



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **92275** (13) **C2**
(51) МПК (2009)
G01N 29/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СПОСІБ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ТРУБ

1

2

(21) а200907879

(22) 27.07.2009

(24) 11.10.2010

(46) 11.10.2010, Бюл.№ 19, 2010 р.

(72) ЛЮТАК ІГОР ЗІНОВІЙОВИЧ

(73) ЛЮТАК ІГОР ЗІНОВІЙОВИЧ

(56) UA 24841 A, 25.12.1998

SU 1786421 A1, 07.01.1993

UA 32155 A, 15.12.2000

UA 39453 A, 15.06.2001

Fong J. at el. Fast Techniques for Calculating Dispersion Relations of Circumferential Waves in Annular Structures// Review of progress in quantitative nondestructive evaluation.- 2003.- vol.22 – C.213-220

RU 2149394 C1, 20.05.2000

EP 0106580 B1, 06.12.1989

EP 0848815 B1, 24.06.1998

(57) Спосіб ультразвукового контролю труб, де в досліджуваному матеріалі з одностороннім досту-

пом збуджують одночасно поперечні хвилі в двох взаємно перпендикулярних напрямках, приймають пройдені через досліджуваний матеріал хвилі і за співвідношенням амплітуд прийнятих хвиль визначають пружні властивості матеріалів, який **відрізняється** тим, що збуджують дві моди ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль, що поширюються в металі трубопроводу навколо його поздовжньої осі, де в першій моді ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі поляризація коливань елементарного об'єму пружного середовища є такою, що поперечна складова коливань є набагато більшою за поздовжню складову, а в другій моді поляризація коливань елементарного об'єму пружного середовища є такою, що складова поперечних коливань є однаково присутньою з поздовжньою складовою, через швидкість поширення яких визначають незалежні компоненти тензора жорсткості і величини напружень металу трубопроводу.

Спосіб відноситься до галузі неруйнівного контролю і може бути використаний для контролю величини незалежних компонент тензора жорсткості, напружень металу трубопроводів, зокрема, при ультразвуковому контролі труб магістральних нафтогазопроводів і може бути використаний в машинобудівній, нафтогазовій, хімічній промисловості при неруйнівному контролі металоконструкцій.

Відомий спосіб ультразвукового контролю виробів у вигляді тіл обертання, який полягає в тому, що у виріб випромінюють імпульси ультразвукових коливань у процесі його сканування променем похилого перетворювача, приймають відбиті від дефекту луно-сигнали і вимірюють їх час надходження t_i відносно сигналу зондування, а наявність дефекту визначають при досягненні встановленого значення різницею часів надходження відбитого сигналу у двох послідовних зондуваннях виробу, вимірюють тривалість T_i і амплітуду A_i луно-сигналу, визначають різницю тривалостей $T_i - T_{i-1}$ луно-сигналів у двох послідовних тактах, а дефектність виробу визначають за відповідною формулою.

$$N = \sum_{i=2}^{i=n} A_i \cdot K_1 \cdot K_2 \left(t_i - t_{i-1} - \frac{T_i - T_{i-1}}{2} \right)^{K_3} > N_{\text{пор}}$$

де N та $N_{\text{пор}}$ - відповідно величини, що характеризують ступінь дефектності виробу та її порогове значення.

(Деклараційний патент на винахід №39453 Кл. G01N29/04 авт. В.Д.Погребенник, Р.С.Крайківський, опубліковано 15.06.2001, Бюл. №5, 2001р.).

Недоліком способу є низька точність контролю виробів у вигляді тіл обертання, так як тривалість T_i , і амплітуда A_i луно-сигналу не буде постійною. Це пов'язано з тим, що тривалість і амплітуда луно-сигналу буде залежати від проходження його через границю розділу двох середовищ, тобто імпедансу перетворювач-матеріал, а також буде залежати від густини, структури, товщини, температури, твердості досліджуваного матеріалу тощо. При обробці такого луно-сигналу у вигляді радіоімпульсу з декількома періодами коливань, коли форма першої і другої пів гармоніки не буде синусоїдальною через накладання шумів, отримуємо велику похибку.

