сигнал генерується згідно фіг. 46. Виміряна товщина стінки визначається в місці, де хвиля відбивається в нижній частині труби на фіг. 46. Якщо на стінці труби є відкладання, виміряна товщина стінки збільшиться.

На фіг. 59 показаний додатковий сигнал відгуку. В експериментальній установці для одержання сигналу за фіг. 59 передбачені кутові вимірювальні перетворювачі з механічним кріпленням, акрилова сполучна головка вимірювального перетворювача, швидкість звуку $c=2370$ м/с, кут з'єднання 40° , стінка з нержавіючої сталі, швидкість поперечної хвилі $c=3230$ м/с, $61,17^\circ$, вода як текуче середовище, швидкість звуку в текучому середовищі $c=1480$ м/с, вісь кута поширення поперечної хвилі $23,67^\circ$ і кут відхилення потоку $66,33^\circ$, одержаний з фіг. 59.

На фіг. 60 показаний додатковий сигнал відгуку. В експериментальній установці для одержання сигналу за фіг. 60 передбачається акрилова сполучна головка вимірювального перетворювача, швидкість звуку $c=2370$ м/с, кут з'єднання 20° , стінка з нержавіючої сталі, швидкість поздовжньої хвилі $c=5790$ м/с, $56,68^\circ$, поперечної хвилі $c=3230$ м/с, вода як текуче середовище, швидкість звуку в текучому середовищі $c=1480$ м/с, вісь кута поширення поздовжньої хвилі $12,33^\circ$, вісь кута поширення поперечної хвилі $12,33^\circ$ і кут відхилення потоку $77,67^\circ$, одержаний з фіг. 60.

Альтернативні конфігурації установки для фіг. 59 і 60 показані на фіг. 45, 46 і 47.

Згідно з одним варіантом здійснення даного винаходу властивості каналу встановлюються за допомогою аналізу прийнятого сигналу, такого як сигнали за фіг. 57-60.

У прикладі за фіг. 59 і 60 показані різниці в прийнятих сигналах залежно від наявності поздовжньої та поперечної хвиль в трубному матеріалі. Наявність даних хвиль є стандартним випадком для вибраного матеріалу та геометрії, і вони можуть використовуватися в аналізі матеріалу. Такий аналіз матеріалу, заснований на ультразвукових іспитових хвилях, використовується в області застосування неруйнівного випробування (NDT). Даний винахід забезпечує можливість одночасного аналізу потоку й, наприклад, трубного матеріалу, оскільки прийнятий сигнал містить імпульсний відгук системи вимірювання, включаючи канал передачі та зовнішні умови матеріалу.

Аналіз прийнятих сигналів може бути здійснений різними способами, такими як порівняння прийнятого сигналу зі спочатку прийнятим імпульсним відгуком або пряме оцінювання імпульсного відгуку, наприклад, для визначення товщини стінки.

Незважаючи на те, що представлений вище опис є досить специфічним, його слід розуміти не як обмеження обсягу варіантів здійснення, а як просто забезпечення ілюстрації передбачуваних варіантів здійснення. Етапи способу можуть бути виконані в порядку, відмінному від представленого в наданих варіантах здійснення, і поділ пристрою вимірювання на блоки обробки і їх відповідні взаємозв'язки можуть відрізнятися від тих, що наведені в наданих варіантах здійснення.

Зокрема, етапи способу, а саме збереження цифрового представлення сигналу та виконання операцій, таких як вибір частини сигналу, звернення сигналу за часом і фільтрація сигналу, можуть бути взаємно замінені. Наприклад, сигнал може зберігатися у формі сигналу, інвертованого за часом, або він може зчитуватися у зворотному порядку для одержання сигналу, інвертованого за часом.

Хоча даний винахід пояснюється відносно круглої труби DN 250, він може бути легко застосований до інших розмірів труби або навіть до інших форм труби. Незважаючи на те, що варіанти здійснення пояснюються відносно вимірювальних перетворювачів з механічним кріпленням, також можуть використовуватися вимірювальні перетворювачі, які поміщають в текуче середовище, що входять у трубу або встановлюються у відкритому каналі.

Зокрема, представлені вище переваги варіантів здійснення повинні сприйматися не як такі, що обмежують обсяг варіантів здійснення, а як такі, що просто пояснюють ймовірні досягнення при реалізації описаних варіантів здійснення на практиці. Таким чином, обсяг варіантів здійснення повинен бути визначений формулою винаходу і її еквівалентами, а не наведеними прикладами.

Варіанти здійснення даного винаходу можуть також бути описані з використанням наступних списків ознак, об'єднаних у параграфи. Відповідні комбінації ознак, які описані в списку параграфів, розглядаються як окремий предмет винаходу, відповідно, які можуть також бути

об'єднані з іншими ознаками винаходу.

1. Спосіб визначення швидкості потоку текучого середовища в трубопроводі для текучого середовища, який включає:

- забезпечення трубопроводу для текучого середовища текучим середовищем, яке має попередньо визначену швидкість відносно трубопроводу для текучого середовища,

- подачу імпульсного сигналу в перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на трубопроводі для текучого середовища в першому місці,

- приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал в другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі, при цьому другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач розташований на трубопроводі для текучого середовища в другому місці,

- одержання вимірювального сигналу із сигналу відгуку, при цьому одержання вимірювального сигналу включає вибір частини сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, і звернення частини сигналу відносно часу,

- збереження вимірювального сигналу для подальшого використання,

- забезпечення трубопроводу для текучого середовища текучим середовищем, при цьому має місце рух текучого середовища відносно трубопроводу для текучого середовища,

- подачу вимірювального сигналу в один з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів,

- вимірювання першого сигналу відгуку на вимірювальний сигнал на іншому з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів,

- одержання швидкості потоку текучого середовища з першого сигналу відгуку,

при цьому наступні етапи, а саме:

- подача імпульсного сигналу в перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на трубопроводі для текучого середовища в першому місці,

- приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал в другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі, при цьому другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач розташований на трубопроводі для текучого середовища в другому місці,

- одержання вимірювального сигналу із сигналу відгуку, при цьому одержання вимірювального сигналу включає вибір частини сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, і звернення частини сигналу відносно часу,

- збереження вимірювального сигналу для подальшого використання,

є факультативними або можуть бути виключені, якщо вимірювальний сигнал був утворений раніше.

2. Спосіб за параграфом 1, який включає:

- повторення етапів подачі вимірювального сигналу та вимірювання сигналу відгуку у зворотному напрямку для отримання другого сигналу відгуку,

- одержання швидкості потоку текучого середовища з першого сигналу відгуку та другого сигналу відгуку.

3. Спосіб за параграфом 1 або параграфом 2, де частина сигналу, яку використовують для одержання вимірювального сигналу, містить першу частину поблизу максимальної амплітуди сигналу відгуку та кінцеву частину сигналу, при цьому кінцева частина сигналу проходить у часі після часу досягнення максимальної амплітуди.

4. Спосіб за одним з попередніх параграфів, який включає:

- повторення етапів подачі імпульсного сигналу та приймання відповідного сигналу відгуку множини раз із отриманням при цьому множини сигналів відгуку,

- одержання вимірювального сигналу із середнього значення прийнятих сигналів відгуку.

5. Спосіб за одним з попередніх параграфів, при цьому одержання вимірювального сигналу включає оцифровування сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, відносно амплітуди.

6. Спосіб за параграфом 5, який включає збільшення бітової роздільної здатності оцифрованого сигналу для збільшення амплітуди сигналу відгуку на вимірювальний сигнал.

7. Спосіб за параграфом 5, який включає зниження бітової роздільної здатності оцифрованого сигналу для збільшення амплітуди сигналу відгуку на вимірювальний сигнал.

8. Спосіб за одним з параграфів 5-7, при цьому бітова роздільна здатність оцифрованого сигналу відносно амплітуди являє собою низьку бітову роздільну здатність.

9. Спосіб за одним з попередніх параграфів, який включає обробку щонайменше одного із сигналів відгуку для визначення зміни в товщині стінки трубопроводу або для визначення характеристик матеріалу стінок трубопроводу шляхом визначення характеристик поздовжньої та поперечної звукової хвилі.

10. Пристрій для вимірювання швидкості потоку в ультразвуковому витратомірі на основі вимірювання часу проходження сигналу, який містить:

- перший з'єднувач для першого ультразвукового елемента,
- другий з'єднувач для другого ультразвукового елемента,
- 5 - передавальний блок для відправлення імпульсного сигналу в перший з'єднувач,
- приймальний блок для приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал від другого з'єднувача,
- блок інвертування для інвертування сигналу відгуку відносно часу для отримання інвертованого сигналу,
- 10 - блок обробки для одержання вимірювального сигналу з інвертованого сигналу та збереження вимірювального сигналу, при цьому наступні елементи, а саме
- передавальний блок для відправлення імпульсного сигналу в перший з'єднувач,
- приймальний блок для приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал від другого з'єднувача,
- 15 - блок інвертування для інвертування сигналу відгуку відносно часу для отримання інвертованого сигналу,
- блок обробки для одержання вимірювального сигналу з інвертованого сигналу та збереження вимірювального сигналу,
- є факультативними або можуть бути виключені, якщо вимірювальний сигнал був утворений раніше, внаслідок чого він є легкодоступним.
- 20

11. Пристрій за параграфом 10, який додатково містить:

- цифро-аналоговий перетворювач, при цьому цифро-аналоговий перетворювач з'єднаний з першим з'єднувачем,
- аналого-цифровий перетворювач, при цьому аналого-цифровий перетворювач з'єднаний із
- 25 другим з'єднувачем,
- машинопрочитуваний запам'ятовувальний пристрій для збереження вимірювального сигналу.

12. Пристрій за параграфом 10 або параграфом 11, який додатково містить блок вибору для вибору частини прийнятого сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, при цьому блок інвертування передбачений для інвертування вибраної частини сигналу відгуку відносно часу для отримання інвертованого сигналу.

13. Пристрій за одним з параграфів 10-12, при цьому пристрій містить:

- генератор вимірювальних сигналів, при цьому генератор вимірювальних сигналів виконаний з можливістю з'єднання з першим з'єднувачем або із другим з'єднувачем,
- 35 - засіб передачі для відправлення вимірювального сигналу в перший з'єднувач,
- приймальний блок для приймання сигналу відгуку на вимірювальний сигнал від другого з'єднувача,
- другий блок обробки для одержання швидкості потоку із прийнятого сигналу відгуку.

14. Пристрій за одним з параграфів 10-13, при цьому пристрій містить:

- 40 - прямий цифровий синтезатор сигналів, при цьому прямий цифровий синтезатор сигналів містить АЦП,

регістр керування частотою, опорний генератор, генератор із числовим програмним керуванням та відновлювальний фільтр нижніх частот, при цьому АЦП виконаний з можливістю з'єднання з першим і другим з'єднувачем через відновлювальний фільтр нижніх частот.

15. Пристрій за одним з параграфів 10-14, при цьому пристрій містить:

- 45 - перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач з'єднаний з першим з'єднувачем,
- другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач з'єднаний із другим з'єднувачем.

16. Пристрій за одним з параграфів 10-15, який містить частину труби, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на частині труби в першому місці, а другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на частині труби в другому місці.

17. Машинопрочитуваний програмний код, який містить машинопрочитувані команди для виконання способу за одним з параграфів 1-9.

18. Машинопрочитуваний запам'ятовувальний пристрій, при цьому машинопрочитуваний запам'ятовувальний пристрій містить машинопрочитуваний програмний код за параграфом 17.

19. Спеціалізований електронний компонент, виконаний з можливістю виконання способу за одним з параграфів 1-9.

20. Спосіб визначення того, чи вимірює іспитовий пристрій швидкість потоку текучого

середовища в трубопроводі для текучого середовища за одним з параграфів 1-5, який включає:

- забезпечення трубопроводу для текучого середовища текучим середовищем, яке має попередньо визначену швидкість відносно трубопроводу для текучого середовища,

5 - подачу іспитового імпульсного сигналу в перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач іспитового пристрою, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на трубопроводі для текучого середовища в першому місці,

- приймання іспитового сигналу відгуку на іспитовий імпульсний сигнал в другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі іспитового пристрою, при цьому другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на трубопроводі для текучого

10 середовища в другому місці,

- одержання іспитового вимірювального сигналу із сигналу відгуку, при цьому одержання іспитового вимірювального сигналу включає звернення сигналу відносно часу,

- порівняння іспитового вимірювального сигналу з вимірювальним сигналом, що випускається іншим з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів,

15 при цьому в іспитовому пристрої застосовують спосіб визначення швидкості потоку текучого середовища в трубопроводі для текучого середовища за одним з параграфів 1-5, якщо іспитовий вимірювальний сигнал і вимірювальний сигнал подібні.

21. Пристрій для вимірювання швидкості потоку в ультразвуковому витратомірі на основі вимірювання часу проходження сигналу, який містить:

20 - перший з'єднувач для першого ультразвукового елемента,

- другий з'єднувач для другого ультразвукового елемента,
- передавальний блок для відправлення імпульсного сигналу в перший з'єднувач,
- приймальний блок для приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал від другого

25 з'єднувача,

- блок інвертування для інвертування вибраної частини сигналу відгуку відносно часу для отримання інвертованого сигналу,

- блок обробки для одержання вимірювального сигналу з інвертованого сигналу та збереження вимірювального сигналу в машинопрочитуваному запам'ятовувальному пристрої,

при цьому застосування пристрою для визначення швидкості потоку текучого середовища в

30 трубопроводі для текучого середовища відбувається шляхом:

- забезпечення трубопроводу для текучого середовища текучим середовищем, яке має швидкість відносно трубопроводу для текучого середовища,

- подачі вимірювального сигналу в один з першого та другого ультразвукових елементів,
- вимірювання першого сигналу відгуку на вимірювальний сигнал на іншому з першого та

35 другого ультразвукових елементів,

- одержання швидкості потоку текучого середовища з першого сигналу відгуку, причому при подачі іспитового імпульсного сигналу в перший ультразвуковий елемент іспитового

пристрою,

- приймання іспитового сигналу відгуку на іспитовий імпульсний сигнал в другому

40 ультразвуковому елементі іспитового пристрою, при цьому другий ультразвуковий елемент установлений на трубопроводі для текучого середовища в другому місці,

- одержання іспитового вимірювального сигналу із сигналу відгуку, при цьому одержання іспитового вимірювального сигналу включає звернення сигналу відносно часу,

45 - при цьому іспитовий вимірювальний сигнал і вимірювальний сигнал, що випускається першим або другим ультразвуковим елементом, подібні.

