



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 91084

(13) U

(51) МПК

G01R 31/08 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2013 14321**

(22) Дата подання заявки: **09.12.2013**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **25.06.2014**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **25.06.2014, Бюл.№ 12**

(72) Винахідник(и):

**Сасенко Юрій Леонідович (UA),  
Попов Артем Сергійович (UA)**

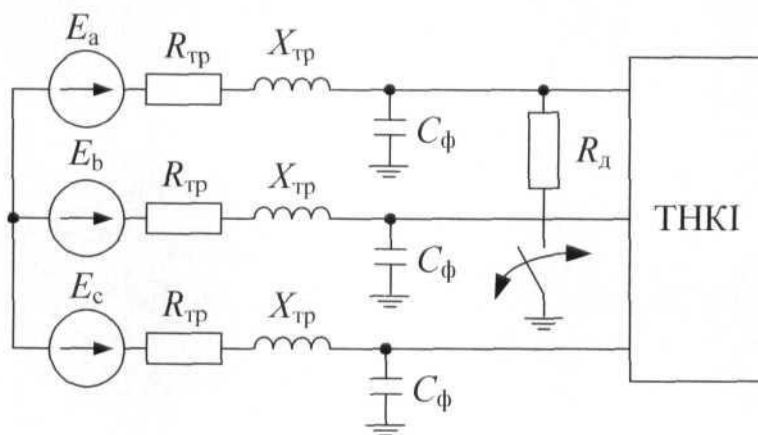
(73) Власник(и):

**ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,  
вул. Університетська, 7, м. Маріуполь,  
Донецька обл., 87500 (UA)**

## (54) СПОСІБ РОЗПІЗНАВАННЯ ОДНОФАЗНОГО ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ ЧЕРЕЗ ПЕРЕКИДНУ ДУГУ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ З ІЗОЛЬОВАНОЮ НЕЙТРАЛЛЮ

### (57) Реферат:

Спосіб розпізнавання однофазного замикання на землю через перекидну дугу в електромережах з ізолюованою нейтраллю, при якому проводять реєстрацію напруги нульової послідовності в режимі реального часу, визначення середньоквадратичного значення напруги нульової послідовності, модуля похідної від напруги нульової послідовності. Факт існування однофазного замикання на землю через перекидну дугу встановлюють за умови, якщо середньоквадратичне значення напруги нульової послідовності та модуль похідної від напруги нульової послідовності одночасно перевищують відповідні граничні значення.



UA 91084 U



Корисна модель належить до галузі електроенергетики, а детальніше, до електромереж з ізольованою нейтраллю, надійність роботи яких визначає безперебійність електропостачання відповідальних промислових об'єктів. Запропонований алгоритм розпізнавання режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу в електромережах з ізольованою нейтраллю може бути використаний у алгоритмах ідентифікації перехідних процесів та при створенні пристроїв релейного захисту.

Відомим способом розпізнавання однофазного замикання на землю через перекидну дугу в електромережах з ізольованою нейтраллю є спосіб, оснований на реєстрації фазних напруг в режимі реального часу та подальшій математичній обробці результатів за допомогою алгоритму штучних нейронних мереж (Whei-Min Lin, Chin-Der Yang, Jia-Hong, Ming-Tong Tsaj. A Fault Classification Method by RBF Neural Network With OLS Learning Procedure-IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.16, No.4, Oct., 2001, pp. 473-477). При навчанні нейронної мережі використовують дані, отримані при реєстрації перехідних процесів у діючих електромережах з ізольованою нейтраллю, та дані, отримані при комп'ютерному моделюванні перехідних процесів. Недоліком цього способу є його складність, оскільки технологія навчання нейронної мережі досить складна, і для отримання достовірних результатів слід використовувати значний об'єм вихідних даних. За умов неточних вихідних даних або за неоптимального вибору алгоритму навчання нейронної мережі існує вірогідність некоректної роботи способу.