(13) **C2**
(11) **92275**
(19) **UA**

Відомий також спосіб ультразвукового контролю труб, де збуджують ультразвукові коливання під кутом до поверхні труби у вигляді нормальних хвиль асиметричної нульової моди за критичним кутом падіння Релея, довжина яких перевищує товщину стінки труби, що контролюється, приймають від зерен металу та дефектів віддзеркалені сигнали і визначають їх величину за результатами порівняння амплітуд віддзеркалених сигналів з еталонними значеннями, потім збуджують ультразвукові коливання під кутом до поверхні труби у вигляді нормальних хвиль симетричної нульової моди, несуча частота яких дорівнює несучій частоті хвиль асиметричної нульової моди, далі в аналоговій формі роблять запис амплітуд віддзеркалених сигналів обох типів хвиль і, порівнюючи їх амплітуди, виявляють місце знаходження дефекту, його вид, а також шорохуватість зовнішньої поверхні труби, при цьому кут вводу збудженої нормальної хвилі симетричної нульової моди установлюють вдвічі меншим від аналогічного кута збудженої нормальної хвилі асиметричної нульової моди. (Деклараційний патент на винахід №32155 Кп. G01N29/04 авт. Я.Ф.Анікєєв, Г.І.Гуляєв, В.І.Кожевников опубліковано 15.12.2000, Бюл. № 7, 2000р.).

Недоліком способу є те, що зроблено припущення, що хвильові параметри симетричної та антисиметричної мод, що поширюються вздовж пластини не відрізняються від поширення їх вздовж стінки трубопроводу, так як для генерування цих мод використовуються узагальнений параметр добутку частоти хвилі на товщину стінки труби, не враховуючи її радіус кривизни. Спрямовані хвилі залежать від форми середовища, в якому поширюються. До зміни властивостей належить зміна дисперсних параметрів мод, що в свою чергу впливає на зміну способів їх генерування та реєстрації. Границі розділу середовищ в поперечному перерізі труби, наприклад, сталь-повітря, має форму кола, тому хвильові властивості симетричної та антисиметричної мод значно відрізняються, від поширення їх в середовищах, де верхня і нижня границі розділу середовищ в перерізі мають форму прямої лінії, що приводить до низької точності контролю. (Деклараційний патент №32155 Кп. G01N29/004 авторів Я.Ф.Анікєєв, Г.І.Гуляєв, В.І.Кожевников, опубліковано 15.12.2000, Бюл. №7, 2000.).

Відомий спосіб визначення пружних характеристик матеріалу, який найбільш близький за технічною суттю, де в досліджуваному матеріалі з одностороннім доступом збуджують одночасно поперечні хвилі в двох взаємно перпендикулярних напрямках, приймають пройдені через досліджуваний матеріал хвилі і за співвідношенням амплітуд прийнятих хвиль визначають пружні властивості матеріалів. (Авт. свідет. №1786421 Кп. G01N29/00 авт. Й.В.Перун, З.П.Лютак, В.М.Коваль, П.П.Бородавкін, Я.М.Николайчук, опубліковано 07.01.1993 Бюл. №1).

Недоліком способу є невизначеність, яка полягає в тому, що швидкість ультразвуку в двох взаємно перпендикулярних напрямках може суттєво відрізнятися при виготовленні труб методом про-

катування і тому ідентифікувати пружні характеристики контрольованих об'єктів при відсутності зразків матеріалу із-за тривалого терміну експлуатації або при відсутності експлуатаційної документації є ускладненим. В даному способі ультразвукова хвиля поширюється по товщині матеріалу, тому час поширення її досить малий, враховуючи, що товщина металу магістральних нафтогазопроводів становить від одиниць до десятка міліметрів, що приводить при контролі і обробці сигналу до великої похибки. В магістральних трубопроводах великого діаметру неможливо провести контроль величини незалежних компонент тензору жорсткості, напружень металу труб, наприклад, під хомутами, де неможливо установити первинний перетворювач.

В основу винаходу поставлена задача підвищення точності контролю, визначення величини незалежних компонент тензору жорсткості, напружень металу магістральних трубопроводів і розширення функціональних можливостей контролю.

