



УКРАЇНА

(19) UA (11) 89829 (13) C2
(51) МПК (2009)
H03F 3/70
G01P 15/09

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПІДСИЛЮВАЧ

1

(21) а200800161

(22) 03.01.2008

(24) 10.03.2010

(46) 10.03.2010, Бюл.№ 5, 2010 р.

(72) ЯМПОЛЬСЬКИЙ ЮРІЙ СТЕФАНОВИЧ, СТАРЦЕВ ВОЛОДИМИР ІЛЛІЧ, КУЦЕНКО ОЛЕКСАНДРА ПЕТРІВНА

(73) ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(56) EP 1037053 A1, 20.09.2000

UA 71155 A, 15.11.2004

RU 61869 U1, 10.03.2007

JP 2001308652 A, 02.11.2001

US 2004075498 A1, 22.04.2004

Шарапов В.М., Минаев И.Г., Бондаренко Ю.Ю. и др. Пьезоэлектрические преобразователи. - Черкассы: ЧГТУ, 2004. - С. 178-185.

(57) Вимірювальний підсилювач, що містить п'єзоелектричний датчик, еквівалентну ємність і операційний підсилювач з колом негативного зворотного зв'язку у вигляді першого, другого і третього резисторів, а також четвертий резистор, при цьому паралельно з'єднані п'єзоелектричний датчик і еквівалентна ємність включені між корпусом вимірювального підсилювача і його входом, який є неінвертуючим входом операційного підсилювача, послідовно з'єднані перший і другий резистори підключені до корпусу вимірювального підсилювача, а точка їх з'єднання через четвертий резистор підключена до неінвертуючого входу операційного підсилювача, третій резистор включений між інвертуючим входом операційного підсилювача і його виходом, який є виходом вимірювального підсилювача, величина еквівалентної ємності дорівнює сумі ємностей сполучного кабелю, монтажу, ємності входу підсилювача і ємності п'єзодатчика, який відрізняється тим, що в коло негативного зворотного зв'язку між другим резистором і точкою з'єднання інвертуючого входу операційного підсилювача і третього резистора включено розділювальний конденсатор.

2

сторів, а також четвертий резистор, при цьому паралельно з'єднані п'єзоелектричний датчик і еквівалентна ємність включені між корпусом вимірювального підсилювача і його входом, який є неінвертуючим входом операційного підсилювача, послідовно з'єднані перший і другий резистори підключені до корпусу вимірювального підсилювача, а точка їх з'єднання через четвертий резистор підключена до неінвертуючого входу операційного підсилювача, третій резистор включений між інвертуючим входом операційного підсилювача і його виходом, який є виходом вимірювального підсилювача, величина еквівалентної ємності дорівнює сумі ємностей сполучного кабелю, монтажу, ємності входу підсилювача і ємності п'єзодатчика, який відрізняється тим, що в коло негативного зворотного зв'язку між другим резистором і точкою з'єднання інвертуючого входу операційного підсилювача і третього резистора включено розділювальний конденсатор.

Винахід належить до вимірювальної техніки, а саме до вимірників вібрації, які включають п'єзодатчики (акселерометри), та які працюють в екстремальних умовах, і може бути використаний в машинобудуванні, енергодобувних, авіаційних і ракетних технологіях.

Відомий вимірювальний підсилювач, що містить польовий транзистор, п'єзоелектричний датчик, ємність, перший і другий резистори, при цьому п'єзоелектричний датчик, ємність, яка по величині еквівалентна сумі ємностей сполучного кабелю, входу польового транзистора, ємності монтажу і п'єзодатчика, і перший резистор включені паралельно між входом польового транзистора і корпусом підсилювача, другий резистор включений між корпусом і виходом підсилювача, до стоку польового транзистора підключено джерело живлення [1].

Недоліки: включення п'єзодатчика між входом польового транзистора і корпусом підсилювача при вимірюванні низьких рівнів вібрацій на низьких

частотах при дії градієнта температур викликає у п'єзодатчику генерування піроелектричних зарядів і появу на вході польового транзистора поволі змінного струму, що призводить до нестабільності вихідної напруги вимірювального підсилювача.