Як прототип вибраний відомий спосіб розпізнавання однофазного замикання на землю через перекидну дугу в електромережах з ізольованою нейтраллю, що містить реєстрацію напруги нульової послідовності в режимі реального часу, визначення середньоквадратичного значення напруги нульової послідовності, модуля похідної від напруги нульової послідовності. Принцип дії прототипу полягає в наступному. В режимі реального часу виконується реєстрація фазних напруг  $u_a(t)$ ,  $u_b(t)$ ,  $u_c(t)$ . Визначені фазні напруги порівнюють з граничним значенням -  $2U_{\text{фм}}$ . У випадку, якщо як мінімум одна з фазних напруг перевищує граничний рівень, визначають похідні від фазних напруг та порівнюють їх знаки. При співпадині знаків похідних від фазних напруг та за умови, якщо значення модуля похідних від фазних напруг перевищує уставку - подвійне значення максимуму похідної від лінійної максимальної напруги, тобто  $U'_{\text{уст}} = 2\omega\sqrt{3}U_{\text{фм}}$ , де  $\omega$  - промислова кутова частота мережі,  $U_{\text{фм}}$  - максимальна фазна напруга мережі, фіксують момент часу  $t_0$  перевищення останньої похідної напруги уставки  $U'_{\text{уст}}$ . Відступаючи від значення  $t_0$  на час заспокоєння перехідних процесів  $t_3$ , який визначається параметрами індуктивності джерела живлення та фазної ємності мережі, визначають напругу нульової послідовності, що дорівнює  $u_0(t) = [u_a(t) + u_b(t) + u_c(t)]/3$ , та виконують її квадратичну апроксимацію у вигляді  $u_0(\tau) = a \cdot \tau^2 + b \cdot \tau + c$ , де  $a, b, c$  - коефіцієнти квадратичного полінома. На початку ділянки апроксимації ( $\tau = 0$ ) визначають напругу нульової послідовності, яка дорівнює коефіцієнту  $c$  полінома, та похідну від напруги нульової послідовності  $du_0(\tau)/d\tau$ , що дорівнює коефіцієнту полінома  $b$ . Якщо модуль швидкості зміни напруги нульової послідовності менше  $0,1U_{\text{фм}}/\text{мс}$  та модуль напруги нульової послідовності перевищує  $0,1U_{\text{фм}}$  констатують факт існування однофазного замикання на землю через перекидну дугу. Тобто критерієм існування режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу є мала за модулем швидкість зміни напруги нульової послідовності між повторними пробоями ізоляції. Згідно з прототипом тривалість незмінної ділянки напруги нульової послідовності складає 3 мс, ця величина отримана на основі моніторингу перехідних процесів в діючих мережах. Пошкоджена фаза визначається за максимумом похідної від фазних напруг, тобто максимальне значення похідної відповідає пошкодженій фазі (Патент 2356062 СІ России, МПК G01R31/02. Способ распознавания однофазного дугового замыкания на землю и поврежденной фазы в распределительных сетях с изолированной нейтралью / Богдасева Л.В., Качесов В.Е.; Заявл. 16.10.2007; Оpubл. 20.05.2009).

Прототип має наступні недоліки. Критерієм існування однофазного дугового замикання на землю є поява ділянок в напрузі нульової послідовності із малою швидкістю зміни цієї напруги, що виникають в проміжках між згасанням та спалахуванням електричної дуги. Така поведінка напруги нульової послідовності характерна для випадків, коли гасіння дуги струму однофазного замикання на землю виникає при першому переході високочастотної складової струму через нуль (теорія Петерсена), що далеко не завжди відбувається на практиці. Досліди перехідних процесів у діючих мережах доводять, що гасіння дуги струму однофазного замикання на землю можливо і при інших переходах високочастотної складової струму замикання на землю через нуль. Крім того, можливе гасіння дуги струму замикання на землю при переході складової промислової частоти через нуль або багатократне займання та гасіння дуги струму

однофазного замикання на землю за період промислової частоти. В таких випадках ділянки з практично незмінною напругою нульової послідовності будуть незначні або зовсім будуть відсутні, на відміну від горіння дуги за теорією Петерсена. Тому ефективність та працездатність запропонованого у прототипі способу буде низькою. Крім того, запропонований алгоритм не має відлаштувань від інших видів несиметрії, наприклад від ферорезонансу. Також слід відзначити наявність математичного апарату апроксимації напруги нульової послідовності квадратичним поліномом, що безумовно ускладнює роботу алгоритму.

В основі способу розпізнавання однофазного замикання на землю через перекидну дугу в електромережах з ізольованою нейтраллю стоїть задача спрощення та підвищення точності роботи алгоритму розпізнавання однофазного замикання на землю, що досягається шляхом використання нових ознак існування режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі розпізнавання однофазного замикання на землю через перекидну дугу в електромережах з ізольованою нейтраллю, що включає реєстрацію напруги нульової послідовності в режимі реального часу, визначення середньоквадратичного значення напруги нульової послідовності, модуля похідної від напруги нульової послідовності, згідно з корисною моделлю, факт існування однофазного замикання на землю через перекидну дугу встановлюють за умови, якщо середньоквадратичне значення напруги нульової послідовності та модуль похідної від напруги нульової послідовності одночасно перевищують відповідні граничні значення.