Посилальні позиції

10 пристрій у вигляді витратоміра

11 розташований вище за потоком п'єзоелектричний елемент

12 труба

50 13 розташований нижче за потоком п'єзоелектричний елемент

14 напрямок середнього потоку

15 перший блок обчислення

16 другий блок обчислення

17 шлях сигналу

55 20 шлях сигналу

22 п'єзоелектричний елемент

23 п'єзоелектричний елемент

31-52 п'єзоелектричні елементи

60, 60' пристрій вимірювання витрати

60 61 перший з'єднувач

	62 другий з'єднувач
	63 мультиплексор
	64 ЦАП
	65 АЦП
5	66 демультимплексор
	67 блок вибору сигналу
	68 блок інвертування сигналу
	69 смуговий фільтр
10	70 запам'ятовувальний пристрій
	71 блок обчислення швидкості
	72 генератор імпульсних сигналів
	73 генератор вимірювальних сигналів
	74 командна лінія
	75 командна лінія
15	76 DDS
	77 опорний генератор
	78 регістр керування частотою
	79 генератор із числовим програмним керуванням
	80 фільтр нижніх частот
20	

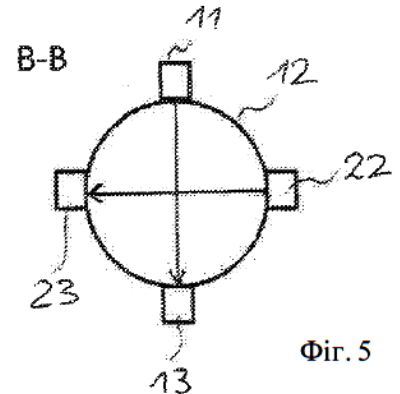
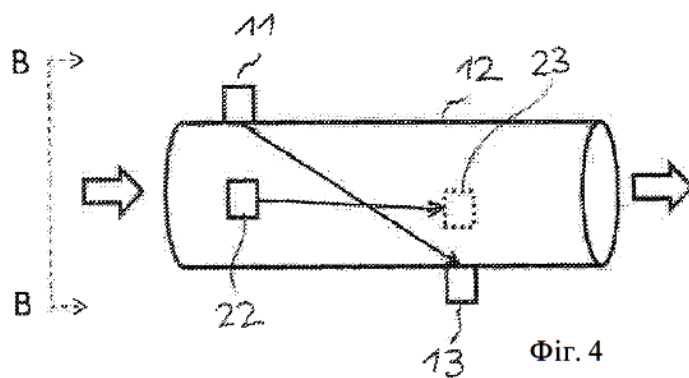
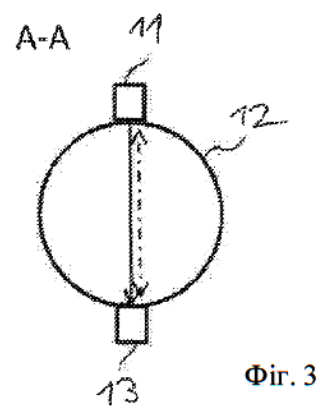
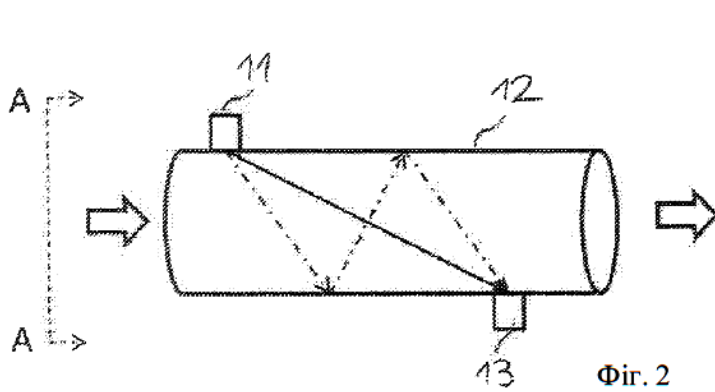
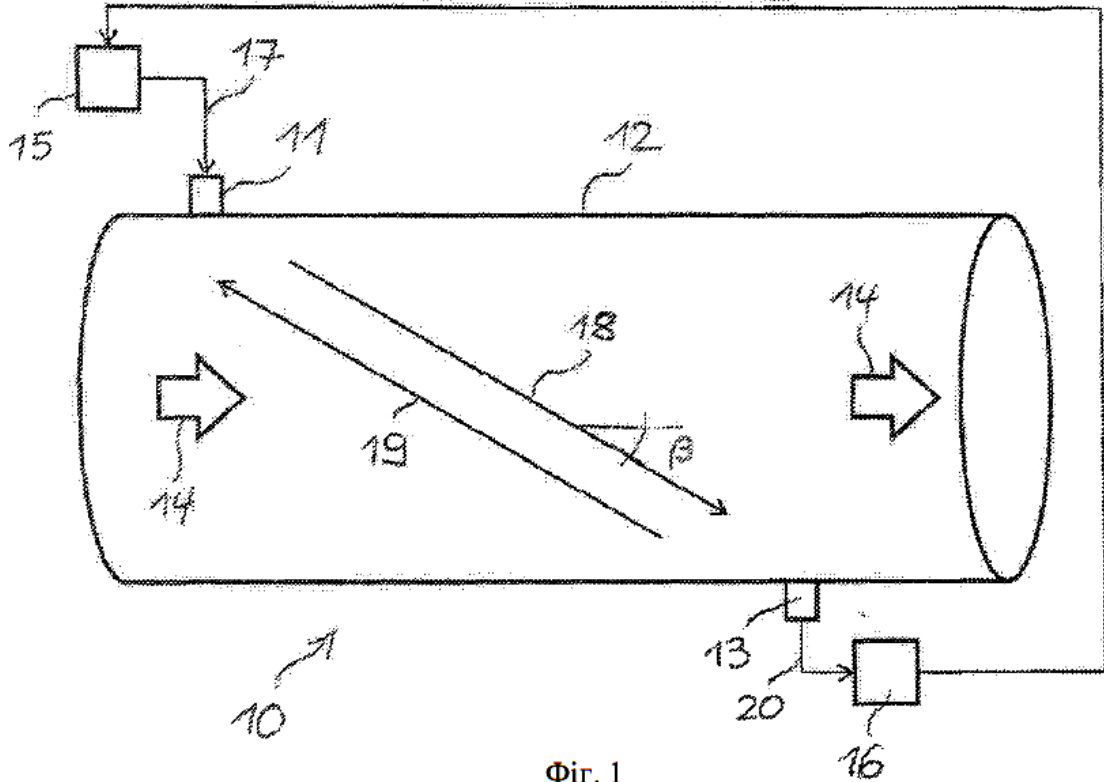
ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

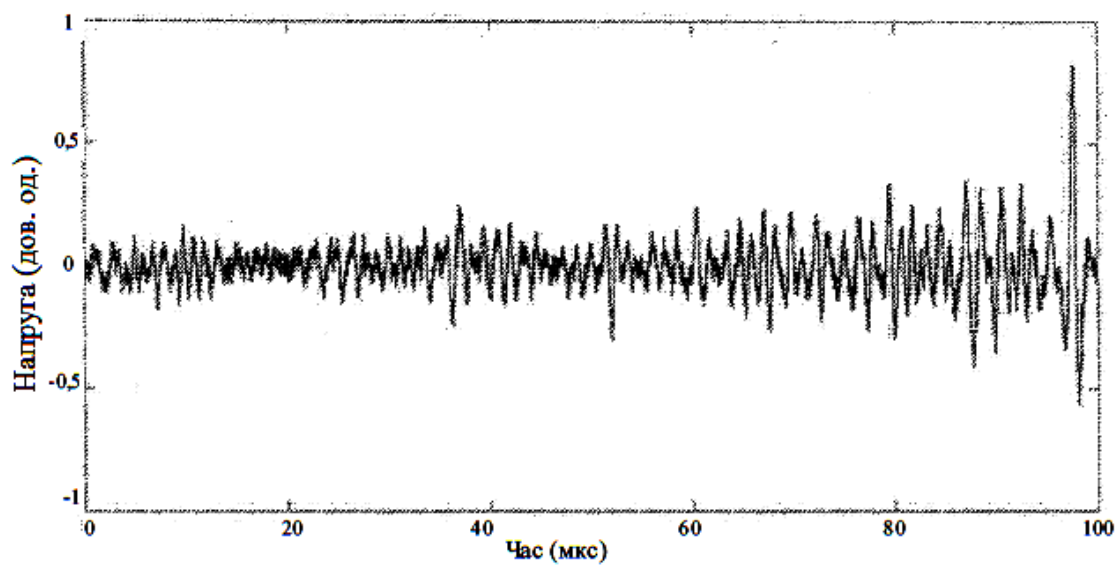
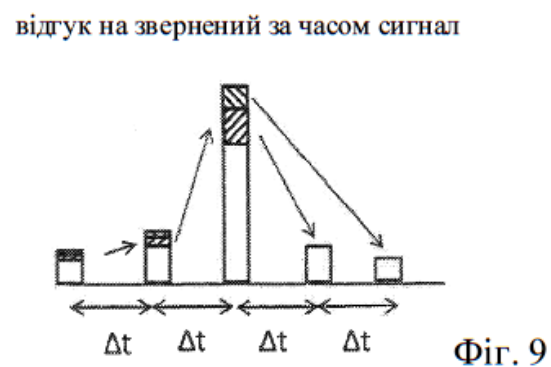
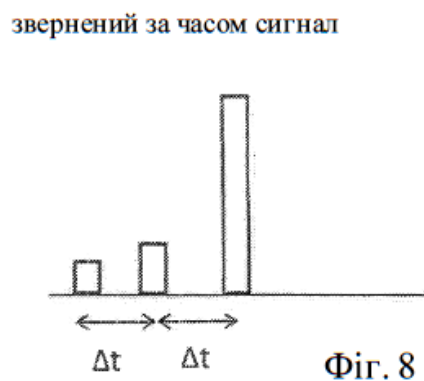
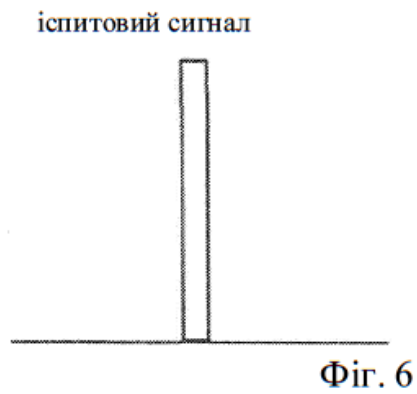
1. Спосіб визначення швидкості потоку текучого середовища в трубопроводі для текучого середовища з використанням ультразвукового витратоміра на основі вимірювання часу проходження сигналу, при цьому спосіб включає:
 - подачу імпульсного сигналу в перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на трубопроводі для текучого середовища в першому місці,
 - приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал в другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі, при цьому другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач розташований на трубопроводі для текучого середовища в другому місці, при цьому друге місце зміщене в поздовжньому напрямку трубопроводу для текучого середовища відносно першого місця,
 - одержання попередньо визначеного вимірювального сигналу із сигналу відгуку, причому одержання попередньо визначеного вимірювального сигналу включає:
 - оцифровування сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, відносно амплітуди,
 - вибір частини сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, і звернення частини сигналу відносно часу, причому звернення частини сигналу включає звернення порядку записаних дискретних значень прийнятого сигналу відгуку, і
 - збереження попередньо визначеного вимірювального сигналу для подальшого використання,
 - забезпечення трубопроводу для текучого середовища текучим середовищем, яке має попередньо визначену швидкість відносно трубопроводу для текучого середовища,
 - подачу попередньо визначеного вимірювального сигналу в один з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів, при цьому вимірювальний сигнал містить звернену відносно часу частину сигналу відгуку на імпульсний сигнал або сигнал, отриманий з нього,
 - вимірювання першого сигналу відгуку на вимірювальний сигнал на іншому з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів,
 - одержання швидкості потоку текучого середовища з першого сигналу відгуку.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що включає:
 - повторення етапів подачі вимірювального сигналу та вимірювання сигналу відгуку у зворотному напрямку для отримання другого сигналу відгуку,
 - одержання швидкості потоку текучого середовища з першого сигналу відгуку та другого сигналу відгуку.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що частина сигналу, яку використовують для одержання вимірювального сигналу, містить першу частину поблизу максимальної амплітуди сигналу відгуку та кінцеву частину сигналу, при цьому кінцева частина сигналу проходить у часі після часу досягнення максимальної амплітуди.
4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що включає:
 - повторення етапів подачі імпульсного сигналу та приймання відповідного сигналу відгуку множині раз із отриманням при цьому множини сигналів відгуку,

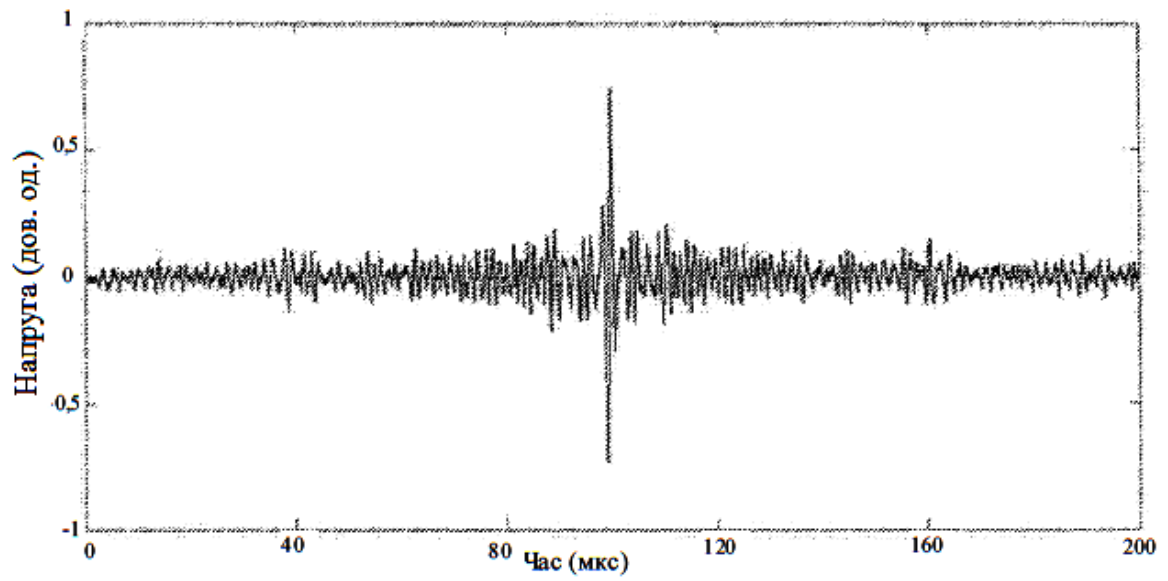
- одержання вимірювального сигналу із середнього значення прийнятих сигналів відгуку.
- 5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що включає збільшення бітової роздільної здатності оцифрованого сигналу для збільшення амплітуди сигналу відгуку на вимірювальний сигнал.
- 5 6. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що включає зниження бітової роздільної здатності оцифрованого сигналу для збільшення амплітуди сигналу відгуку на вимірювальний сигнал.
- 7. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що бітова роздільна здатність оцифрованого сигналу відносно амплітуди являє собою низьку бітову роздільну здатність.
- 10 8. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що включає обробку щонайменше одного із сигналів відгуку для визначення зміни в товщині стінки трубопроводу або для визначення характеристик матеріалу стінок трубопроводу шляхом визначення характеристик поздовжньої та поперечної звукових хвиль.
- 9. Пристрій для вимірювання швидкості потоку в ультразвуковому витратомірі на основі вимірювання часу проходження сигналу, який містить:
 - 15 - перший з'єднувач для першого ультразвукового елемента,
 - другий з'єднувач для другого ультразвукового елемента,
 - передавальний блок для відправлення імпульсного сигналу в перший з'єднувач,
 - цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), при цьому цифро-аналоговий перетворювач з'єднаний з першим з'єднувачем,
 - 20 - аналого-цифровий перетворювач (АЦП), при цьому аналого-цифровий перетворювач з'єднаний із другим з'єднувачем,
 - машинозчитуваний запам'ятовуючий пристрій для збереження вимірювального сигналу,
 - приймальний блок для приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал від другого з'єднувача,
 - блок вибору для вибору частини прийнятого сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього,
 - 25 - блок інвертування для інвертування сигналу відгуку відносно часу для отримання інвертованого сигналу, при цьому блок інвертування передбачений для інвертування вибраної частини сигналу відгуку відносно часу для отримання інвертованого сигналу, причому інвертування частини сигналу включає звернення порядку записаних дискретних значень прийнятого сигналу відгуку,
 - 30 - блок обробки для одержання вимірювального сигналу з інвертованого сигналу та збереження вимірювального сигналу, причому одержання вимірювального сигналу включає оцифровування сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, відносно амплітуди.
- 10. Пристрій за п. 9, який **відрізняється** тим, що пристрій містить:
 - 35 - генератор вимірювальних сигналів, при цьому генератор вимірювальних сигналів виконаний з можливістю з'єднання з першим з'єднувачем або із другим з'єднувачем,
 - засіб передачі для відправлення вимірювального сигналу в перший з'єднувач,
 - приймальний блок для приймання сигналу відгуку на вимірювальний сигнал від другого з'єднувача,
 - другий блок обробки для одержання швидкості потоку із прийнятого сигналу відгуку.
 - 40 11. Пристрій за п. 9, який **відрізняється** тим, що пристрій містить прямий цифровий синтезатор сигналів, при цьому прямий цифровий синтезатор сигналів містить АЦП, регістр керування частотою, опорний генератор, генератор із числовим програмним керуванням та відновлювальний фільтр нижніх частот, при цьому АЦП виконаний з можливістю з'єднання з першим і другим з'єднувачами через відновлювальний фільтр нижніх частот.
 - 45 12. Пристрій за п. 9, який **відрізняється** тим, що пристрій містить:
 - перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач з'єднаний з першим з'єднувачем,
 - другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач з'єднаний із другим з'єднувачем.
 - 50 13. Пристрій за п. 9, який **відрізняється** тим, що містить частину труби, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на частині труби в першому місці, а другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на частині труби в другому місці, при цьому друге місце зміщене в поздовжньому напрямку трубопроводу для текучого середовища відносно першого місця.
 - 55 14. Спосіб визначення швидкості потоку текучого середовища в трубопроводі для текучого середовища з використанням ультразвукового витратоміра на основі вимірювання часу проходження сигналу, при цьому спосіб включає:
 - забезпечення трубопроводу для текучого середовища текучим середовищем, яке має попередньо визначену швидкість відносно трубопроводу для текучого середовища,