Максимальна величина струму на вході польового транзистора:

$$I_{\text{вх.макс.}} / ^\circ \text{C} = \frac{dq / d^\circ \text{C}}{dt} = \frac{U_{\text{вих.макс.}}}{R1 \cdot \Delta^\circ \text{C}};$$

де:

$dq/d^\circ \text{C}$ - зміна величини заряду на виході датчика під дією зміни температури і часу;

$U_{\text{вих.макс}}$ - максимальна амплітуда напруги на виході підсилювача;

$R1$ - вхідний опір вимірювального підсилювача;

$\Delta^\circ \text{C}$ - перепад температури.

(13) C2

(11) 89829

(19) UA

При великих значеннях R1 відбувається перевантаження підсилювача, і вимірювальна апаратура на значний час може втратити працездатність.

Найбільш близьким до запропонованого пристрою є вимірювальний підсилювач, що містить п'єзоелектричний датчик, еквівалентну ємність, операційний підсилювач з ланцюгом негативного зворотного зв'язку у вигляді першого, другого, третього резисторів і четвертий резистор, при цьому, паралельно сполучені п'єзоелектричний датчик і еквівалентна ємність включені між корпусом вимірювального підсилювача і його входом - неінвертуючим входом операційного підсилювача, послідовно сполучені перший і другий резистори підключені до корпусу вимірювального підсилювача і інвертуючого входу операційного підсилювача, до якого також через третій резистор підключений вихід операційного підсилювача, - вихід вимірювального підсилювача, до якого також через четвертий резистор підключений ланцюг зворотного зв'язку між першим і другим резисторами, величина ємності еквівалентна сумі ємностей сполучного кабелю, монтажу, ємності входу підсилювача і ємності електричного п'єзодатчика [2].

Недоліки прототипу. Наявність негативного зворотного зв'язку по напрузі у вимірювальному підсилювачі призводить до того, що в

$$\alpha = 1 + \frac{R_3}{R_1 + R_2} \text{ разів збільшується початковий зсув}$$

на вході операційного підсилювача, і величина вихідної напруги пристрою $U_{\text{вих}}$ може опинитися неприпустимо великою в тяжких умовах експлуатації, що призводить до часткової втрати працездатності навіть при невеликих перепадах температури ($\Delta^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$) або до її повної втрати при великих перепадах температури ($\pm 100^\circ\text{C}$). Втрата інформації, особливо під час перехідних процесів в механізмах, коли різко змінюється температура, може призвести до пропуску початку розвитку аварійної ситуації, якого можна було б запобігти у разі нормальної роботи вимірювальної апаратури.

Оскільки коефіцієнт посилення по постійному струму вимірювального підсилювача, охопленого негативним зворотним зв'язком по напрузі, $K_{oc} = \alpha \neq 1$, то вихідна напруга вимірювального підсилювача

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{зм}} \alpha,$$

де:

$U_{\text{зм}}$ - напруга, що діє на вході операційного підсилювача за рахунок піроелектричних струмів.

Завданням передбачуваного винаходу є створення вимірювального підсилювача, в якому шляхом введення розділювального конденсатора в ланцюг негативного зворотного зв'язку усувається вплив піроелектричних струмів і, отже, початкового зсуву вимірювального підсилювача, в результаті забезпечується стабільність рівня вихідної напруги $U_{\text{вих}}$ і працездатність підсилювача при будь-яких температурних режимах при вимірюванні низьких рівнів вібрацій на низьких частотах.

Поставлене завдання вирішується тим, що у вимірювальний підсилювач, що містить п'єзоелектричний датчик, еквівалентну ємність і операційний підсилювач з ланцюгом негативного зворотного зв'язку у вигляді першого, другого і

третього резисторів, а також четвертий резистор, при цьому паралельно з'єднані п'єзоелектричний датчик і еквівалентна ємність включені між корпусом вимірювального підсилювача і його входом - неінвертуючим входом операційного підсилювача, послідовно з'єднані перший і другий резистори підключені до корпусу вимірювального підсилювача, а точка їх з'єднання через четвертий резистор підключена до неінвертуючого входу операційного підсилювача, третій резистор включений між інвертуючим входом операційного підсилювача і його виходом - виходом вимірювального підсилювача, величина еквівалентної ємності дорівнює сумі ємностей сполучного кабелю, монтажу, ємності входу підсилювача і ємності п'єзодатчика, згідно винаходу в ланцюг негативного зворотного зв'язку між другим резистором і інвертуючим входом операційного підсилювача включено розділювальний конденсатор.