Поставлена задача вирішується таким чином, що у відомому способі визначення пружних характеристик матеріалів, де в досліджуваному матеріалі з одностороннім доступом збуджують одночасно поперечні хвилі в двох взаємно перпендикулярних напрямках, приймають пройдені через досліджуваний матеріал хвилі і за співвідношенням амплітуд прийнятих хвиль визначають пружні властивості матеріалів, який відрізняється тим, що згідно винаходу збуджуються дві моди ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль, що поширюються в металі трубопроводу навколо його поздовжньої осі, де в першій моді ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі поляризація коливань елементарного об'єму пружного середовища є такою, що поперечна складова коливань є набагато більшою за поздовжню складову, а в другій моді поляризація коливань елементарного об'єму пружного середовища є такою, що складова поперечних коливань є однаково присутньою з поздовжньою складовою, через швидкість поширення яких визначаємо незалежні компоненти тензора жорсткості і величини напружень металу трубопроводу.

Причинно-наслідковий зв'язок між суттєвими ознаками винаходу та отриманим технічним результатом реалізується таким чином.

Моди ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль, які поширюються на значно більші відстані по околу труби у порівнянні із об'ємними ультразвуковими хвилями (поздовжньою або поперечною), відстань поширення яких обмежується товщиною стінки труби, дає можливість збільшити час поширення ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль від генеруючого до приймального ультразвукових первинних перетворювачів і відповідно підвищити точність контролю.

Дві моди ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль збуджуються послідовно в часі одним ультразвуковим первинним перетворювачем, змінюючи його кут нахилу, тому частота мод є однаковою, але відрізняються вони за фазовою швидкістю. Першу моду ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі, в якій поперечна складова коли-

вань виражена набагато більше за поздовжню генерують з такої умови:

$$k_L R_1 < k_\theta < k_L R_2 \quad (1)$$

де k_L - хвильове число ультразвукової об'ємної поздовжньої хвилі, k_θ - кутове хвильове число ультразвукової спрямованих кільцевої хвилі R_1 - внутрішній радіус труби, R_2 - зовнішній радіус труби.

Другу моду ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі, в якій поперечна складова коливань є однаково присутньою з поздовжньою складовою генерують з такої умови:

$$k_\theta < k_L R_1 \quad (2)$$

Генерування різних мод ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль ультразвуковим первинним перетворювачем згідно (1) та (2) здійснюється вибором його кута нахилу, так щоб забезпечити рівність:

$$k_\theta = k_{\text{пеп}} \quad (3)$$

де $k_{\text{пеп}}$ - хвильове число ультразвукової хвилі, що генерована ультразвуковим первинним перетворювачем в стінці труби.

Для кожної із вибраних двох мод ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль згідно умови (1)-(2) розраховуються криві залежності їх фазової швидкості від значення досліджуваних незалежних компонент тензору жорсткості металу магістральних трубопроводів, які апроксимуються у вибраному діапазоні. Наприклад, для сталених труб розраховуються такі залежності:

$$\begin{aligned} V_{\text{ph1}} &= F(\Delta C_{11}) \\ V_{\text{ph2}} &= F(\Delta C_{44}) \\ V_{\text{ph3}} &= F(\Delta C_{12}) \end{aligned} \quad (4)$$

де ΔC_{11} , ΔC_{44} , ΔC_{12} - зміна в певному діапазоні величин незалежних компонент тензору жорсткості металу трубопроводу; $F(\Delta C_{11})$, $F(\Delta C_{44})$, $F(\Delta C_{12})$ - апроксимаційні поліноми першого або другого порядку зміни фазової швидкості мод ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль в залежності від величини незалежних компонент тензору жорсткості металу трубопроводу; V_{ph1} , V_{ph2} , V_{ph3} - фазові швидкості мод ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль.