- надання імпульсного сигналу в перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач розташований на трубопроводі для текучого середовища в першому місці,
- приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал в другому ультразвуковому вимірювальному перетворювачі, при цьому другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач розташований на трубопроводі для текучого середовища в другому місці, при цьому друге місце зміщене в поздовжньому напрямку трубопроводу для текучого середовища відносно першого місця,
- одержання вимірювального сигналу із сигналу відгуку, при цьому одержання вимірювального сигналу включає:
 - оцифровування сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, відносно амплітуди та відносно часу,
 - вибір частини сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, і звернення частини сигналу відносно часу,
 - причому звернення частини сигналу включає звернення порядку записаних дискретних значень прийнятого сигналу відгуку,
 - збереження вимірювального сигналу для подальшого використання,
 - забезпечення трубопроводу для текучого середовища текучим середовищем, при цьому має місце рух текучого середовища відносно трубопроводу для текучого середовища,
 - подачу вимірювального сигналу в один з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів,
 - вимірювання першого сигналу відгуку на вимірювальний сигнал на іншому з першого та другого ультразвукових вимірювальних перетворювачів,
 - одержання швидкості потоку текучого середовища з першого сигналу відгуку.
- 15. Пристрій для вимірювання швидкості потоку в ультразвуковому витратомірі на основі вимірювання часу проходження сигналу, який містить:
 - перший з'єднувач для першого ультразвукового елемента,
 - другий з'єднувач для другого ультразвукового елемента,
 - передавальний блок для відправлення імпульсного сигналу в перший з'єднувач,
 - приймальний блок для приймання сигналу відгуку на імпульсний сигнал від другого з'єднувача,
 - блок обробки для одержання вимірювального сигналу з інвертованого сигналу та збереження вимірювального сигналу, причому одержання вимірювального сигналу включає оцифровування сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, відносно амплітуди,
 - блок вибору для вибору частини прийнятого сигналу відгуку або сигналу, одержаного з нього, блок інвертування, причому блок інвертування передбачений для інвертування вибраної частини сигналу відгуку відносно часу для отримання інвертованого сигналу, причому інвертування включає звернення порядку записаних дискретних значень прийнятого сигналу відгуку,
 - генератор вимірювальних сигналів для генерування вимірювального сигналу, який містить звернену відносно часу частину сигналу відгуку на імпульсний сигнал або сигналу, одержаного з нього, причому генератор вимірювальних сигналів виконаний з можливістю з'єднання з першим з'єднувачем або із другим з'єднувачем,
 - цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), при цьому цифро-аналоговий перетворювач з'єднаний з першим з'єднувачем,
 - аналого-цифровий перетворювач (АЦП), при цьому аналого-цифровий перетворювач з'єднаний із другим з'єднувачем,
 - машинозчитуваний запам'ятовуючий пристрій для збереження вимірювального сигналу,
 - засіб передачі для відправлення вимірювального сигналу в перший з'єднувач,
 - приймальний блок для приймання сигналу відгуку на вимірювальний сигнал від другого з'єднувача,
 - блок обробки для одержання швидкості потоку із прийнятого сигналу відгуку.
- 16. Пристрій за п. 15, який **відрізняється** тим, що пристрій містить прямий цифровий синтезатор сигналів, при цьому прямий цифровий синтезатор сигналів містить АЦП, регістр керування частотою, опорний генератор, генератор із числовим програмним керуванням та відновлювальний фільтр нижніх частот, при цьому АЦП виконаний з можливістю з'єднання з першим і другим з'єднувачами через відновлювальний фільтр нижніх частот.
- 17. Пристрій за п. 15, який **відрізняється** тим, що пристрій містить:
 - перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач з'єднаний з першим з'єднувачем,
 - другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач, при цьому другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач з'єднаний із другим з'єднувачем.

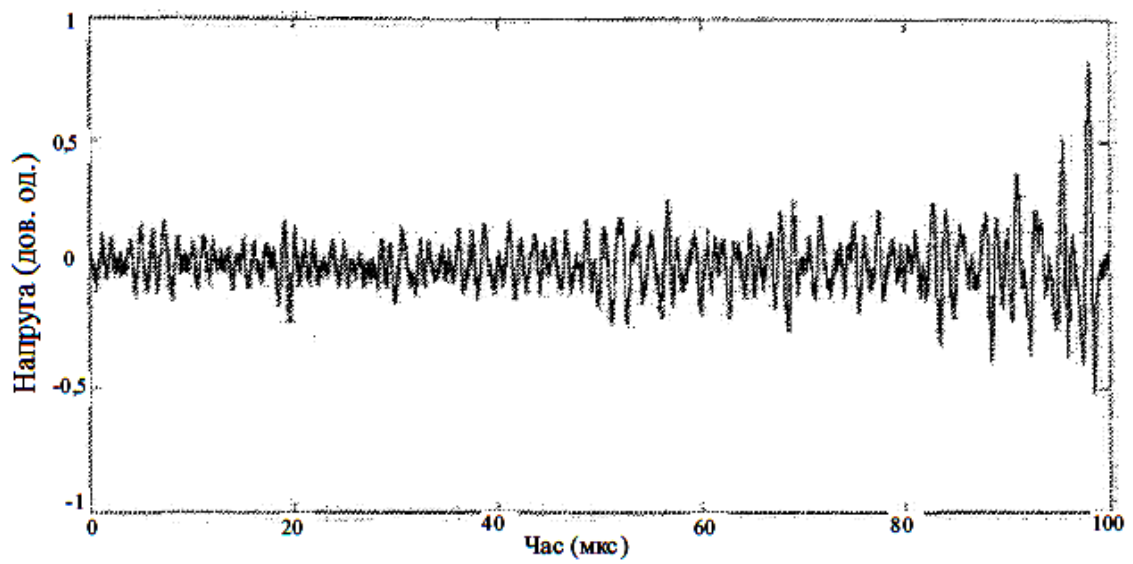
18. Пристрій за п. 15, який **відрізняється** тим, що містить частину труби, при цьому перший ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на частині труби в першому місці, а другий ультразвуковий вимірювальний перетворювач установлений на частині труби в другому місці, при цьому друге місце зміщене в поздовжньому напрямку трубопроводу для текучого середовища відносно першого місця.