Технічний ефект від запропонованого рішення полягає в забезпеченні стабільності вихідного рівня напруги і працездатності вимірювального підсилювача в результаті усунення впливу піроелектричних струмів і збільшення початкового зсуву вимірювального підсилювача при будь-яких температурних режимах при проведенні вимірювань низьких рівнів вібрацій на низьких частотах.

В результаті введення в схему вимірювального підсилювача розділювального конденсатора C_p і відповідного вибору його величини зворотний зв'язок по постійному струму стає 100%, тобто $K_{oc} = 1$ і $U_{\text{вих}} = U_{\text{см}}$. Введення розділювального конденсатора C_p забезпечує зростання ефективної величини резистора R4 тільки в області робочих частот, що дозволить зменшити вплив піроелектричних струмів на початковий зсув вимірювального

підсилювача в $b = 1 + \frac{R_1}{R_2}$ разів. В цьому випадку

величина постійної часу ланцюга зворотного зв'язку

$$\tau = R_4 C \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = R_4 C b = R_4 C_p,$$

де: C - величина еквівалентної ємності, а ширина смуги пропускання в області низьких частот 0 до f_n залежатиме від граничної частоти,

$$f_n = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi R_4 C \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)} = \frac{1}{2\pi R_4 C_p}$$

тобто розшириться в b разів.

Дільник стає частотно залежним і коефіцієнт передачі по напрузі визначатиметься виразом:

$$K = \frac{C}{C_p} \frac{1}{1 + \frac{1 + j\omega\tau_k}{j\omega\tau\alpha \left(\frac{1}{b} + j\omega\tau_k \right)}};$$

де:

$$\tau = R_4 C_p; \tau_k = R_2 C_p; b = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

Суть винаходу пояснюється кресленням, де на Фіг.1 зображений вимірювальний підсилювач, що містить п'єзоелектричний датчик D, еквівалентну ємність C, операційний підсилювач Q з ланцюгом

негативного зворотного зв'язку у вигляді послідовно з'єднаних першого R1, другого R2 резисторів, розділювального конденсатора C_p і третього R3 резисторів, а також четвертий резистор R4, при цьому паралельно з'єднані п'єзоелектричний датчик D і еквівалентна ємність C включені між корпусом вимірювального підсилювача і його входом - неінвертуючим входом операційного підсилювача Q, послідовно з'єднані перший R1 і другий R2 резистори і розділювальний конденсатор C_p підключені до корпусу вимірювального підсилювача, а точка їх з'єднання через четвертий резистор R4 підключена до неінвертуючого входу операційного підсилювача Q, третій резистор R3 включений між інвертуючим входом операційного підсилювача Q і його виходом - виходом вимірювального підсилювача, величина еквівалентної ємності C дорівнює сумі ємностей сполучного кабелю, монтажу, ємності входу операційного підсилювача Q і ємності п'єзодатчика D.

Пристрій працює таким чином.

Вхідний сигнал у вигляді вібрацій поступає на вхід вимірювального підсилювача - вхід п'єзодатчика D, який перетворює вібрації в заряд, що подається на неінвертуючий вхід операційного підсилювача Q з ланцюгом негативного зворотного зв'язку R1, R2, C_p, R3. На еквівалентній ємності C вхідний сигнал перетворюється в напругу $U=q/C_p$ і поступає на вихід вимірювального підсилювача. Ширина смуги пропускання області низьких частот $0...f_n$ визначається постійною часу вхідного ланцюга $\tau=R_4C_p$.

Негативний зворотний зв'язок у вигляді послідовно сполучених резисторів R1, R2 і конденсатора C_p і резистора R3 збільшує постійну часу τ в $\frac{1}{b}$ разів де $b=1+\frac{R_1}{R_2}$. Тобто, величина граничної частоти амплітудно-частотної характеристики вимірювального підсилювача f_n зменшується в b разів.