Поліноми F із (4) встановлюють однозначну відповідність між значенням незалежних компонент тензору жорсткості металу трубопроводу та фазовими швидкостями ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль. Ці поліноми будуються апроксимацією набору дискретних значень фазових швидкостей, що розраховуються за допомогою відомої математичної моделі, що описує поширення ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі в металі трубопроводу (J. Fong, M. J. S. Lowe, D. Gridin, R. V. Craster. Fast techniques for calculating dispersion relations of circumferential waves in annular structures // Review of Progress in Quantitative NDE (American Institute of Physics).- 2003.- № 22.- p.213-220).

Реальні значення компонент тензору жорсткості металу трубопроводу визначаються із (4) шляхом заміни фазових швидкостей, обчислених за допомогою математичної моделі мод ультразвуково-

вих спрямованих кільцевих хвиль V_{ph1} , V_{ph2} , V_{ph3} на виміряні V_{ph1v} , V_{ph2v} , V_{ph3v} .

Величина напружень в металі трубопроводу визначається однією з мод ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі, яку вибираємо в залежності від типу первинного перетворювача із такої залежності:

$$\sigma = F(\Delta C_{\text{кк}}) \quad (5)$$

де σ - величина напружень в металі трубопроводу, $F(\Delta C_{\text{кк}})$ - апроксимаційні поліноми першого або другого порядку зміни фазової швидкості моди ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі $\Delta C_{\text{кк}}$ в залежності від величини напружень в металі трубопроводу.

Поліноми F із (5) визначаються апроксимацією набору дискретних значень фазових швидкостей моди ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі від величини напружень в металі труби. Отримати набір даних залежності фазової швидкості від величини напружень можна, наприклад, змінюючи дискретно тиск робочого продукту в трубопроводі.

Мода ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі може поширюватись у трубопроводі у місцях недоступних для об'ємних хвиль (поздовжньої або поперечної), наприклад, під хомутами, опорами тощо, в місцях контакту яких з трубою є найбільші напруження. Отже, такі можливості способу значно розширюють його функціональні властивості в порівнянні з прототипом.

Суть способу пояснюють креслення приведені на Фіг.1, 2, 3, 4, 5.

На Фіг.1 зображено розміщення ультразвукових первинних перетворювачів на трубопроводі з осями в одній площині,

на Фіг.2 - розміщення ультразвукових первинних перетворювачів на трубопроводі під кутом θ ,

на Фіг.3 - блок-схема ультразвукового пристрою,

на Фіг.4 - система встановлення кута нахилу ультразвукових генеруючого та приймального первинних перетворювачів,

на Фіг.5 - часові діаграми роботи ультразвукового пристрою.

Мода ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі із швидкістю V_{ph2v} отримується шляхом нахилу ультразвукових генеруючого та приймального первинних перетворювачів згідно умови (1) та (3). Мода ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі із швидкістю V_{ph1v} отримується шляхом нахилу ультразвукових генеруючого та приймального первинних перетворювачів згідно умови (2) та (3). Осі ультразвукового генеруючого первинного перетворювача 1 та приймального 2 повинні розміщуватись в одній площині, перпендикулярній осі трубопроводу 3. (Фіг.1).

Ультразвуковий генеруючий первинний перетворювач 1 виставляється на певний кут нахилу Ang в залежності від умови (1) або (2), ультразвуковий приймальний первинний перетворювач 2 повинен бути виставлений під цим самим кутом Ang . Мода ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі із швидкістю V_{ph3v} отримується шляхом нахилу ультразвукових генеруючого та приймального первинних перетворювачів згідно умови (2) та

(3). Осі ультразвукових первинних генеруючого 1 та приймального 2 перетворювачів повинні розміщуватись під кутом $\theta = 45^\circ$ (Фіг.2). Це здійснюється шляхом переміщення ультразвукового приймального первинного перетворювача 2 на трубопроводі 3. Кут θ утворюється між променем L , що з'єднує осі ультразвукових генеруючого 1 та приймального 2 первинних перетворювачів та лінією, що утворена площиною, яка перпендикулярна осі трубопроводу 3. Швидкість V_{ph3v} вимірюється так:

$$V_{ph3v} = \frac{L}{t_3} \quad (6)$$

де L - відстань між ультразвуковими генеруючим 1 та приймальним 2 первинними перетворювачами, t_3 - час проходження ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі відстані L .