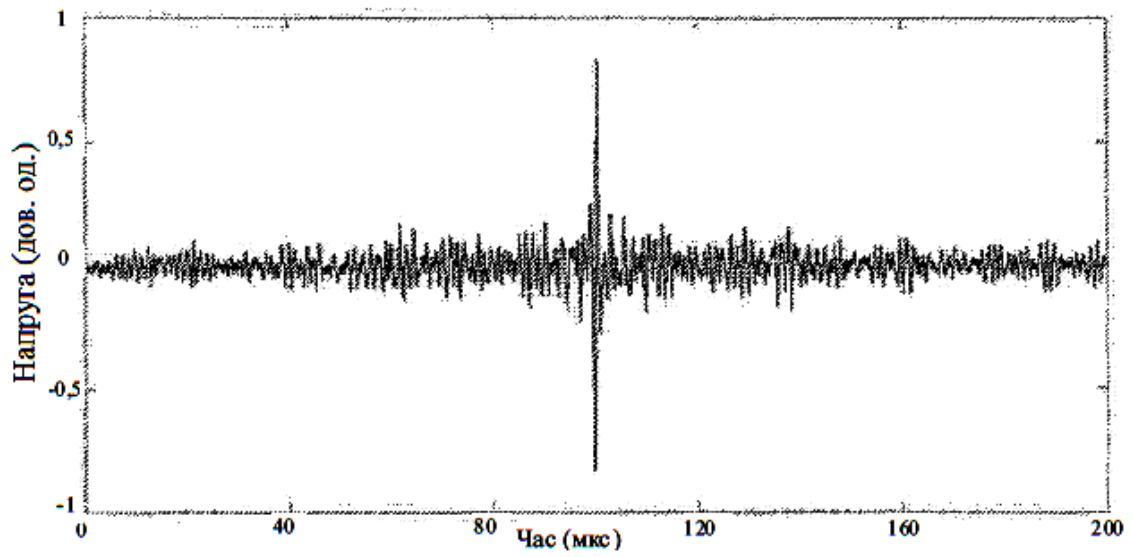




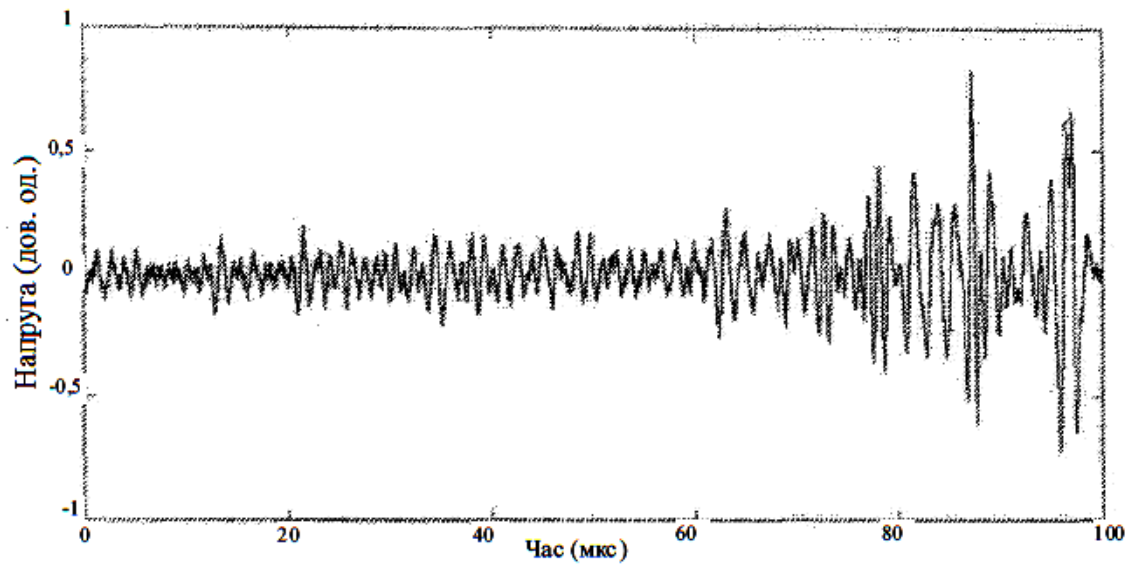
Фіг. 11



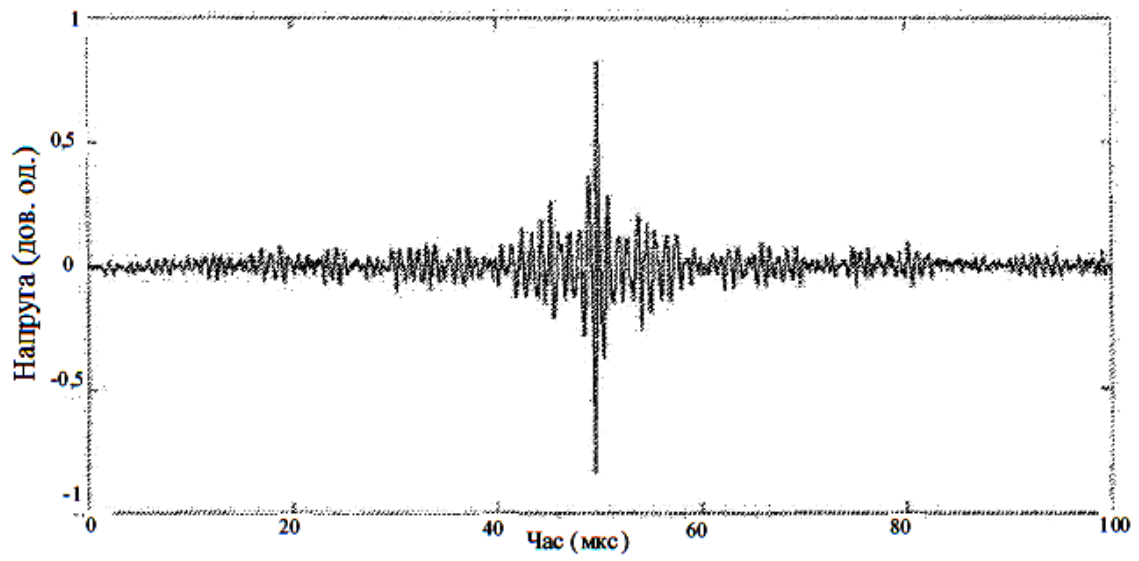
Фіг. 12



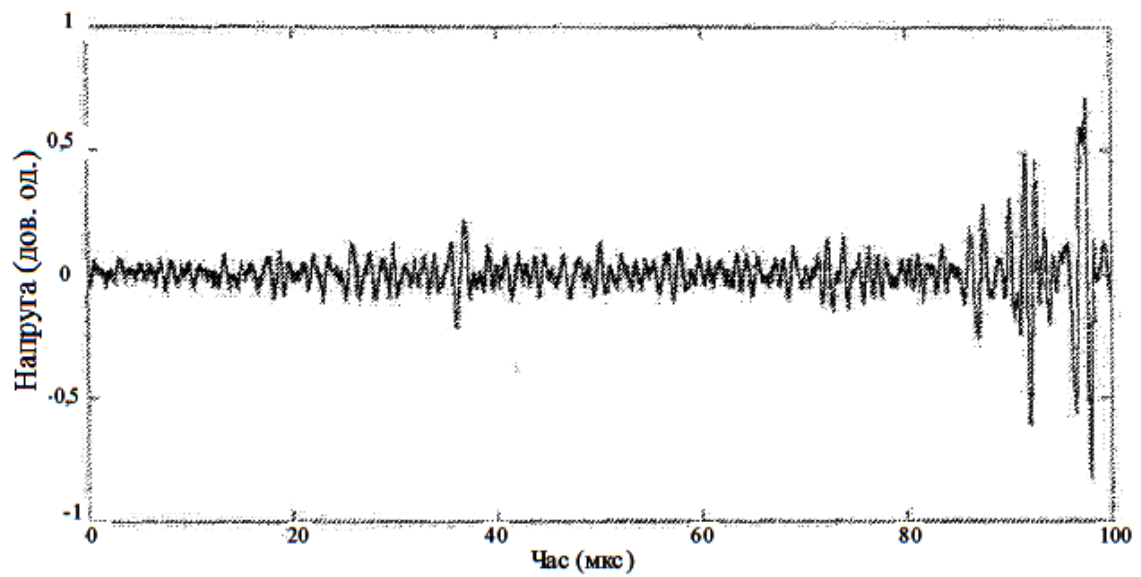
Фіг. 13



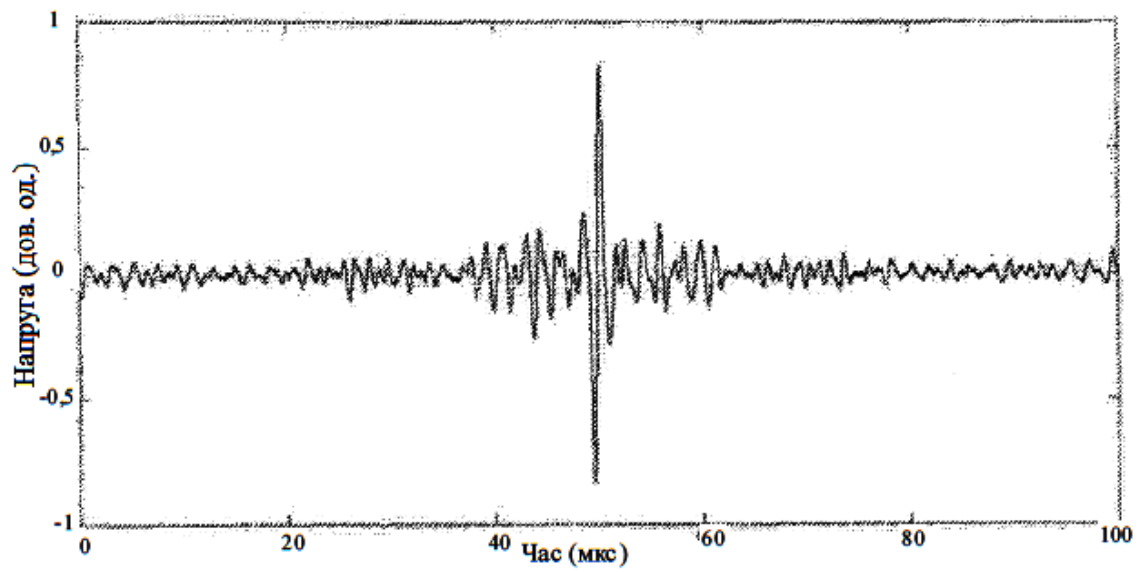
Фіг. 14



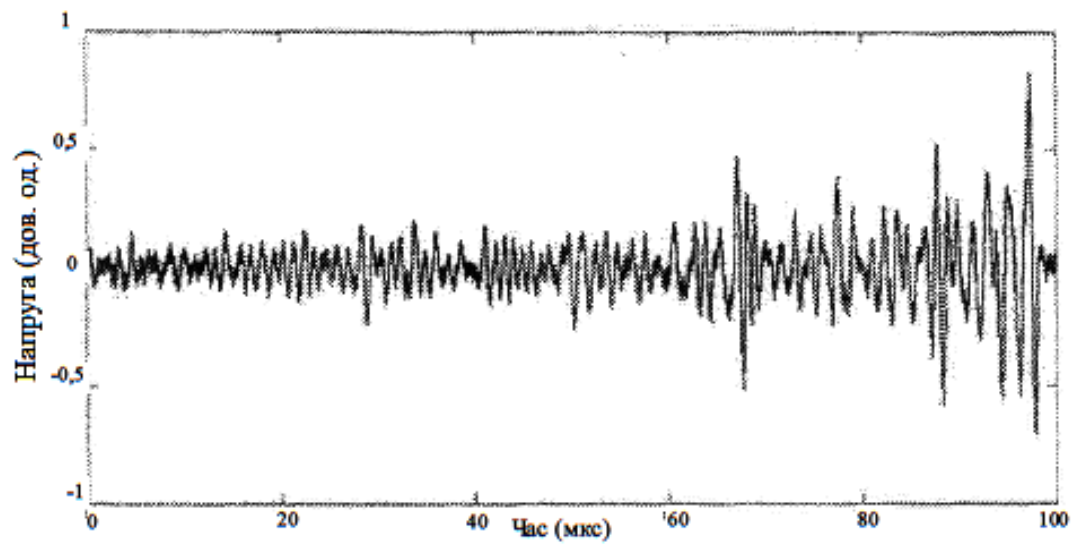
Фиг. 15



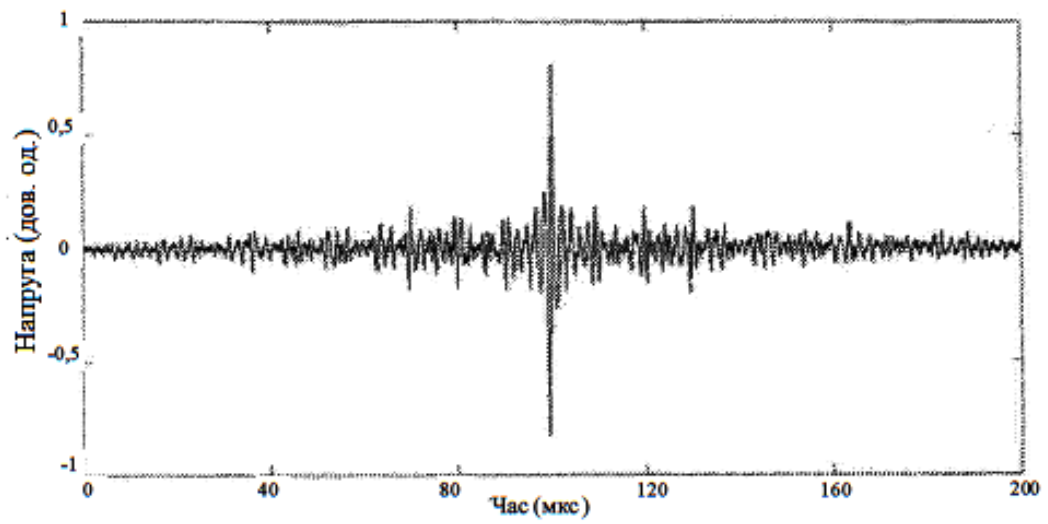
Фиг. 16



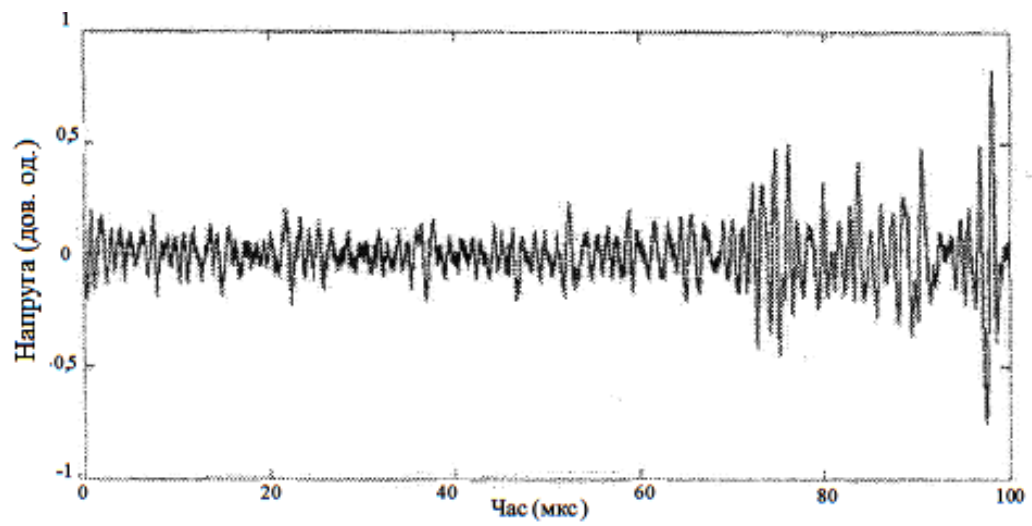
Фиг. 17



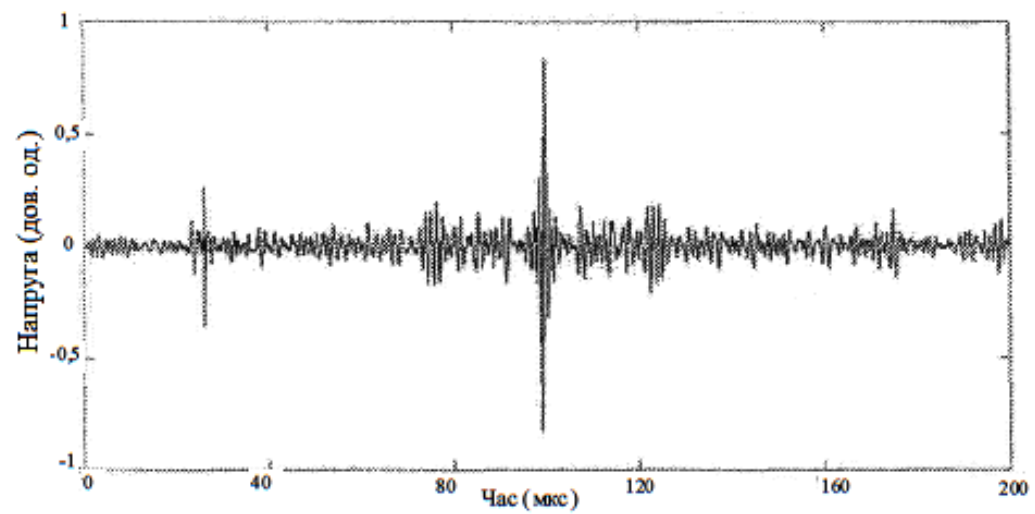