Зменшення величини резистора R4 зменшує дію температури на вимірювальний підсилювач.

Аналіз роботи запропонованого пристрою, проведений з використанням методу Брауде [1], показав, що максимально плоску форму амплітудно-частотної характеристики можна отримати тільки при виборі постійної часу ланцюга, що складається з резистора R2 і розділювального конденсатора, з виразу

$$\tau_k=R_2C_p=2\tau(b-1).$$

Амплітудно-частотна характеристика запропонованого підсилювача з розділювальним конденсатором (1) і без нього (2) в області низьких частот представлена на Фіг.2.

Проведено випробування запропонованого вимірювального підсилювача з розділювальним конденсатором C_p в ланцюзі негативного зворотного зв'язку і п'єзоелектричним датчиком типу ABC-132[1] на дію градієнта температури.

Зміна рівня U_{вих}, викликана дією градієнта температури на вимірювальний підсилювач, визначена по методиці фірми Брюль і Кьєр [3]

Зміна рівня вихідної напруги вимірювального підсилювача з C_p, викликана впливом зміни температури на п'єзодатчик при коефіцієнті корекції амплітудно-частотної характеристики підсилювача, який дорівнює 10 при перепаді температур $\pm 20^\circ\text{C}$ (1), $\pm 20^\circ\text{C}$ (2), $\pm 100^\circ\text{C}$ (3) (Фіг.3).

Параметри вимірювального підсилювача з розділювальним конденсатором C_p:

- ємність на вході C=100пФ; вибрана, виходячи з чутливості п'єзоелектричного датчика типу ABC-132 0,7пК/м/с², а також умов подальшої експлуатації; для забезпечення вихідної напруги підсилювача U_{вих}=7В при віброприскоренні 100g; R4=10⁸Ом, обраний для f_n=1,5Гц, яка відповідає робочим частотам випробовуваних механізмів;

- R1=20МОм, R2=2МОм, R3=10⁸Ом;

- C_p=0,1мкФ. - Ця величина дозволить набути

необхідного значення нижньої граничної частоти f_n=1,5Гц із спадом АЧХ - 40дБ/дек. При b=10 значення U_{вих} вимірювального підсилювача під впливом паразитного піроелектричного струму змінилося всього на 2,8В навіть при перепаді температур в $\pm 100^\circ\text{C}$. Підсилювач зберіг працездатність, і сигнал з його виходу був нормально оброблений. Обмеження вихідного сигналу з амплітудою +7В не спостерігалось, оскільки максимальне значення U_{вих} складає $\pm 14\text{В}$ у використуваного операційного підсилювача.

Зміна рівня вихідної напруги вимірювального підсилювача з C_p, викликана впливом зміни температури на п'єзодатчик, при коефіцієнті корекції амплітудно-частотної характеристики підсилювача, який дорівнює 30 при перепаді температур $\pm 20^\circ\text{C}$ (1), $\pm 20^\circ\text{C}$ (2), $\pm 100^\circ\text{C}$ (3) (Фіг.4).

При цьому:

- величини ємності C і C_p при експерименті не змінилися, величини резисторів вибрані, виходячи з b=30; R1=20МОм, R2=0,7МОм;

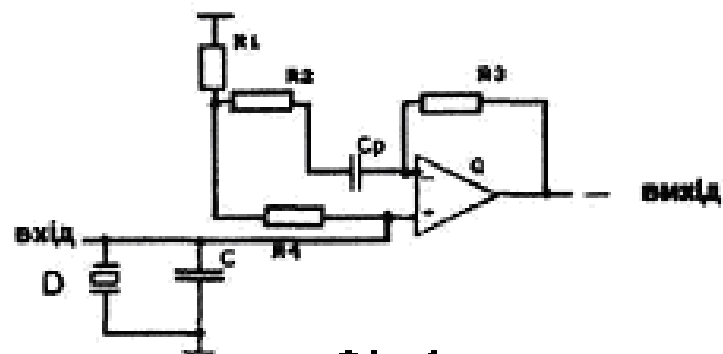
- R4=3·10⁷Ом вибрана, виходячи із значення граничної частоти f_n=1,5Гц.