При цьому розрахунок середньоквадратичного значення напруги нульової послідовності та модуля похідної від напруги нульової послідовності виконують кожні 0,3 с, гранична величина середньоквадратичного значення напруги нульової послідовності становить  $0,2U_{\Phi}$ , граничне значення модуля похідної від напруги нульової послідовності складає  $10^6$  В/с.

В запропонованому технічному рішенні ознакою існування однофазного замикання на землю через перекидну дугу є значна швидкість зміни напруги нульової послідовності в момент пробією ізоляції. Це зумовлене тим, що процеси однофазного замикання на землю є вимушеними перехідними процесами. Максимум похідної від напруги нульової послідовності припадає на момент пробією ізоляції, оскільки в цей момент напруга  $u_0(t)$  різко змінює свій знак.

Середньоквадратичне значення напруги нульової послідовності та модуль похідної від напруги нульової послідовності розраховується на основі даних, отриманих кожні 0,3 с. Буферизація даних необхідна для відлаштування від короточасних перехідних процесів, які також супроводжуються появою напруги нульової послідовності, проте досить швидко згасають. Наприклад, це перехідні процеси при комутації елементів мережі. Середньоквадратичне значення напруги нульової послідовності таких перехідних процесів, розраховане за час 0,3 с та більше, буде незначним, оскільки час існування подібних перехідних процесів становить одиниці-десятки мс. Досліди показали, що вибраний час накопичення даних 0,3 с є оптимальним, оскільки за цей час короточасні перехідні процеси гарантовано згасають. Подібні висновки зроблено на основі статистичної обробки даних реєстрації перехідних процесів в діючих електромережах, а також даних комп'ютерного моделювання перехідних процесів. При зменшенні часу буферизації можливе хибне спрацювання алгоритму при згасаючих перехідних процесах, оскільки розраховане за вибраний час середньоквадратичне значення напруги нульової послідовності може перевищити уставку. Збільшення часу буферизації понад 0,3 с є можливим, проте до суттєвого підвищення ефективності роботи алгоритму не призведе, крім того знизить швидкодію алгоритму.

Додатковим засобом відлаштування від згасаючих перехідних процесів, а також від природного зміщення нейтралі є гранична величина середньоквадратичного значення напруги нульової послідовності, що складає  $2U_{\Phi}$ .

В запропонованому технічному рішенні передбачене відлаштування від такого різновиду перехідних процесів як ферорезонанс. Режим ферорезонансу також супроводжується появою напруги нульової послідовності, причому її величина може перевищувати величину  $U_{\Phi}$ . Проте на відміну від режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу процес ферорезонансу є вільним перехідним процесом, тому швидкість зміни напруги  $u_0(t)$  та модуль похідної від цієї напруги є значно меншим, ніж за режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу. На цьому факті ґрунтується відлаштування алгоритму від режиму ферорезонансу. При визначенні граничного значення модуля похідної від напруги нульової послідовності, який гарантовано відповідає режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу, до уваги прийнято дані, отримані при реєстрації перехідних процесів у діючих мережах, а також дані, отримані у результаті комп'ютерного моделювання перехідних процесів.

В ході ґрунтовних дослідів було визначено, що граничною величиною  $d[u_0(t)]/dt$  є значення  $10^6$  В/с.

Нижче корисна модель пояснюється на прикладі її виконання з посиланнями на креслення, на яких зображено:

5 на Фіг. 1 - схема заміщення електричної мережі з ізолюваною нейтраллю в режимі однофазного замикання на землю через перекидну дугу;

на Фіг. 2 - розрахункові криві напруги  $u_0(t)$  в режимі ферорезонансу між ємністю нульової послідовності мережі та нелінійною індуктивністю трансформатора напруги контролю ізоляції;

10 на Фіг. 3 - розрахункові криві похідної від напруги  $u_0(t)$  за режиму ферорезонансу між ємністю нульової послідовності мережі та нелінійною індуктивністю трансформатора напруги контролю ізоляції;

на Фіг. 4 - розрахункові криві напруги  $u_0(t)$  за режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу при різноманітних режимах горіння заземляючої дуги;

15 на Фіг. 5 - розрахункові криві похідної від напруги  $u_0(t)$  за режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу при різноманітних режимах горіння заземляючої дуги.