Фиг. 18



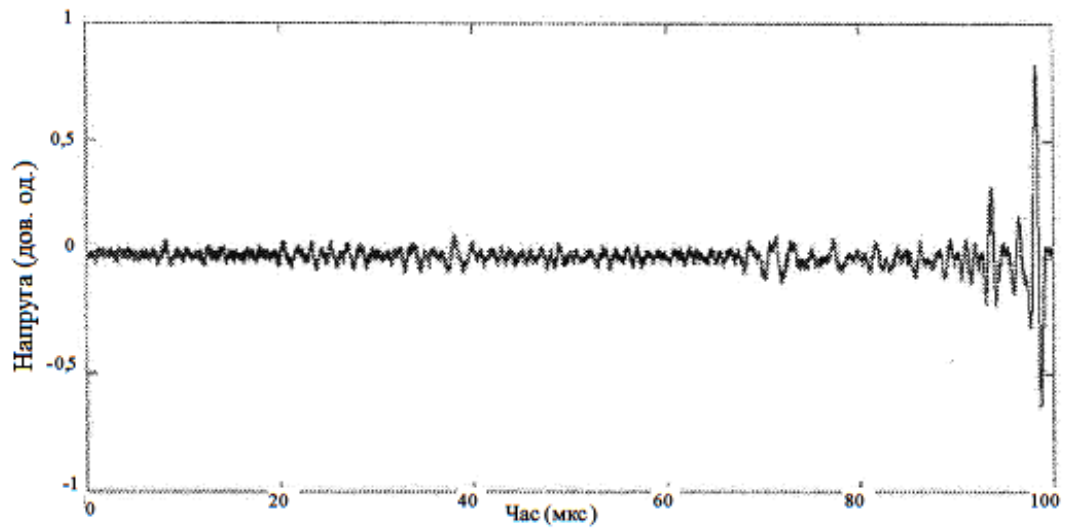
Фиг. 19



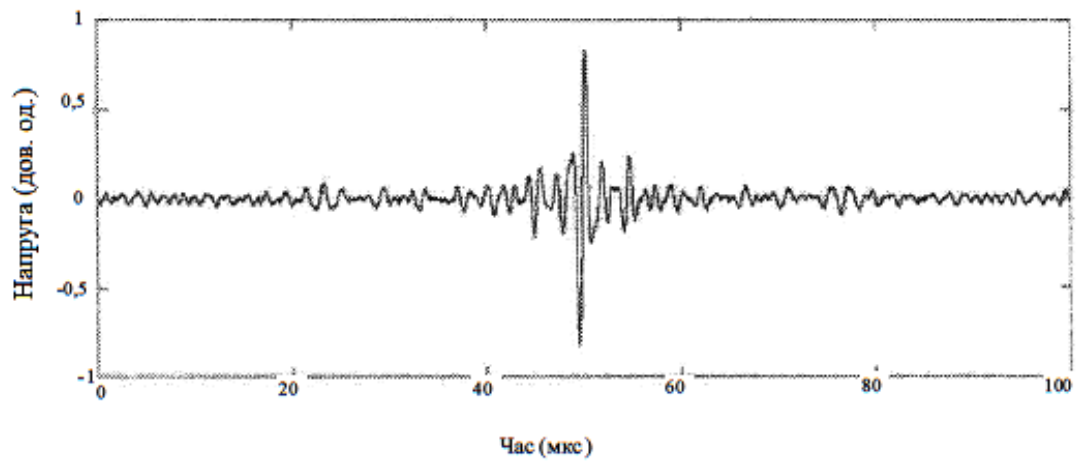
Фиг. 20



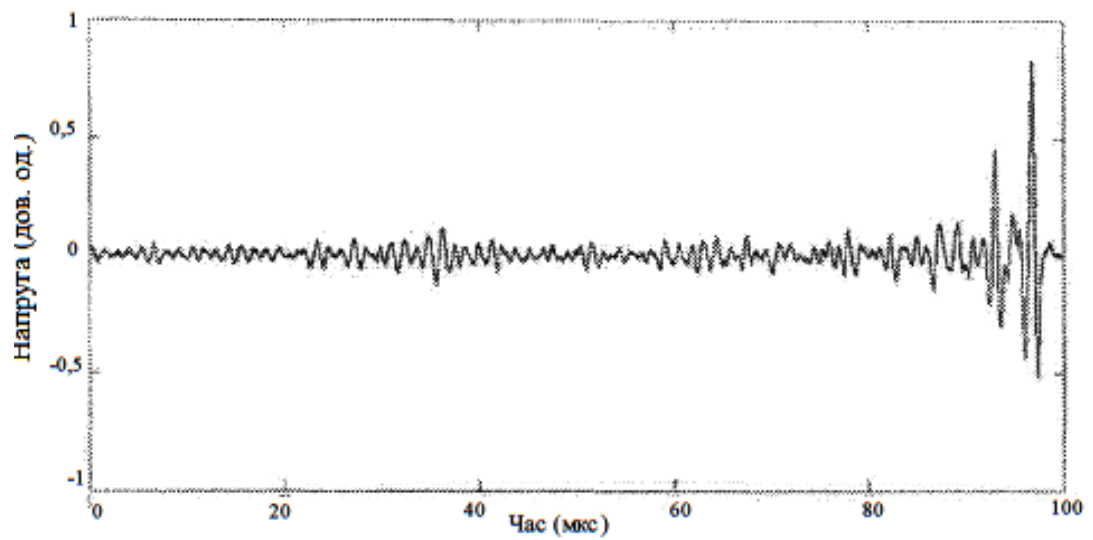
Фиг. 21



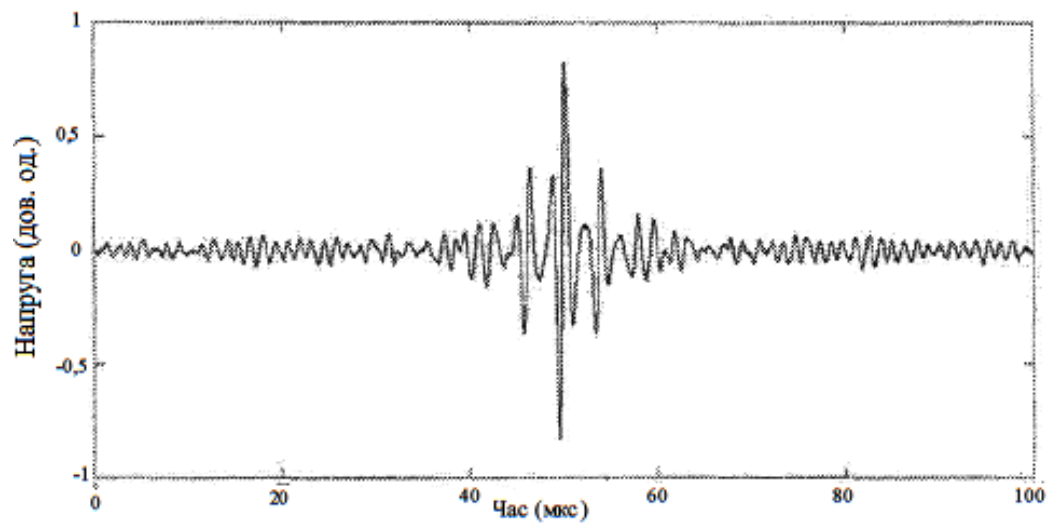
Фіг. 22



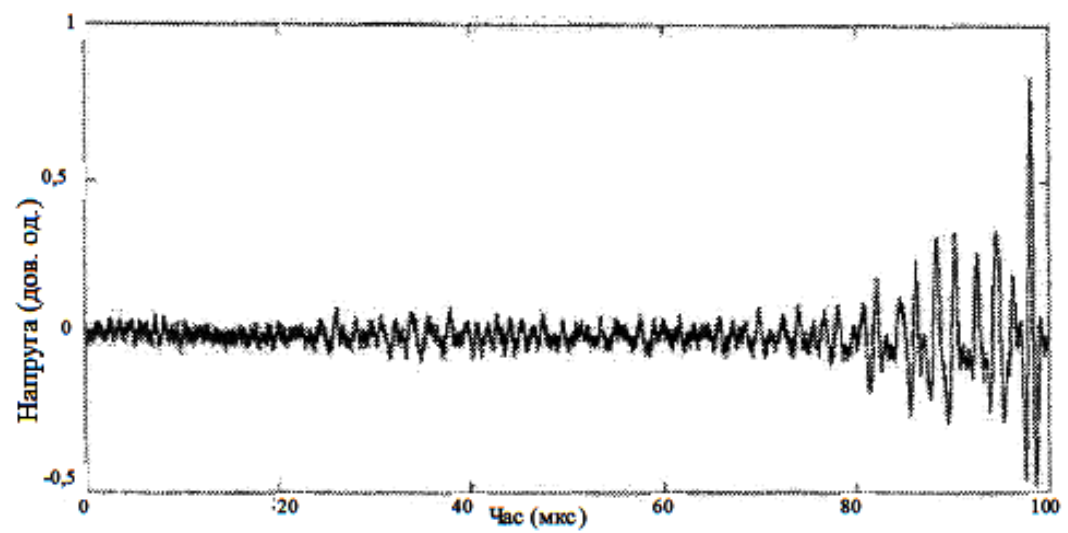
Фіг. 23



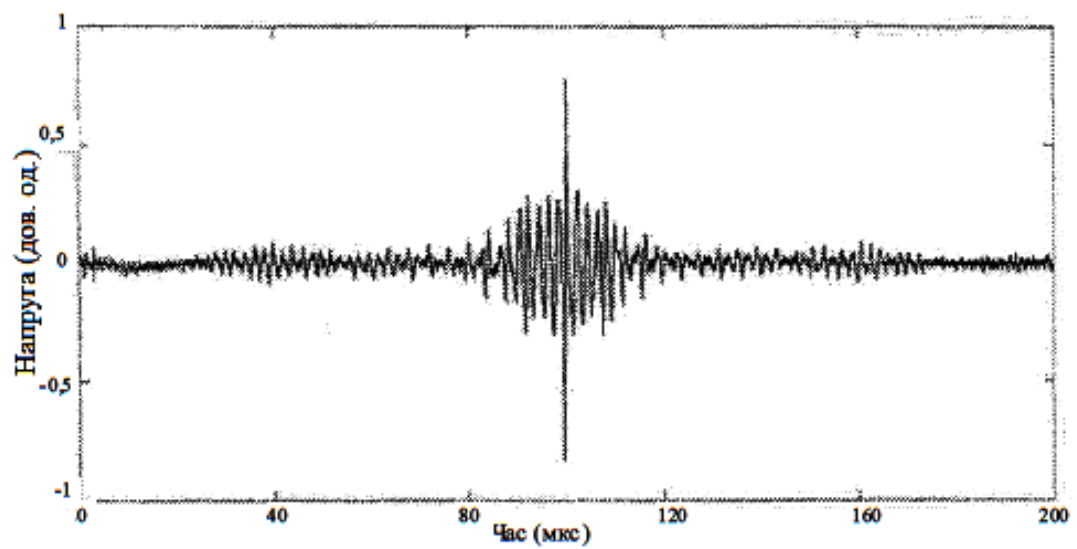
Фіг. 24



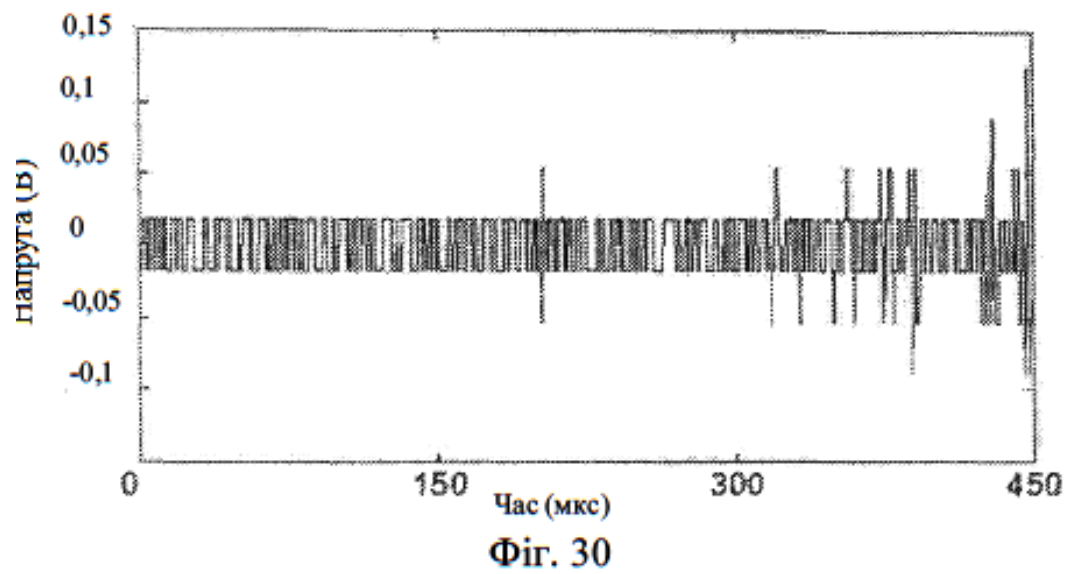
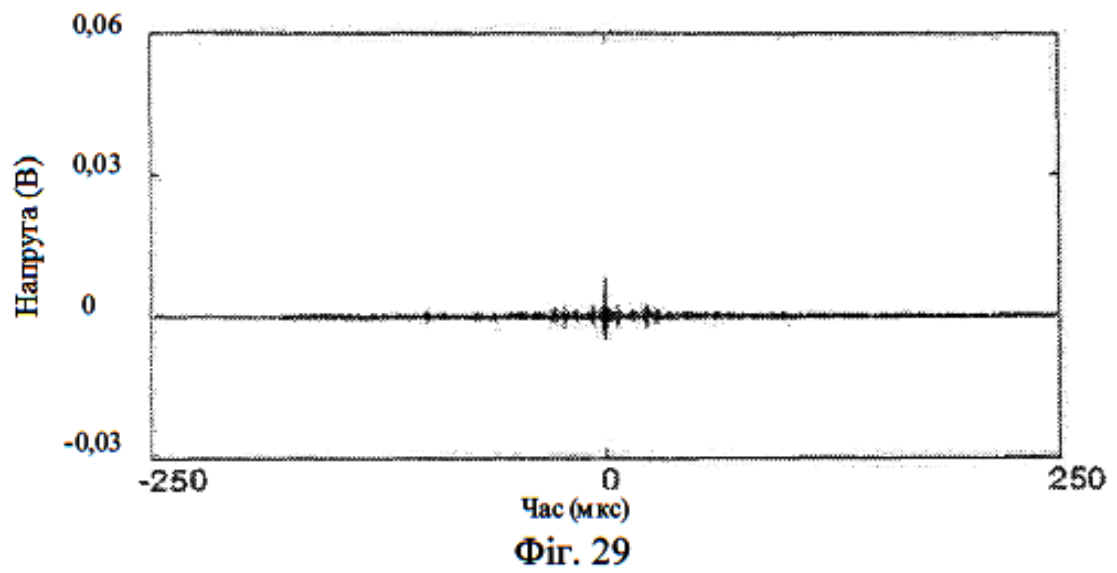
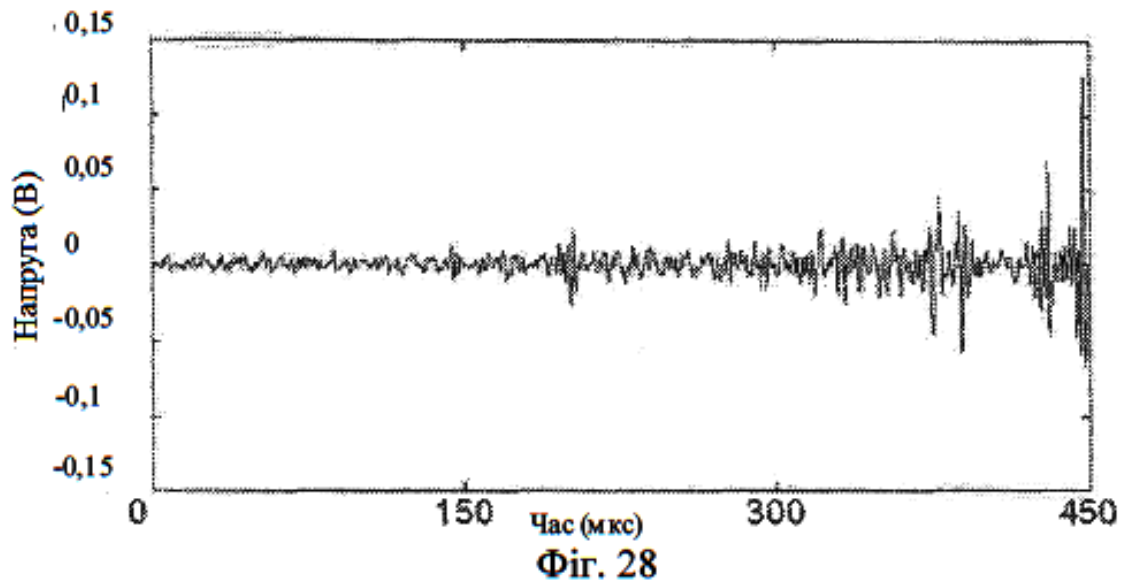
Фиг. 25