Видно, що значення вихідної напруги U_{вих} вимірювального підсилювача під впливом піроелектричного струму навіть при перепаді температур на $\pm 100^\circ\text{C}$ змінилося всього на 0,93В. Підсилювач зберіг працездатність, і сигнал з його виходу був нормально оброблений.

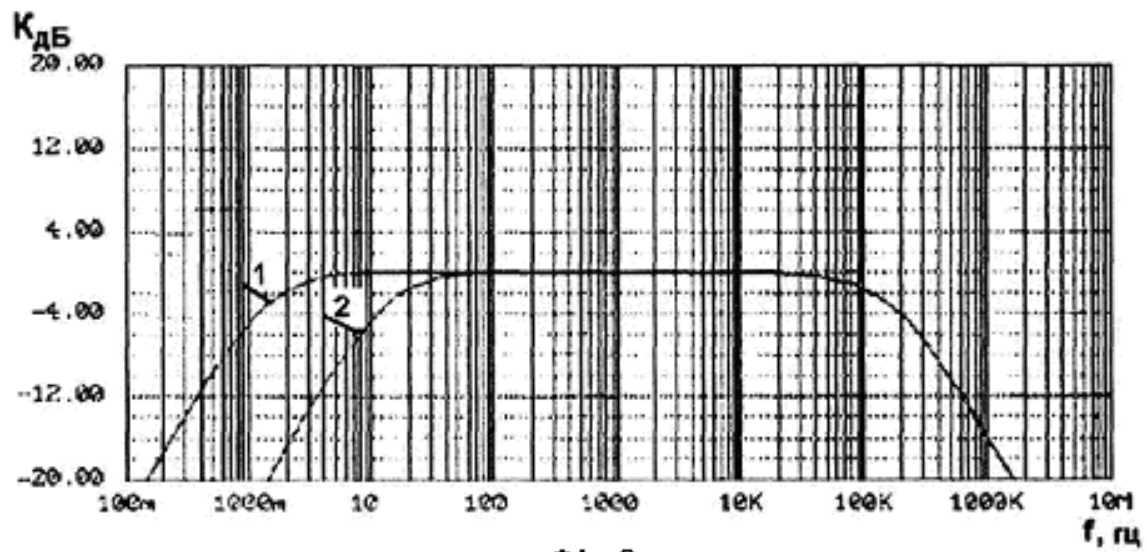
Отримані результати підтверджують правильність прийнятих заходів по зниженню впливу піроелектричних струмів, викликаних дією градієнта температури на п'єзоелектричний датчик, на рівень вихідної напруги вимірювального підсилювача.

Література:

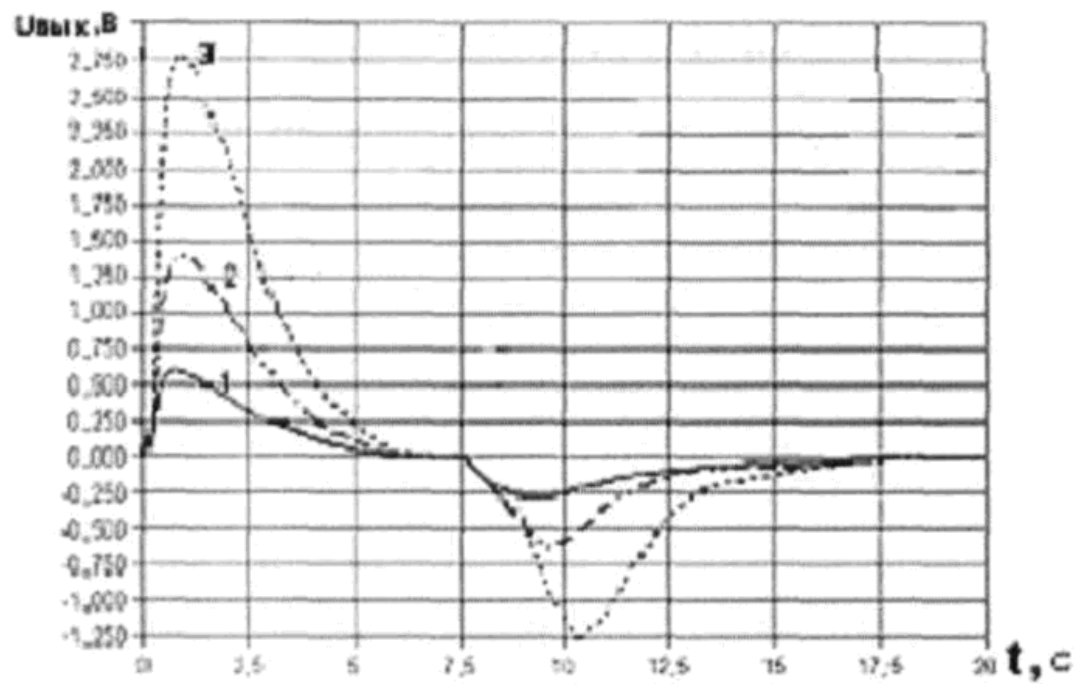
1. Максимов В.П. и др. Измерение, обработка и анализ быстропеременных процессов в машинах. М.: Машиностроение, 1987. -208с.
2. Пьезоэлектрические преобразователи. / По ред.. В.М.шарапова. -Черкаassy: ЧГТУ, 2004. - 435с.
3. Официальное эксклюзивное представительство Bruel & Kjaer Северо-западном регионе России: ООО НПФ УНИВЕРСАЛПРИБОР Санкт-Петербург (www.pribor)