Спосіб розпізнавання однофазного замикання на землю через перекидну дугу в електромережах з ізолюваною нейтраллю здійснюється наступним чином.

Дана електрична мережа 6 кВ з ізолюваною нейтраллю, яка живиться від трансформатора 110/6 кВ потужністю 6,3 МВА. Параметри живлячого трансформатора складають:  $U_K=10,5\%$ ,  $\Delta P_{K3} = 44$  кВт,  $\Delta P_{XX} = 11,5$  кВт. Активний та індуктивний опір силового трансформатора відповідно дорівнюють:  $R_{TP} = 0,04$  Ом,  $X_{TP} = 0,6$  Ом. Струм однофазного замикання на землю мережі становить 5 А, що еквівалентне фазній ємності  $C_\Phi = 1,53$  мкФ. Для вимірювання напруги в мережі встановлено трансформатор напруги контролю ізоляції (ТНКИ) типу НТМІ-6. Реєстрація напруги нульової послідовності виконується за допомогою додаткової вторинної обмотки ТНКИ (обмотки розімкнутого трикутника), в результаті чого отримуємо напругу  $3u_0(t)$ . Збурення електричної дуги моделюється шунтуванням відповідної фазної ємності лінійним активним опором  $R_d$ , згасання дуги враховується розмиканням шунтуючого кола. Схема заміщення електричної мережі з ізолюваною нейтраллю в режимі однофазного замикання на землю через перекидну дугу наведена на Фіг. 1.

30 В режимі реального часу напруга з виводів обмотки розімкнутого трикутника ТНКИ  $3u_0(t)$  подається на вхід мікроконтролера, поділивши цю напругу на 3 отримуємо напругу нульової послідовності  $u_0(t)$ . Вибірка даних триває кожні 0,3 с, за цей час розраховується середньоквадратичне значення напруги  $u_0(t)$ . Якщо отримана величина не перевищує  $0,2 U_\Phi$  процес моніторингу триває. В іншому випадку розраховується похідна від напруги нульової послідовності, а отримана величина порівнюється із пороговим значенням, яке складає  $10^6$  В/с. Таким чином у випадку, якщо розраховане за час 0,3 с середньоквадратичне значення напруги нульової послідовності становитиме  $0,2 U_\Phi$  або більше, та модуль похідної від напруги нульової послідовності становитиме  $10^6$  В/с чи більше фіксується факт існування однофазного замикання на землю через перекидну дугу.

40 Нагадаємо, що за металевого однофазного замикання на землю середньоквадратичне значення напруги  $3u_0(t)$  на виводах обмотки розімкнутого трикутника становить 100 В, відповідно діюче значення напруги нульової послідовності  $u_0(t)$  складає  $100/3=33,3$  В. Гранична величина середньоквадратичного значення напруги нульової послідовності  $u_0(t)$  становить  $0,2 U_\Phi$ , тому в іменованих одиницях маємо величину  $0,2 \cdot 100/3=6,66$  В.

45 На Фіг. 2 наведено отримані в результаті математичного моделювання розрахункові криві напруги  $u_0(t)$  за режиму ферорезонансу між ємністю мережі нульової послідовності та нелінійною індуктивністю ТНКИ. На Фіг. 3 наведено розрахункові криві похідної від напруги  $u_0(t)$  за режиму ферорезонансу. Найбільша швидкість зміни напруги  $u_0(t)$  при ферорезонансі відповідає коливанням, що розвиваються при малій фазній ємності (10-100 пФ). Такі ферорезонанси протікають на частотах 100-150 Гц. Досліди режиму ферорезонансу показали, що максимальне значення  $|d(u_0)/dt|$  в цьому режимі не перевищує  $1,5 \cdot 10^5$  В/с.

На відміну від процесів ферорезонансу, які являють собою вільні коливання, процеси при однофазному замиканні на землю через перекидну дугу є вимушеними, тому швидкість зміни напруги нульової послідовності у цьому випадку є значно більшою, максимум похідної  $|d(u_0)/dt|$

припадає на момент чергового пробігу ізоляції при зміні полярності напруги нульової послідовності. На Фіг. 4 наведено розрахункові криві напруги  $u_0(t)$  за режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу при різноманітних режимах горіння заземлюючої дуги. На Фіг. 5 наведено розрахункові криві похідної від напруги  $u_0(t)$  за режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу при різноманітних режимах горіння заземлюючої дуги. При цьому враховувалися такі теорії горіння заземлюючої дуги як Петерсена, Дударєва, Петерса-Слепяна та випадкове горіння дуги, яке еквівалентне випадковому контакту гілок та неізольованих провідників під дією вітру. Як бачимо з результатів, порядок величини  $|d(u_0)/dt|$  за режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу складає  $10^6$  В/с, що майже на порядок більше, ніж за режиму ферорезонансу. Вибране граничне значення модуля похідної від напруги нульової послідовності складає 10 В/с, що одночасно забезпечує достатню чутливість до режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу та відлаштування від режиму ферорезонансу.