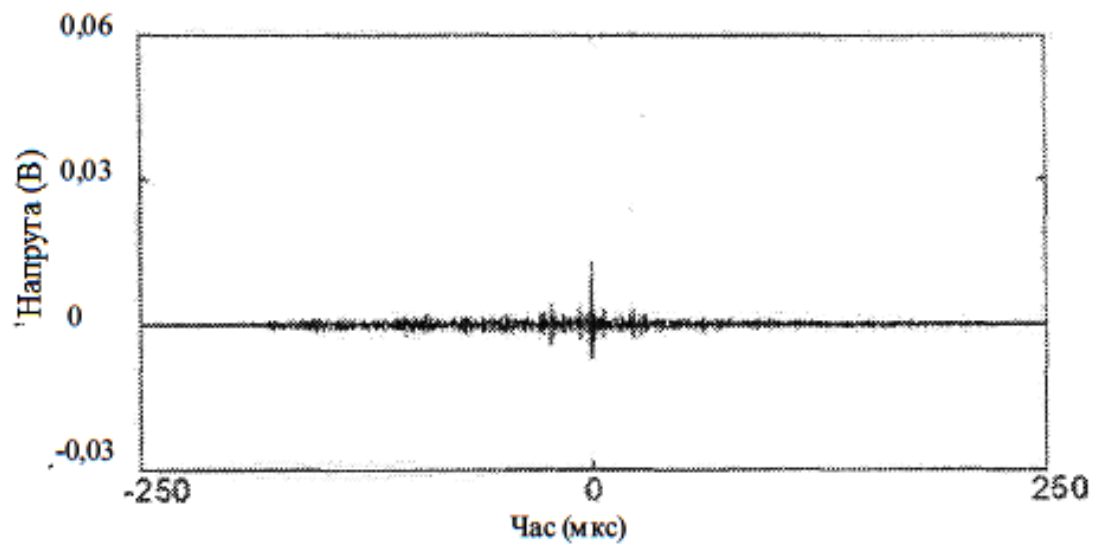


Фиг. 26

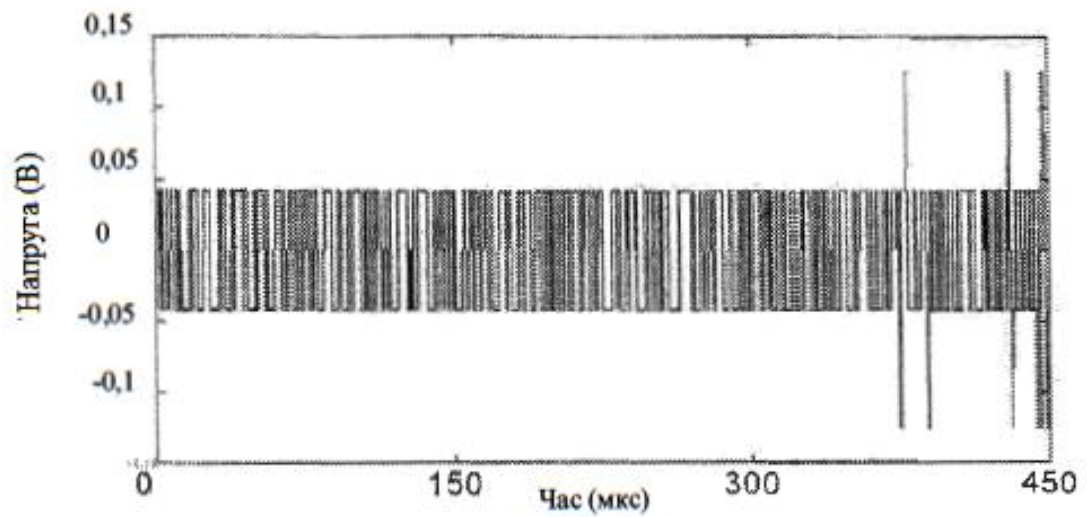


Фиг. 27

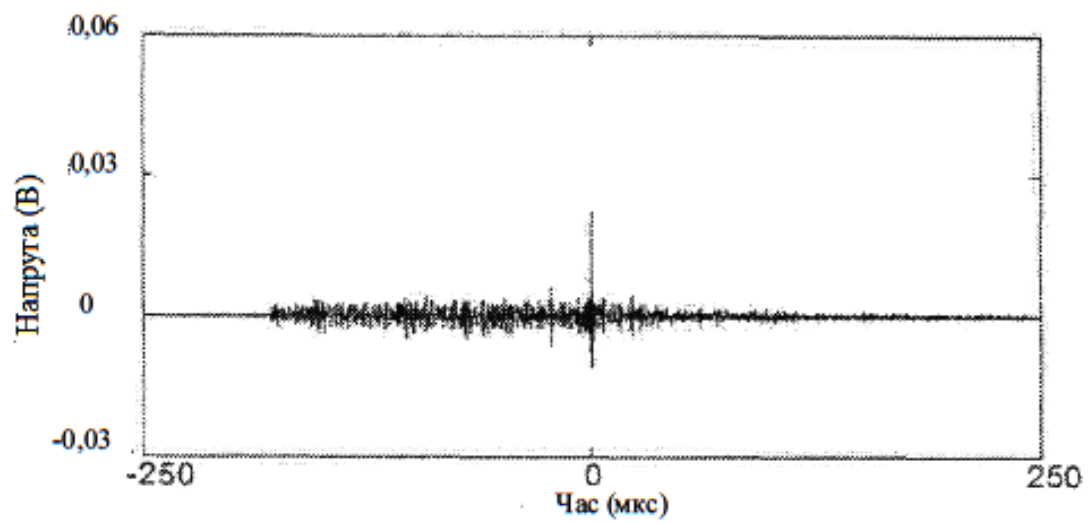




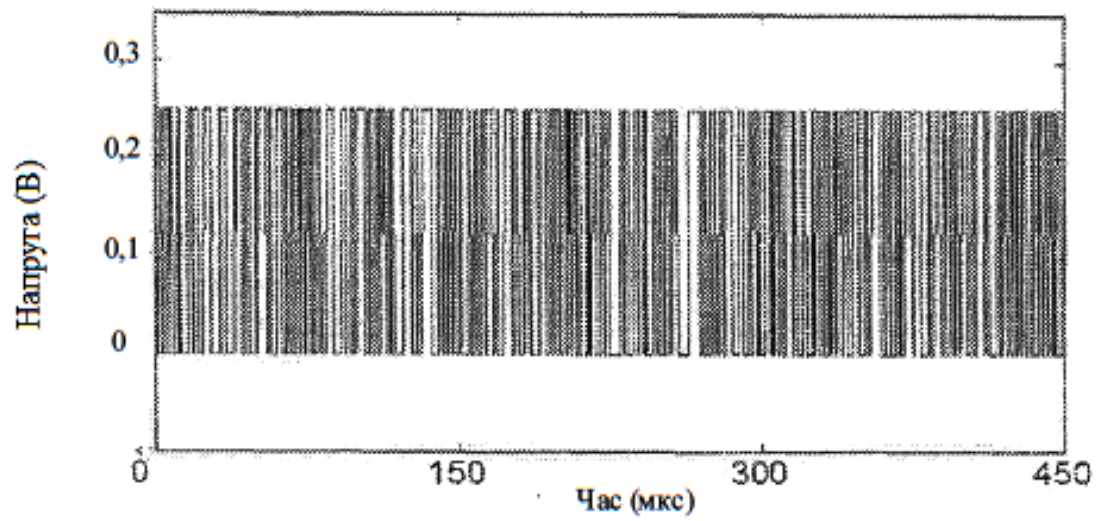
Фіг. 31



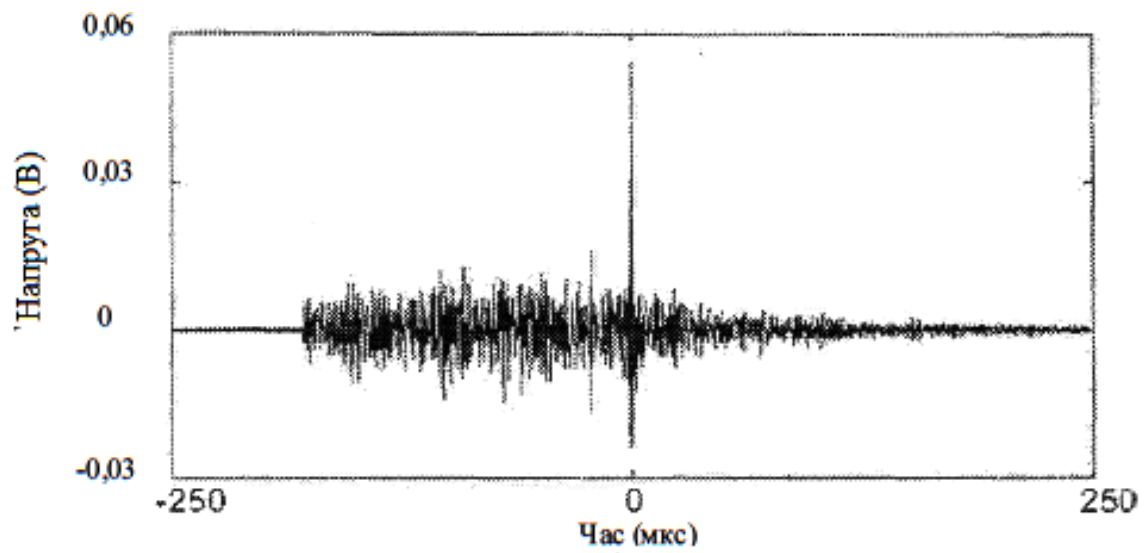
Фіг. 32



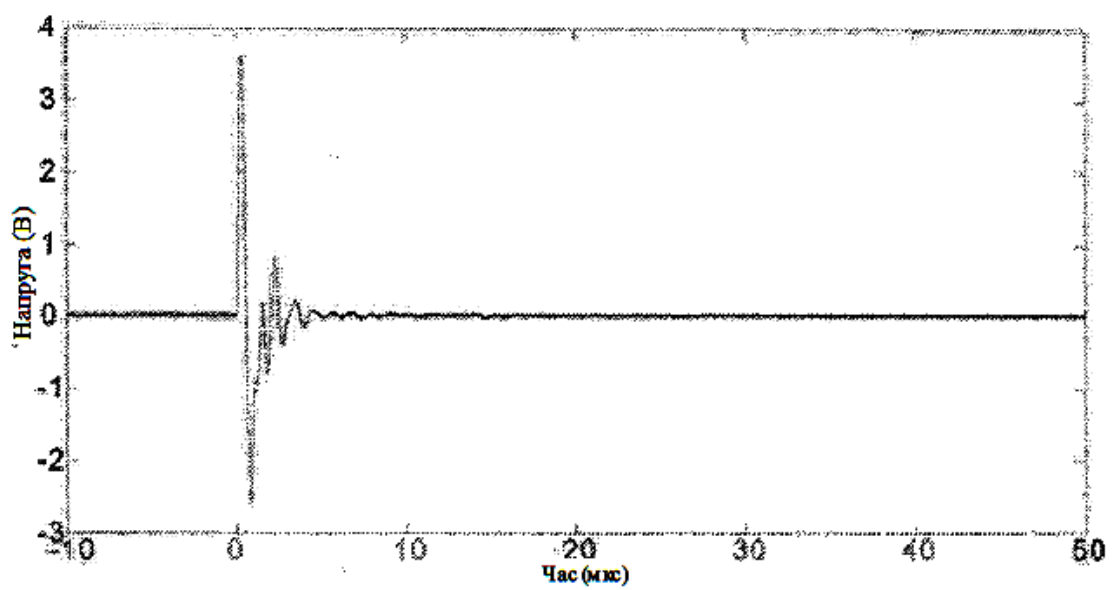
Фіг. 33



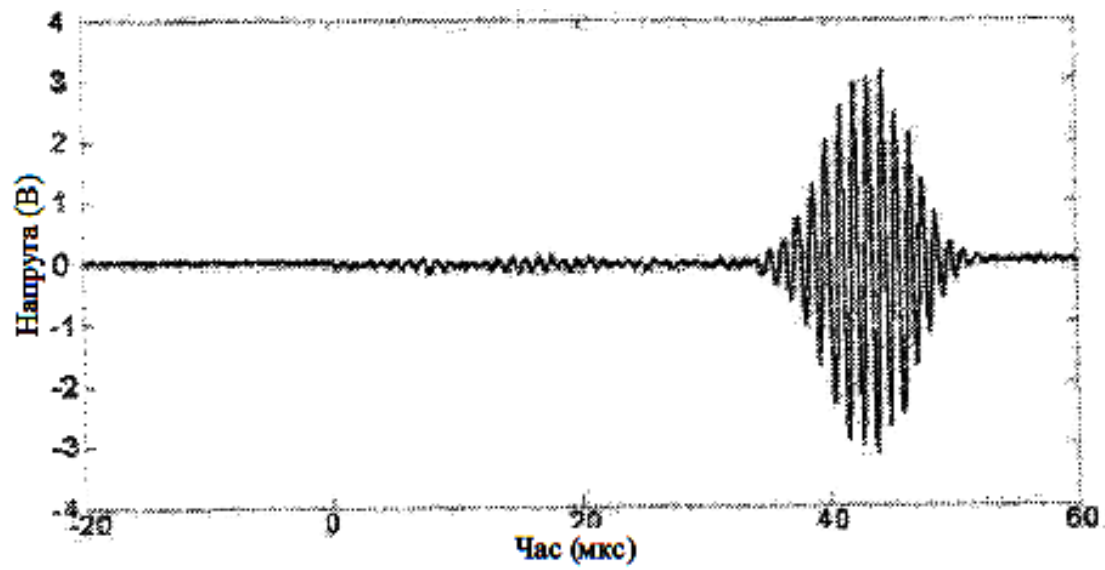
Фіг. 34



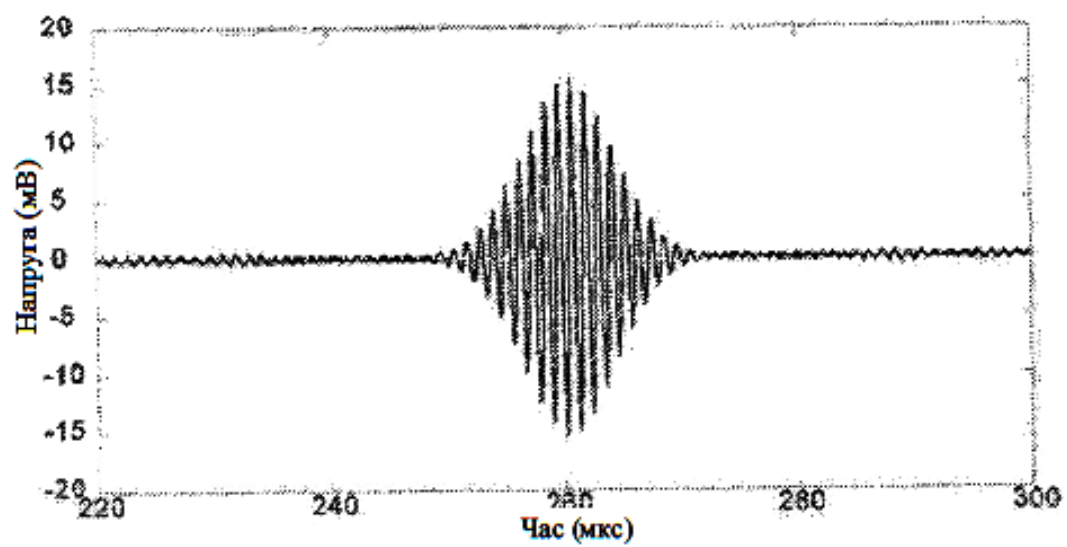
Фіг. 35



Фіг. 36



Фиг. 37



Фиг. 38

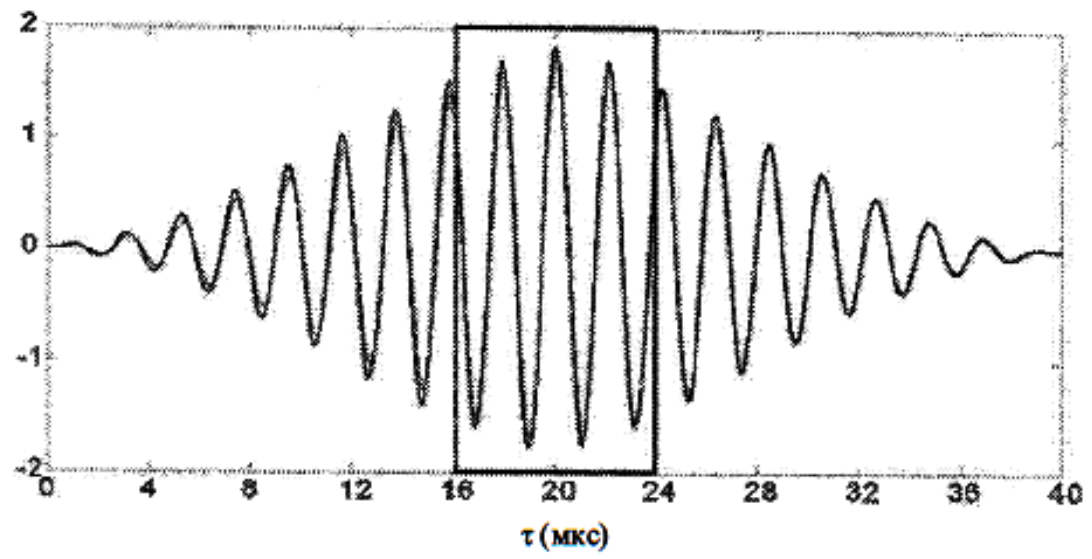


Fig. 39

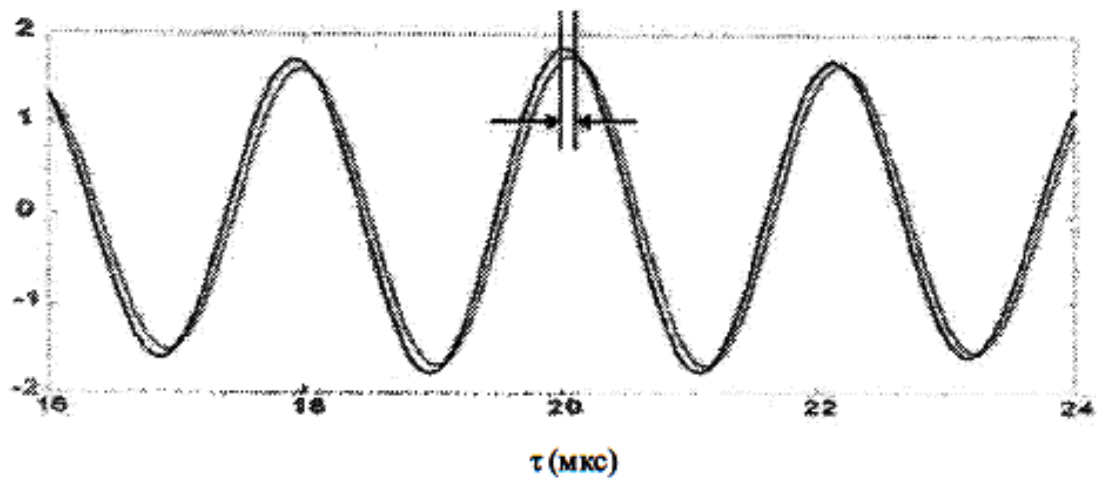
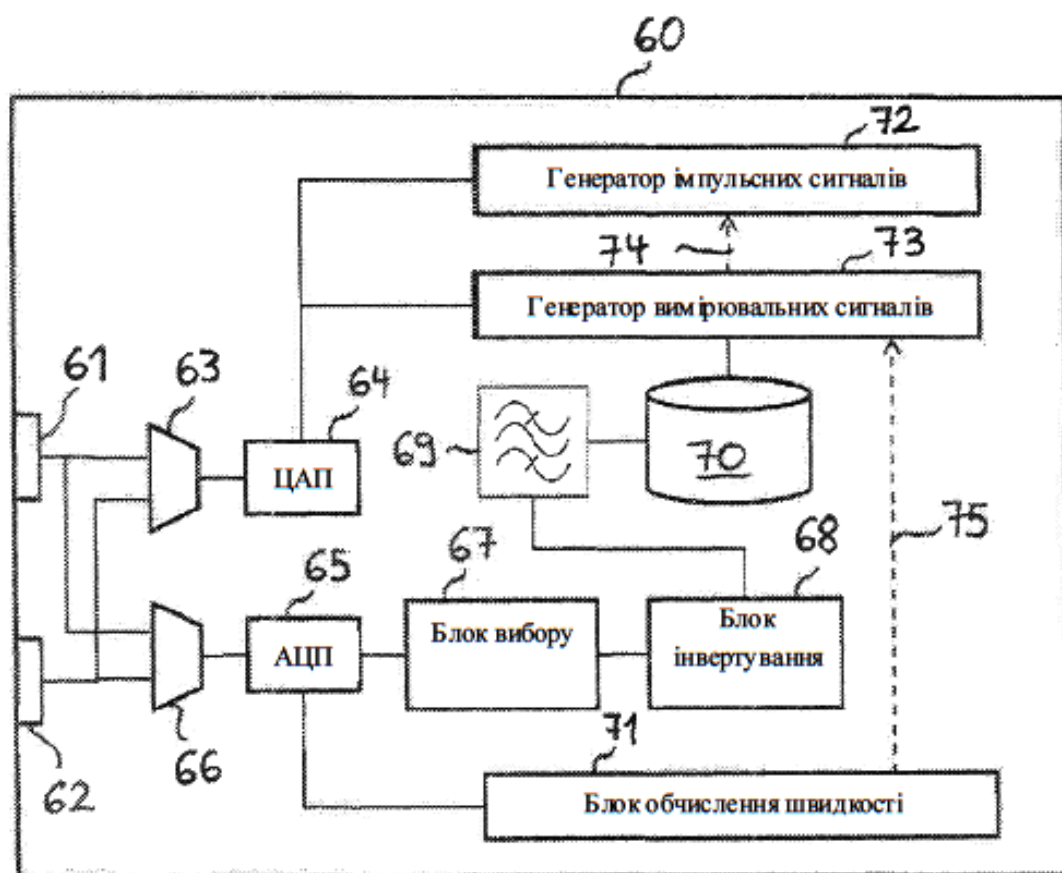
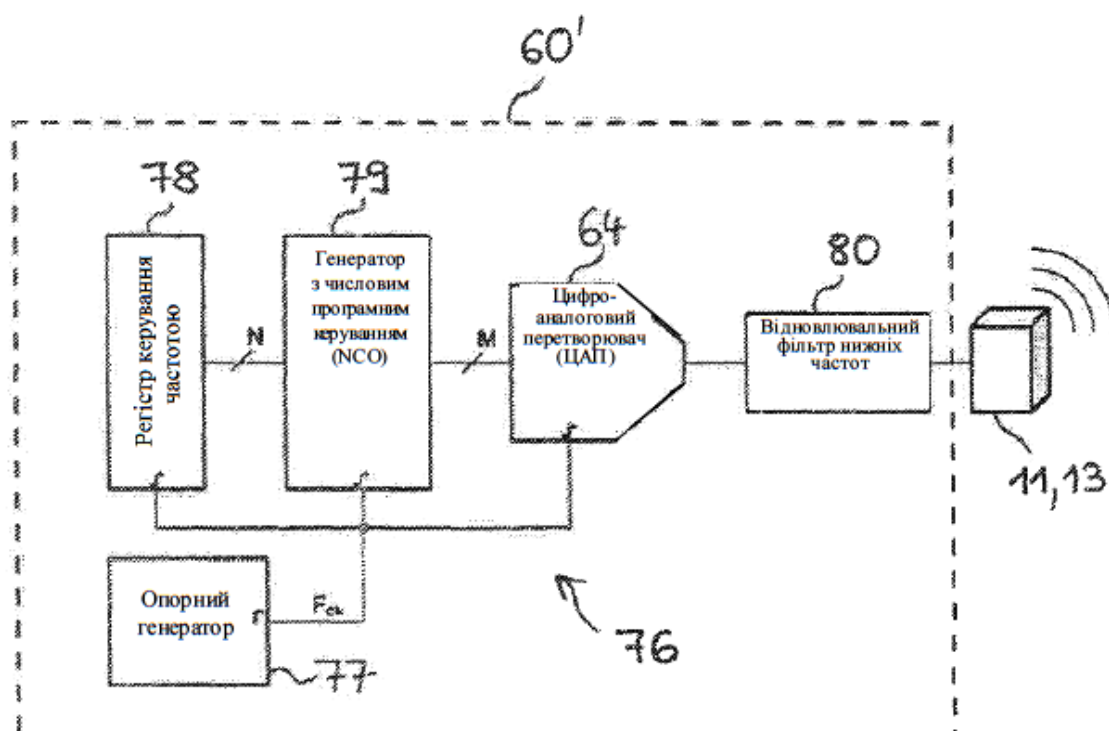


