



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **124795** (13) **C2**
(51) МПК
G01V 7/14 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: a 2020 02307</p> <p>(22) Дата подання заявки: 09.04.2020</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 18.11.2021</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 10.08.2020, Бюл.№ 15</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 17.11.2021, Бюл.№ 46</p>	<p>(72) Винахідник(и): Болюх Володимир Федорович (UA), Вінніченко Олександр Іванович (UA), Омельченко Анатолій Васильович (UA), Неєжмаков Павло Іванович (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): Болюх Володимир Федорович, вул. Гвардійців-Широнінців, 18-г, кв. 82, м. Харків-120, 61120 (UA), Вінніченко Олександр Іванович, вул. Героїв Сталінграда, 144/1, к. 96, м. Харків-162, 61162 (UA), Омельченко Анатолій Васильович, вул. Генерала Момота, 7, кв. 38, м. Харків-75, 61075 (UA), Неєжмаков Павло Іванович, пров. Брянський, 7, кв. 113, м. Харків, 61068 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 96904 C2, 12.12.2011 UA 118620 C2, 11.02.2019 RU 2192024 C1, 27.10.2002 SU 1080104 A1, 15.03.1984 WO 2018056860 A1, 29.03.2018 Концепция баллистического лазерного гравиметра с индукционно-динамической катапульты и виброзащитой от автосейсмических колебаний [Електронний ресурс] / В. Болюх, А. Омельченко, А. Винніченко, В. Купко // Метрологія та прилади. - 2017. - № 2. - С. 40-48 Юзефович А.П., Огородова Л.В. Гравиметрия. - М.: Недра, 1980. - С. 102-109</p>
--	--

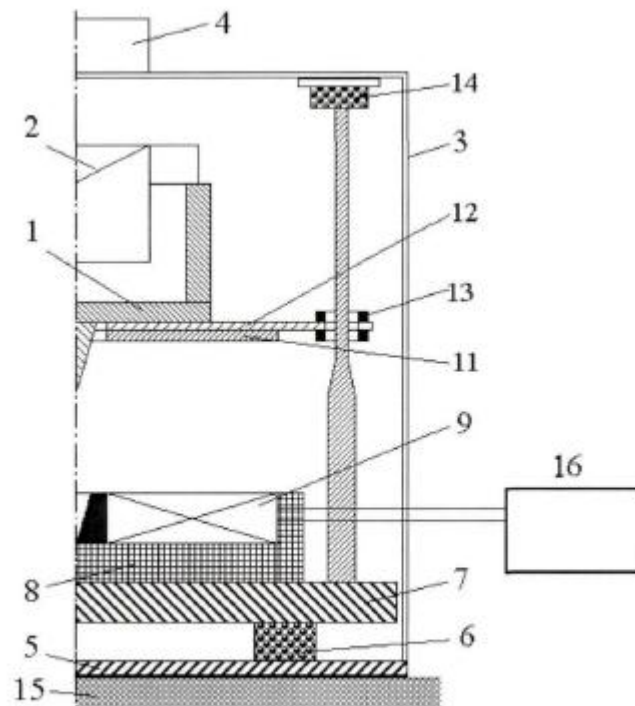
UA 124795 C2

(54) БАЛІСТИЧНИЙ ГРАВИМЕТР ДЛЯ СИМЕТРИЧНОГО СПОСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ З ІНДУКЦІЙНО-ДИНАМІЧНОЮ КАТАПУЛЬТОЮ, ЩО МАЄ БАГАТОІМПУЛЬСНЕ ЗБУДЖЕННЯ

(57) Реферат:

Балістичний гравиметр для симетричного способу вимірювання прискорення вільного падіння з індукційно-динамічною катапультю, що має багатоімпульсне збудження, містить пробне тіло з оптичним кутниковим відбивачем, вакуумну камеру, напрямні елементи та індукційно-динамічну катапульту, яка складається з коаксіально розташованих якоря, який виконаний у вигляді диска з електропровідного матеріалу, і котушки з обмоткою, яка з'єднана з ємнісним накопичувачем енергії, що підключений до блока живлення постійного струму, за допомогою пари зустрічно-

паралельно з'єднаних та підключених до блока керування тиристорів, один з яких забезпечує підкидання якоря з пробним тілом вгору, а інший - гальмування якоря з пробним тілом при падінні вниз відносно обмотки котушки. Ємнісний накопичувач енергії виконаний у вигляді ряду секцій, кожна з яких за допомогою пари зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів паралельно з'єднана з іншими секціями. Причому тиристори, які забезпечують підкидання якоря з пробним тілом вгору, приєднані до пускового пристрою блока керування, який забезпечує послідовне надходження сигналів на відкриття цих тиристорів, а тиристори, які забезпечують гальмування якоря при падінні вниз, підключені до пускового пристрою блока керування, який забезпечує їх відкриття як для початкового живлення секцій ємнісного накопичувача енергії, так і для наступного гальмування якоря. Ємність секції ємнісного накопичувача енергії, яка відкривається для підкидання якоря з пробним тілом вгору при надходженні сигналу від пускового пристрою блока керування, більша за ємність секції, яка була відкрита попереднім сигналом від пускового пристрою блока керування.