Запропонований спосіб розпізнання однофазного замикання на землю через перекидну дугу в електромережах з ізолюваною нейтраллю має ряд позитивних властивостей. В режимі реального часу аналізується лише один сигнал, математичний алгоритм способу досить простий та не потребує значних обчислювальних ресурсів, тому досить просто реалізується на бюджетних мікроконтролерах. Алгоритм передбачає відлаштування від режиму ферорезонансу, який є доволі поширеним режимом несиметрії, за рахунок чого досягається підвищення точності та надійності ідентифікації режиму однофазного замикання на землю через перекидну дугу.

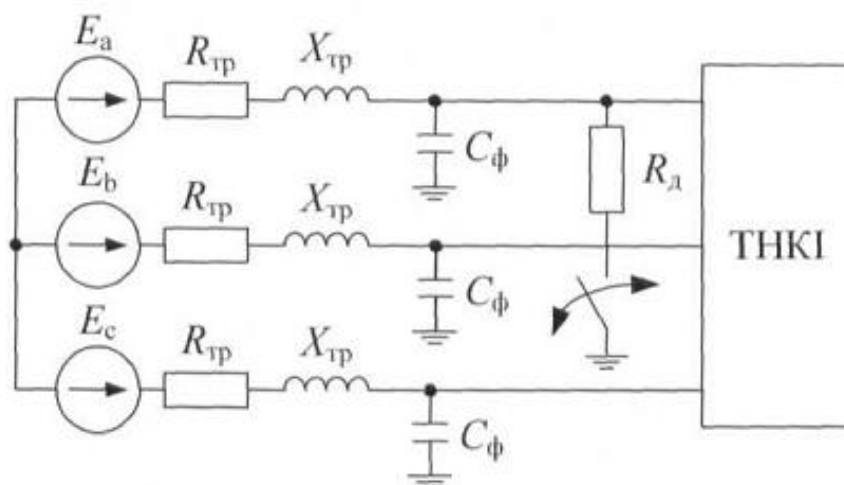
#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб розпізнавання однофазного замикання на землю через перекидну дугу в електромережах з ізолюваною нейтраллю, при якому проводять реєстрацію напруги нульової послідовності в режимі реального часу, визначення середньоквадратичного значення напруги нульової послідовності, модуля похідної від напруги нульової послідовності, який **відрізняється** тим, що факт існування однофазного замикання на землю через перекидну дугу встановлюють за умови, якщо середньоквадратичне значення напруги нульової послідовності та модуль похідної від напруги нульової послідовності одночасно перевищують відповідні граничні значення.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що розрахунок середньоквадратичного значення напруги нульової послідовності та модуля похідної від напруги нульової послідовності виконують кожні 0,3 с.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що гранична величина значення середньоквадратичної напруги нульової послідовності становить  $0,2 U_\phi$ .

4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що граничне значення модуля похідної від напруги нульової послідовності складає  $1 \cdot 10^6$  В/с.