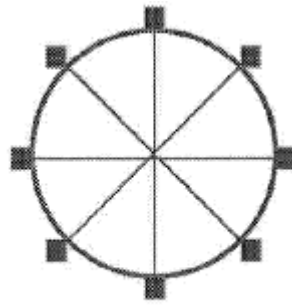
Fig. 40



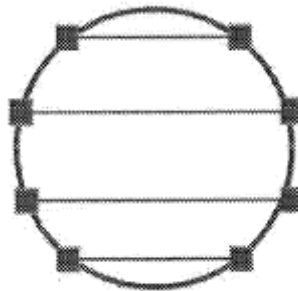
Фіг. 41



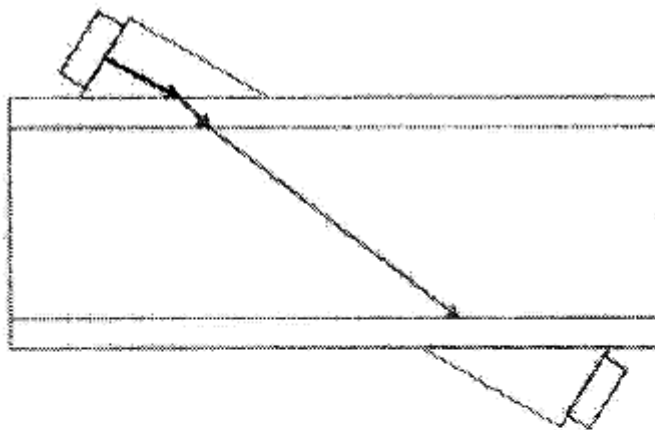
Фіг. 42



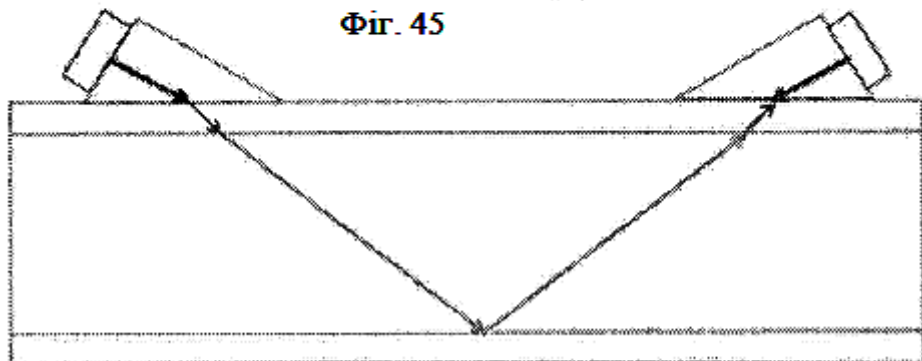
Фиг. 43



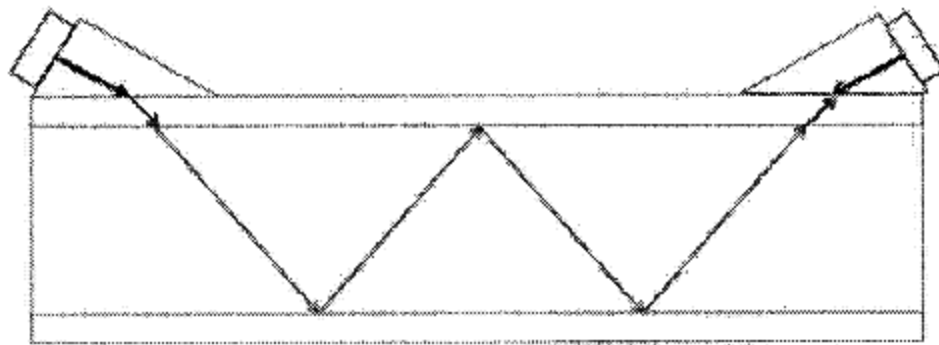
Фиг. 44



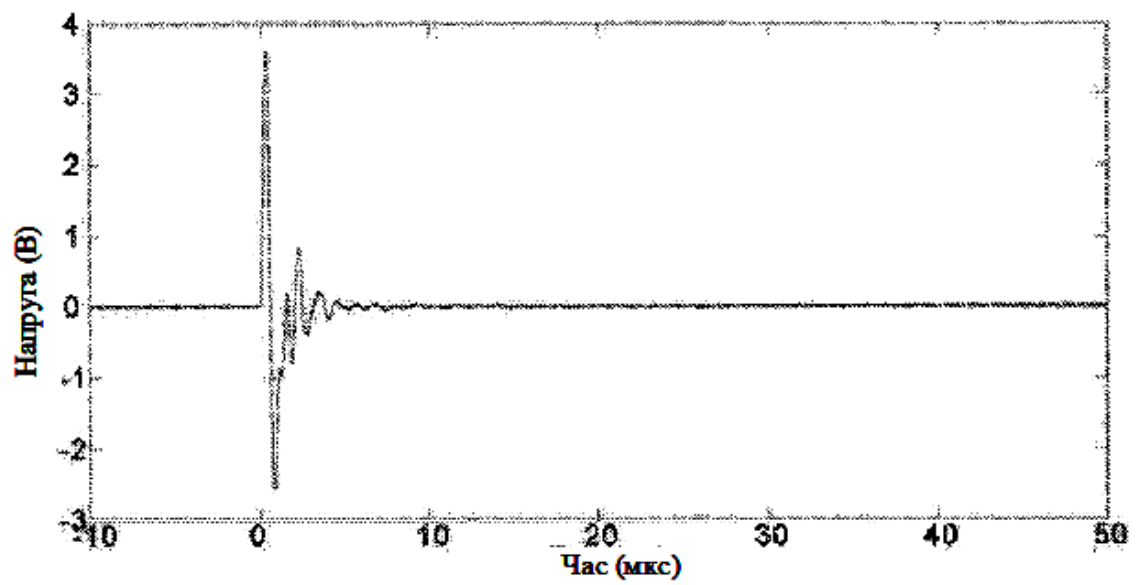
Фиг. 45



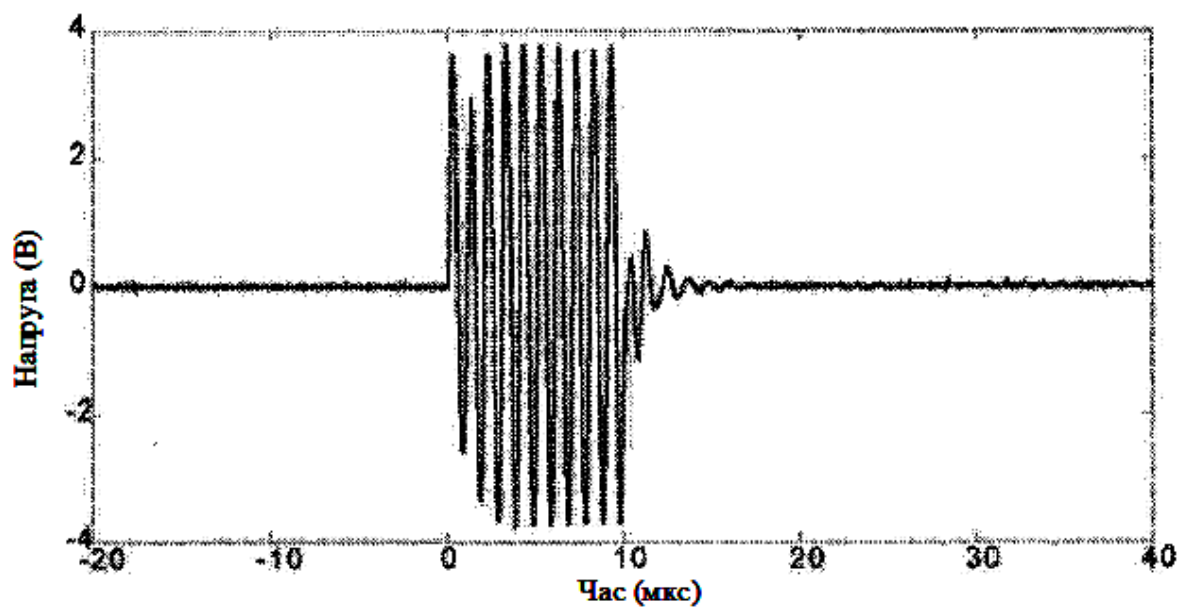
Фиг. 46



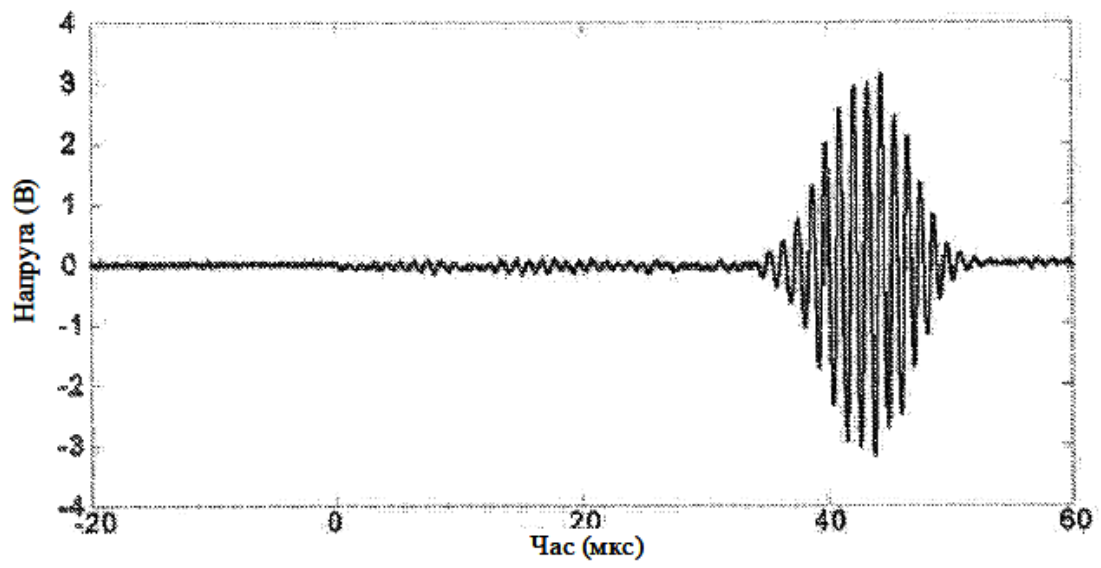
Фиг. 47



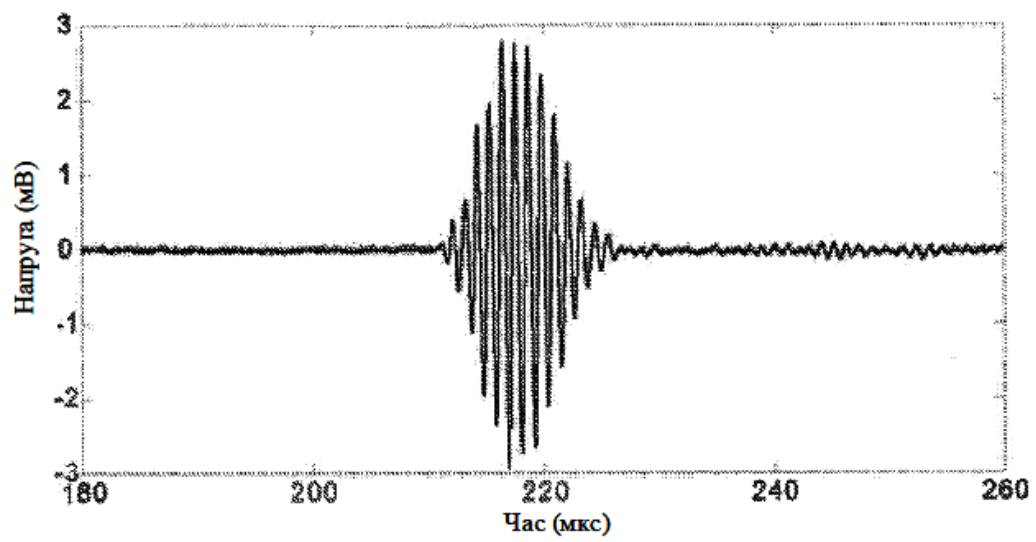
Фиг. 48



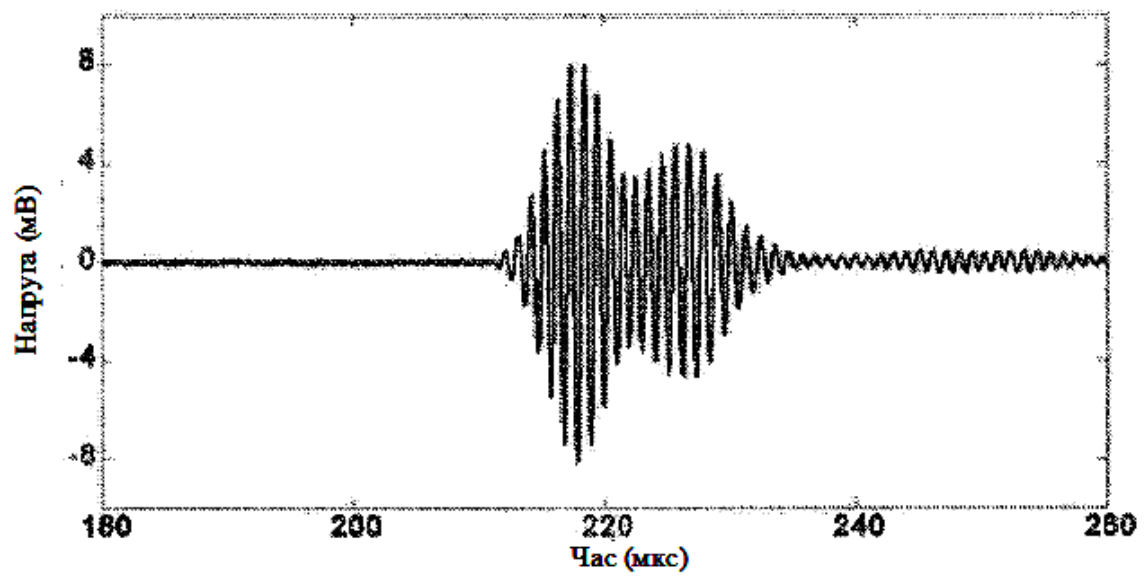
Фиг. 49