Блок-схема ультразвукового пристрою, за допомогою якої реалізується спосіб (Фіг.3), містить блок управління 4, перший вихід якого з'єднаний з генератором зондуючих імпульсів 6, другий вихід з'єднаний з першим входом блоку обробки сигналу 7, перший вихід генератора зондуючих імпульсів 6 з'єднаний з входом ультразвукового генеруючого первинного перетворювача 1, який розміщений на трубопроводі 3, другий вихід з'єднаний з другим входом блоку обробки сигналу 7, третій вхід якого з'єднаний з виходом підсилювача 5, вхід якого з'єднаний з виходом ультразвукового приймального первинного перетворювача 2, який розміщений на трубопроводі 3, блоку обробки сигналу 7, вихід якого з'єднаний з входом відеоблоку 8, вхід якого з'єднаний з виходом блоку обробки сигналу 7, при цьому різні моди ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль генеруються та приймаються через систему встановлення кута нахилу ультразвукових генеруючого та приймального первинних перетворювачів 9 (Фіг.4).

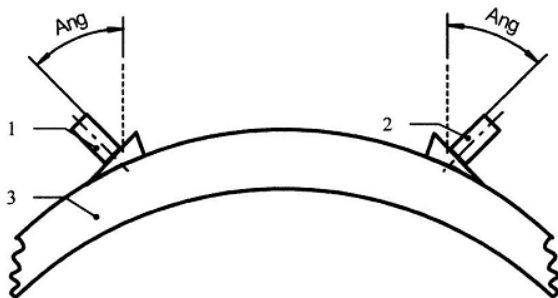
Система встановлення кута нахилу ультразвукових генеруючого та приймального первинних перетворювачів 9 представляє собою однакові за конструкцією, але два окремих блоки. Перший блок містить ультразвуковий генеруючий первинний перетворювач 1, а другий - ультразвуковий приймальний первинний перетворювач 2. Дана система містить корпус 10 виготовлений із оргскла, металевий диск 11, закріплений до корпусу 10, круглий магніт з поділками для встановлення кута нахилу 13, який через вісь 14 закріплений до

металевого диску 11 і ультразвукового первинного перетворювача 1 або 2.

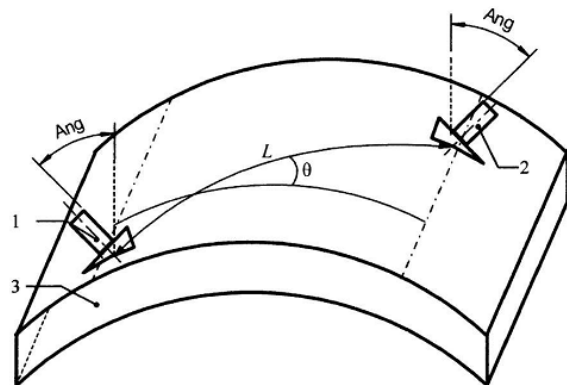
Введення в блок-схему ультразвукового пристрою блоку обробки сигналу 7 дає можливість обробляти сигнал ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі за максимальною амплітудою для точного визначення часу поширення цієї хвилі в трубопроводі 3. Система встановлення кута нахилу ультразвукових генеруючого та приймального первинних перетворювачів 9 дає можливість генерувати та приймати різні моди ультразвукових спрямованих кільцевих хвиль, за швидкістю поширення яких визначаємо величини незалежних компонент тензору жорсткості та напружень металу магістральних трубопроводів, а також розміщувати блоки системи встановлення кута нахилу ультразвукових генеруючого та приймального первинних перетворювачів 9 на визначених відстанях один від одного на трубопроводі 3, що підвищує точність контролю.

Ультразвуковий пристрій працює наступним чином.