Фіг. 1

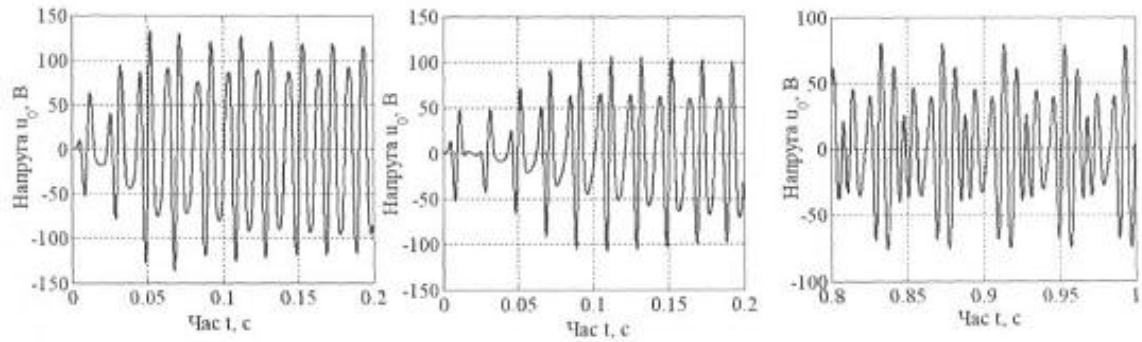


Fig. 2

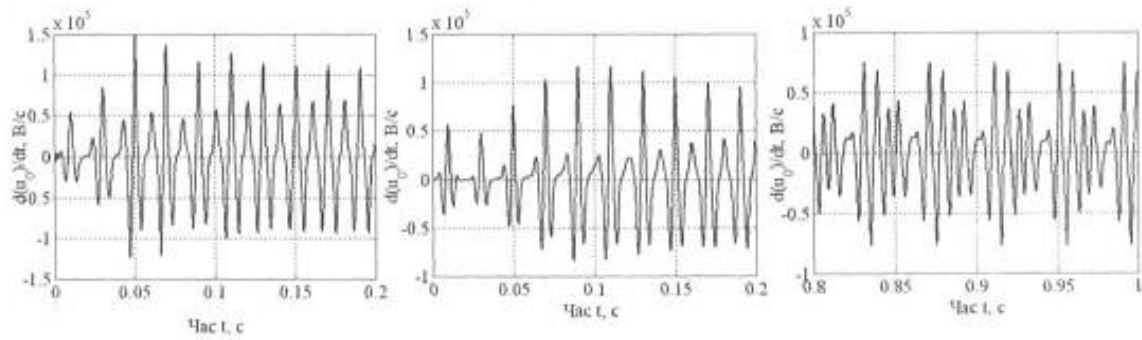


Fig. 3

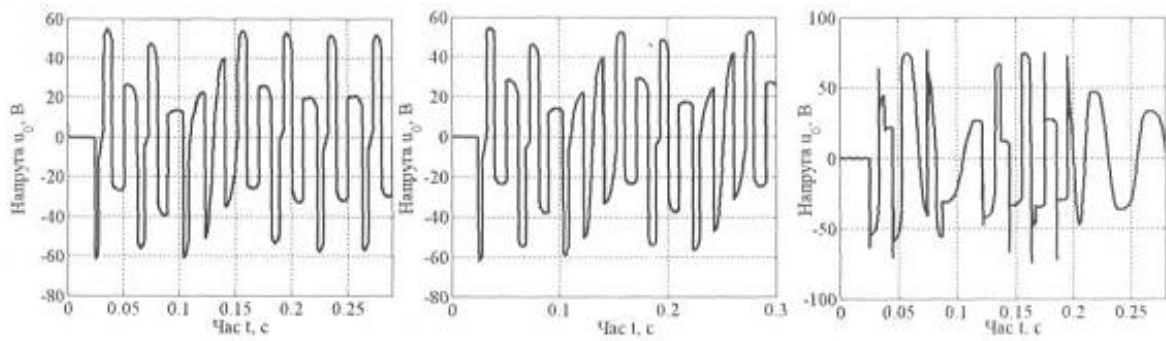


Fig. 4

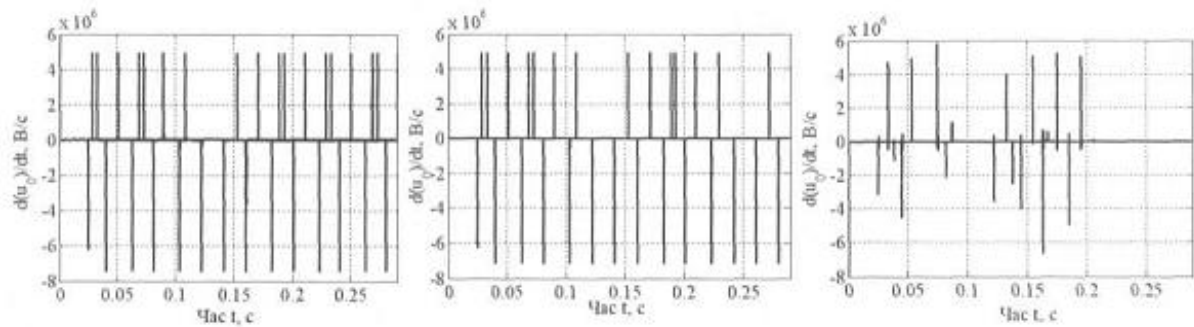


Fig. 5

Комп'ютерна верстка О. Рябко

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

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