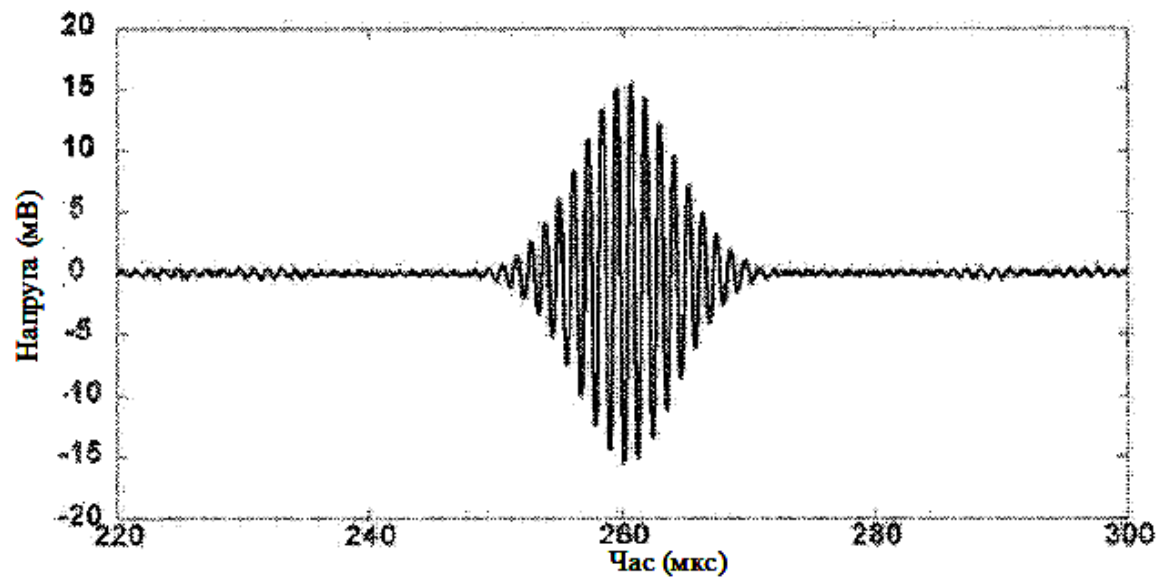
Фиг. 50



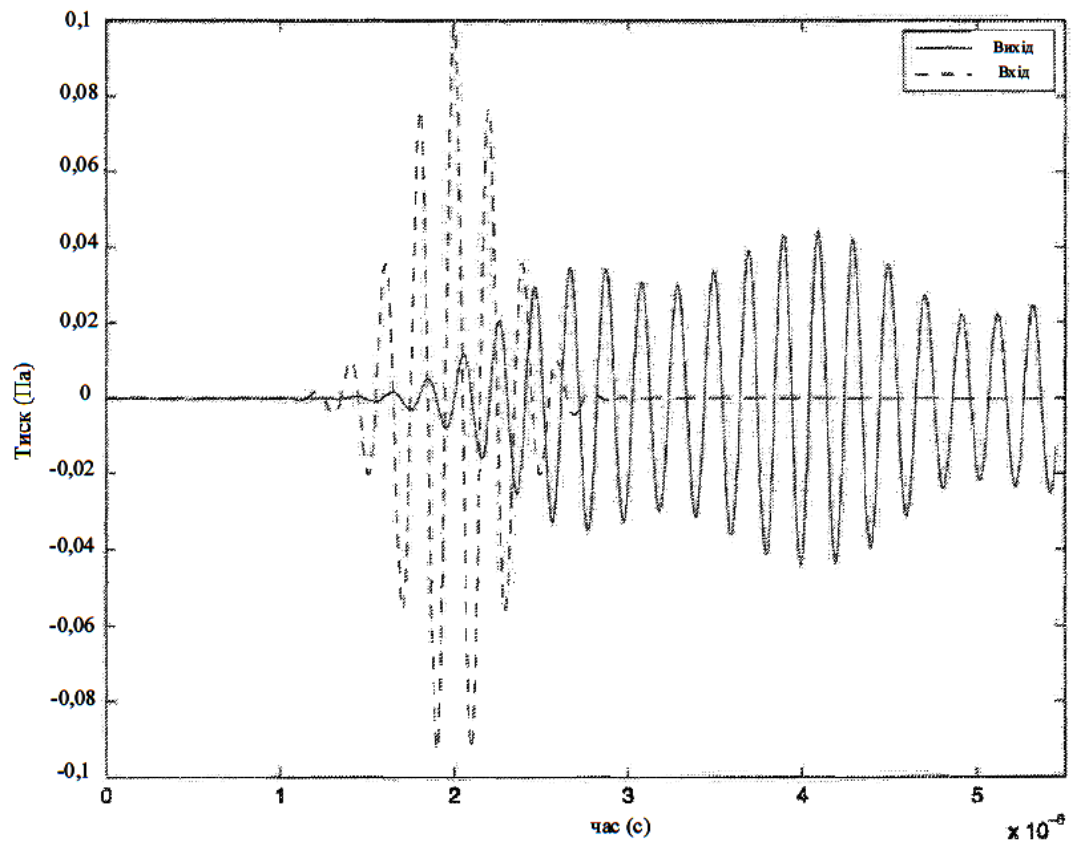
Фиг. 51



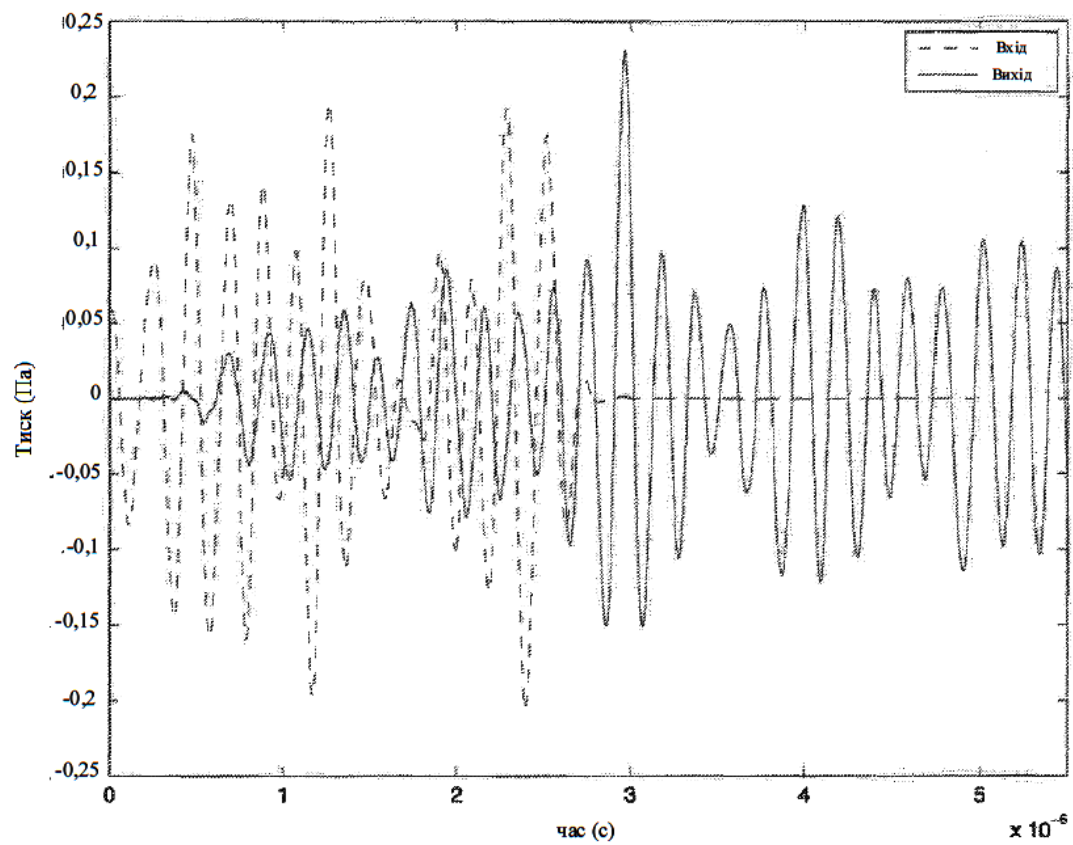
Фиг. 52



Фиг. 53



Фіг. 54



Фіг. 55

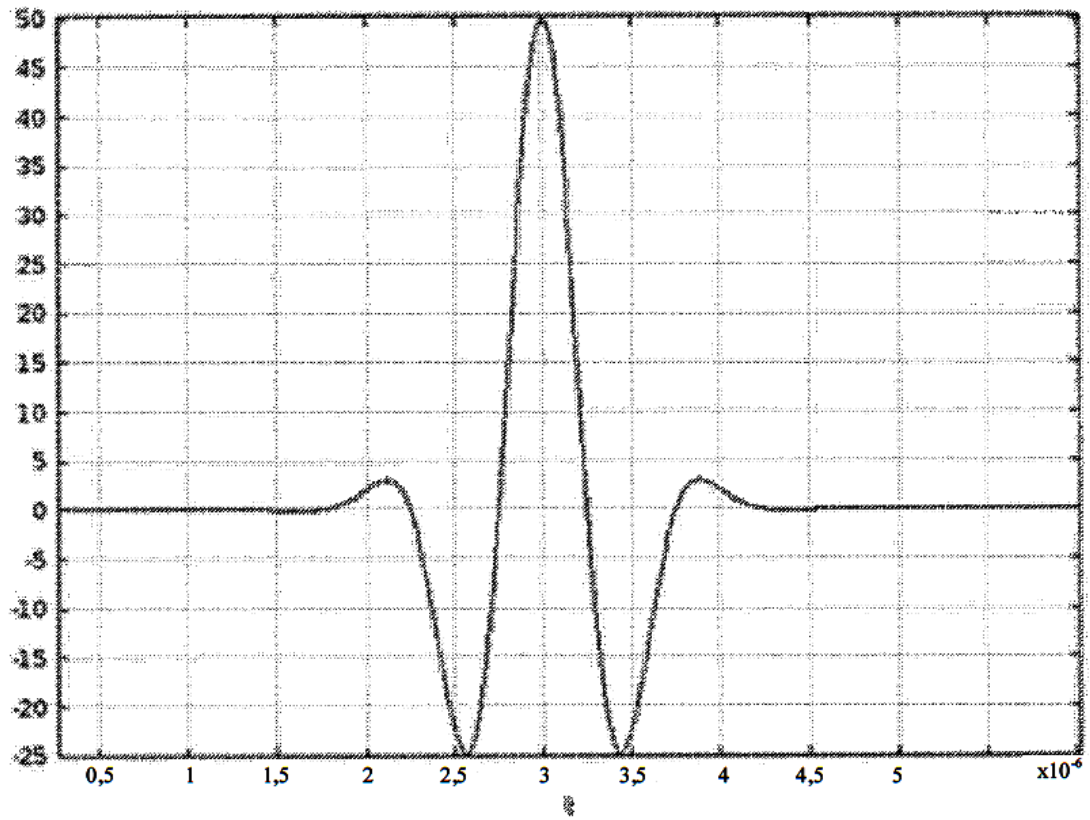


Fig. 56

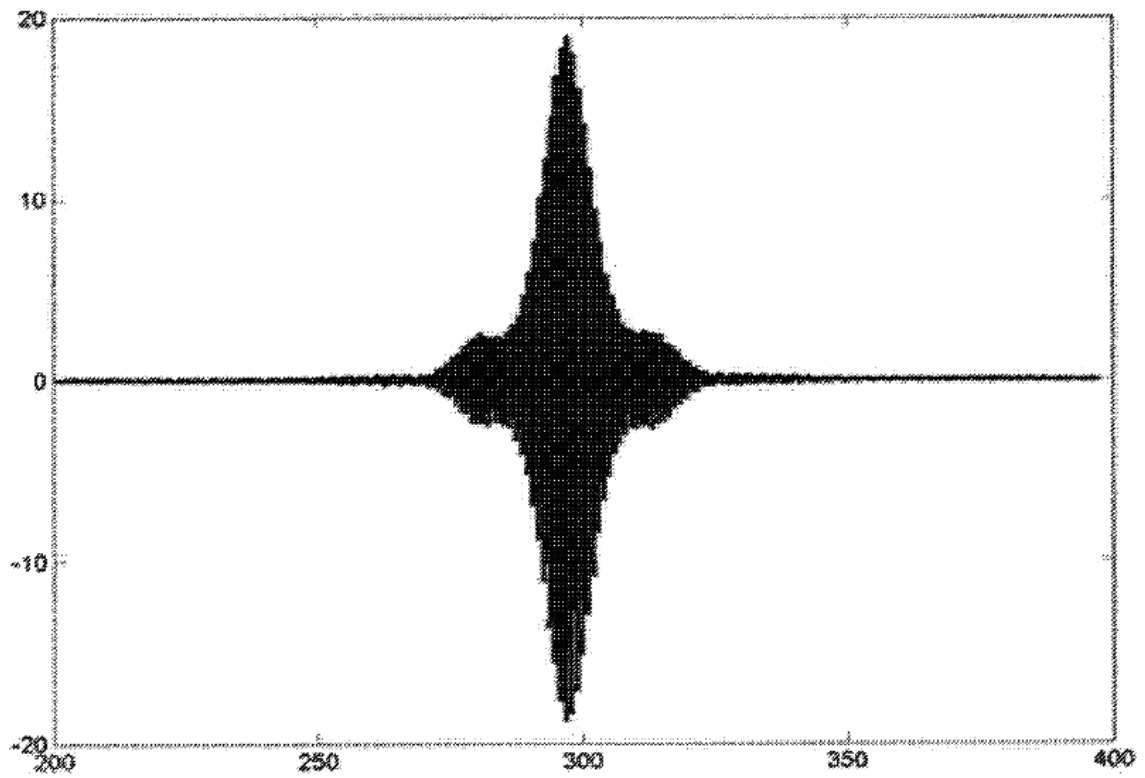
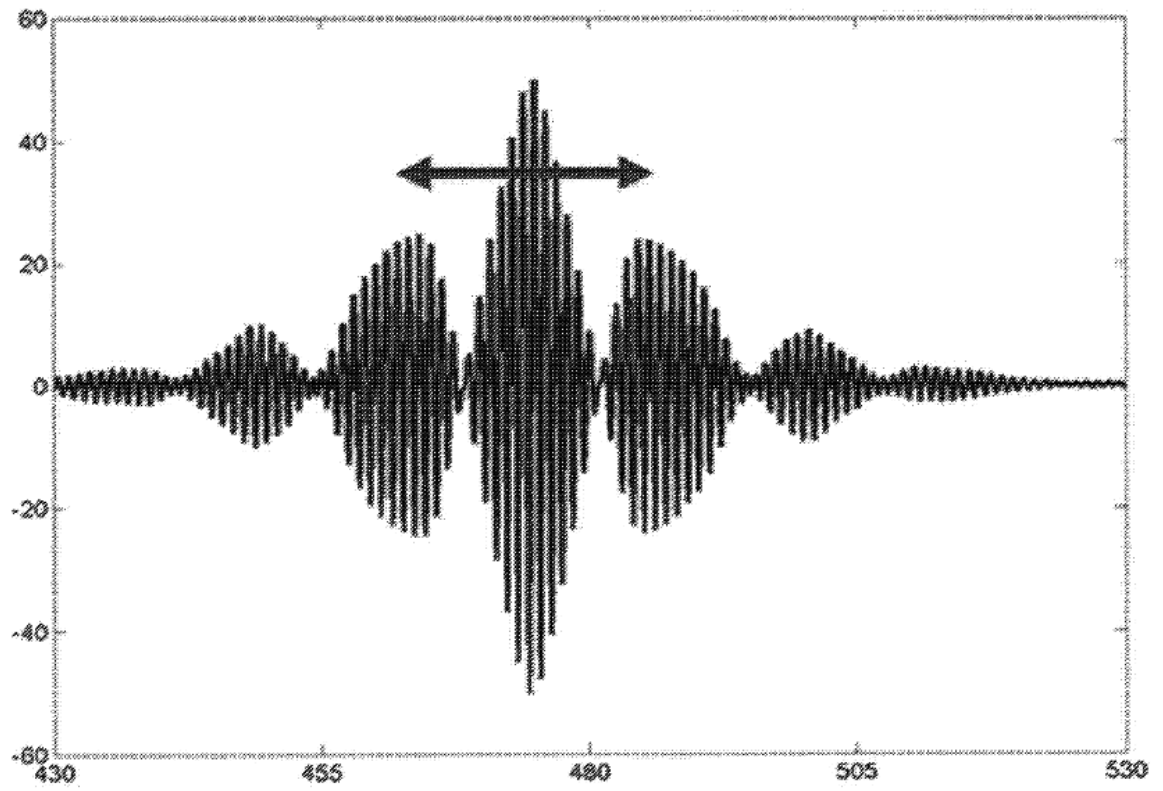
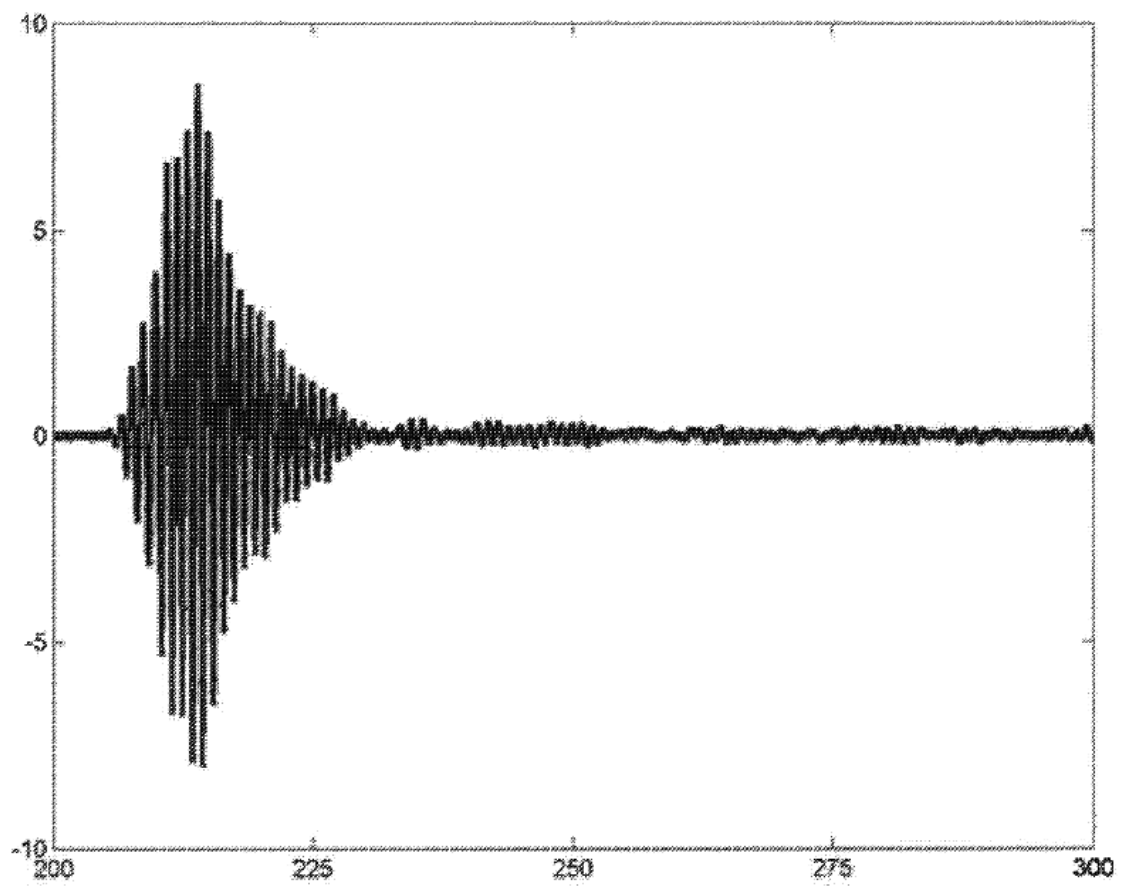


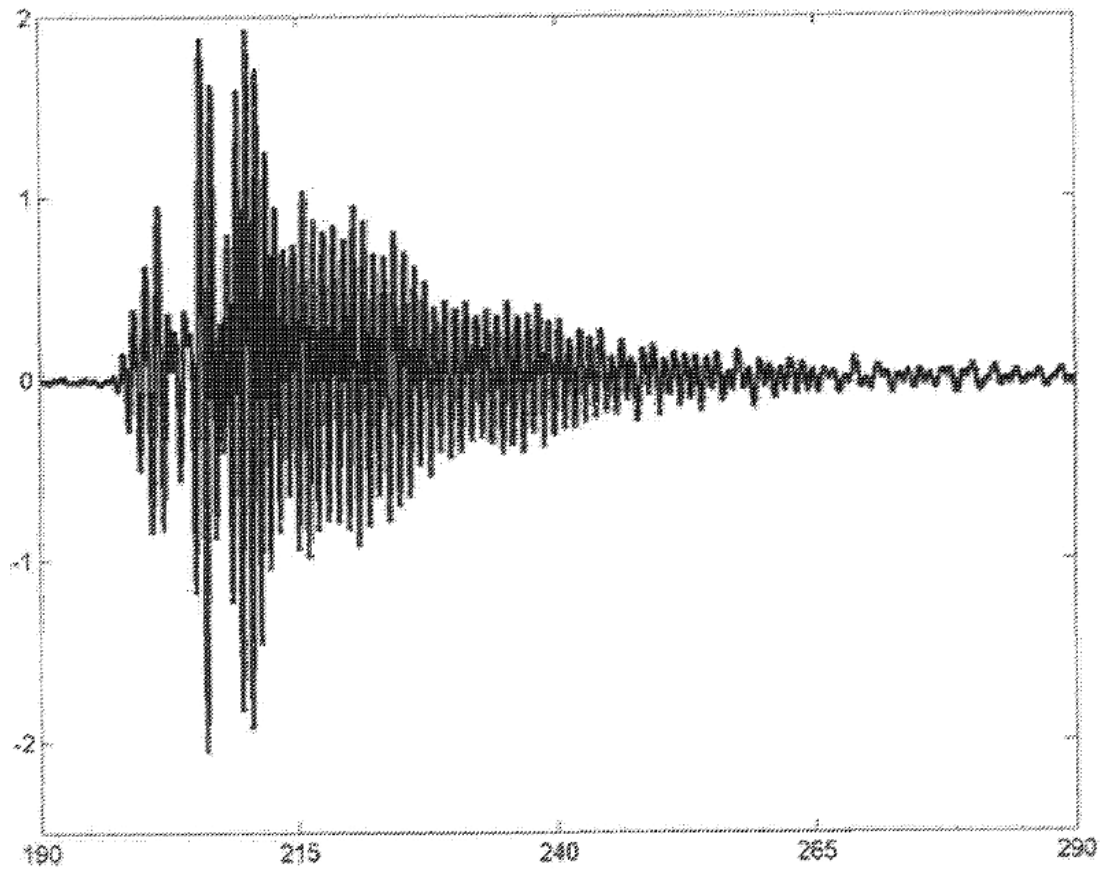
Fig. 57



Фиг. 58



Фиг. 59



Фіг. 60

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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