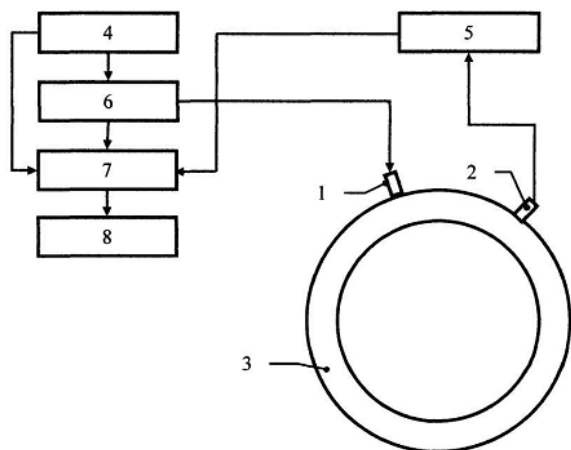
При подачі живлення і сигналу із блоку управління 4 генератор зондуючих імпульсів 6 формує певної тривалості і амплітуди зондуючий імпульс 14, який збуджує ультразвуковий генеруючий первинний перетворювач 1, що встановлений під певним кутом нахилу за допомогою блоку системи встановлення кута нахилу ультразвукового генеруючого первинного перетворювача 9, що дозволяє генерувати певну моду ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі в металі трубопроводу 3. Ультразвуковий приймальний первинний перетворювач 2 встановлений під певним кутом нахилу за допомогою блоку системи встановлення кута нахилу ультразвукового приймального первинного перетворювача 9, який розміщений на визначеній віддалі від ультразвукового генеруючого первинного перетворювача 1, приймає ультразвукові спрямовані кільцеві хвилі, які підсилюються підсилювачем 5 до певної амплітуди 15. З виходу підсилювача 5 ультразвукові спрямовані кільцеві хвилі поступають на блок обробки сигналу 7, де обробляються до певної форми та визначається час $T_{вим}$ 16 від початку зондуючого імпульсу 14 до моменту приходу ультразвукової спрямованої кільцевої хвилі з максимальною амплітудою A_m 15 (Фіг.5).



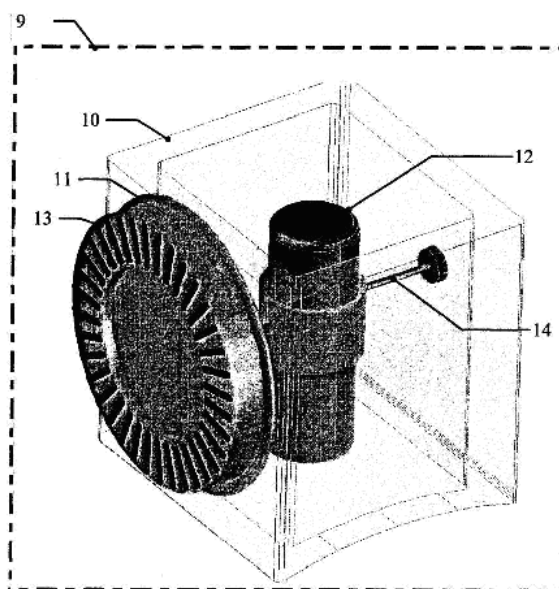
Фіг. 1



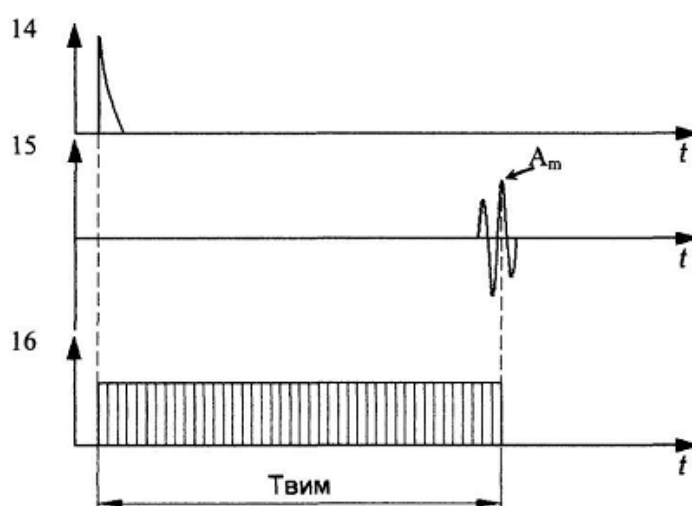
Фіг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5