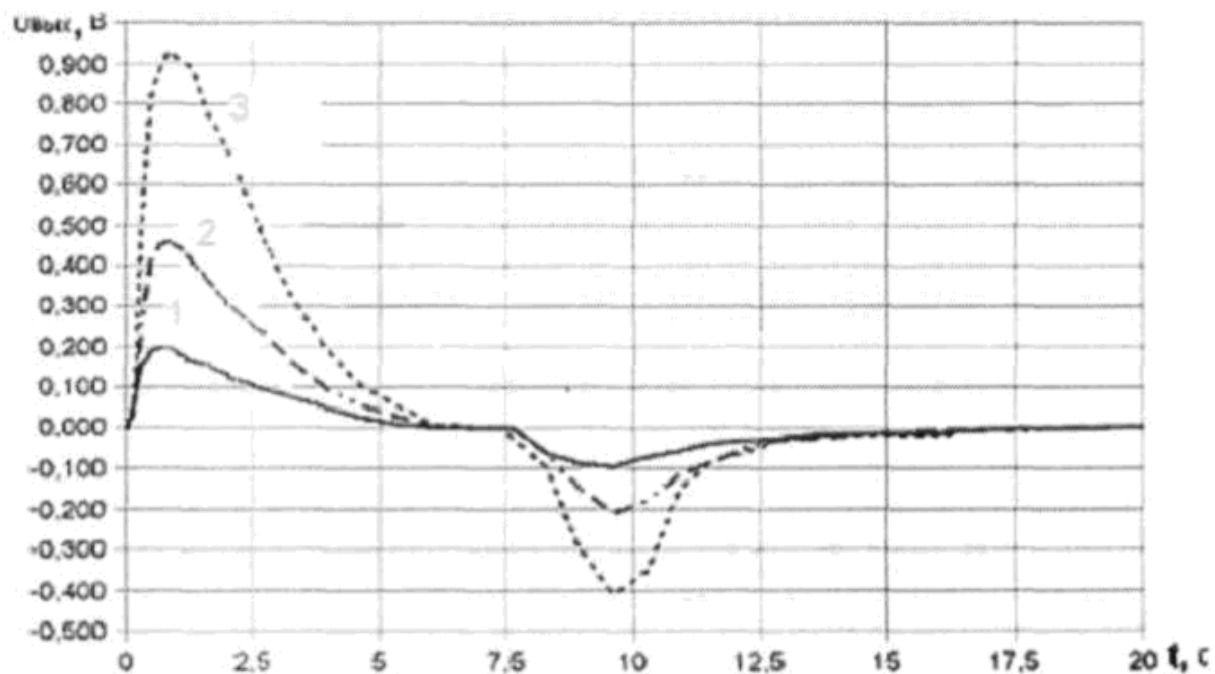
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фіг. 4