Фіг. 2

Винахід належить до галузі гравіметрії і може бути використаний в балістичних гравіметрах для симетричного способу вимірювань абсолютних значень прискорення вільного падіння g .

Існують гравіметри для визначення абсолютного значення прискорення вільного падіння g шляхом вимірювання параметрів вільного польоту вертикально підкинutoї догори пробної маси (пробного тіла) [1].

Основними елементами такого гравіметра є: вакуумна камера з розміщеною в ній катапультаю для підкидання пробного тіла у вигляді кутникового оптичного відбивача, лазерний інтерферометр переміщень, електронно-рахункова система для обробки інтерференційного сигналу з виходу інтерферометра з метою обчислення g і керування роботою катапульти.

Відомий балістичний гравіметр, в якому катапульта для підкидання пробного тіла виконана у вигляді якоря соленоїда і напрямних елементів для вертикального руху якоря [2].

Недоліком відомої катапульти з соленоїдним електромагнітним приводом є те, що при кидку пробного тіла наявна віддача, яка через механічний зв'язок діє на рахункову систему - лазерний інтерферометр, збуджуючи в ньому вертикальні коливання і вносячи похибку у результат виміру g .

Відомий балістичний гравіметр для симетричного способу вимірювань прискорення вільного падіння g , який містить пробне тіло з оптичним відбивачем, вакуумну камеру, каретку штовхача з напрямними елементами, соленоїдний електромагнітний привод, що складається з якоря і котушки (обмотки), причому каретка штовхача зв'язана з якорем соленоїда рівноплечим пантографом, забезпечуючи при цьому зменшення віддачі катапульти при підкиданні пробного тіла [3].

В даному гравіметрі за рахунок зменшення віддачі катапульти при підкиданні пробного тіла забезпечується підвищення точності виміру прискорення вільного падіння g .

Недоліком відомого технічного рішення є багатоступенева передача енергії від електричного джерела, що живить обмотку котушки, на вертикальне переміщення каретки з пробним тілом. Забезпечення зазначеного перетворення енергії здійснюється через переміщення якоря вниз, осьове розтискання і радіальне стискання пантографа відносно нерухомої осі, механічна взаємодія підшипників каретки і якоря з напрямними елементами. При осьовому розтисканні пантографа відбувається механічна взаємодія значної кількості шарнірних елементів як між собою, так і з нерухомою віссю, яка з'єднана з вакуумною камерою.

Оскільки зазначений електромагнітно-механічний штовхач механічно зв'язаний з іншими нерухомими елементами, наприклад зі стінками вакуумної камери, то під час роботи балістичний гравіметр зазнає дії різних механічних коливань, спричинених ударно-вібраційними процесами. Ці вібрації приводять до появи детермінованої складової у похибці виміру, яка може змінюватись у часі.

Крім того, у відомому балістичному гравіметрі через механічну взаємодію рухомих з нерухомими елементами при роботі у вакуумі необоротно змінюються контактні поверхні: виникають мікроскопічні тріщини, руйнуються поверхневі, наприклад, окисні плівки, збільшується коефіцієнт тертя, а знос елементів може досягнути неприпустимих величин, які виключають нормальне функціонування гравіметра [4].

Найбільш близьким за своєю технічною суттю (протитипом) до винаходу, що пропонується, є балістичний гравіметр з індукційно-динамічним приводом (катапультаю) для симетричного способу вимірювання прискорення вільного падіння, який містить пробне тіло з оптичним кутниковим відбивачем, вакуумну камеру, штовхач пробного тіла, напрямні елементи, електромеханічний привод, який складається з коаксіально розташованих якоря і котушки з обмоткою [5]. В цьому гравіметрі індукційно-динамічна катапульта виконана у вигляді обмотки дискової форми, яка підключається до ємнісного накопичувача енергії і розташована в котушці з ізоляційного матеріалу, якір виконаний у вигляді диска з електропровідного матеріалу, нижня сторона якого повернена до верхньої сторони обмотки котушки, а верхня сторона з'єднана з силовим штовхаючим диском так, що упорядковано розташовані в тангенціальному напрямку на одному радіусі силового диска принаймні три отвори з підшипниками охоплюють напрямні елементи, які виконані у вигляді вертикальних стійок круглого перерізу. Обмотка з'єднана з ємнісним накопичувачем енергії за допомогою двох зустрічно-паралельно з'єднаних керованих тиристорів, один з яких забезпечує початкове відштовхування, а інший - наступне гальмування якоря відносно обмотки котушки.

В відомому балістичному гравіметрі індукційно-динамічна катапульта здійснює безпосередню передачу енергії від електричного джерела, що живить обмотку котушки, на вертикальне переміщення пробного тіла. При такому електромеханічному перетворенні енергії за допомогою магнітного поля не відбувається механічної взаємодії різних механічних елементів між собою і з вакуумною камерою.

Ємнісний накопичувач може тривалий час заряджатися від зовнішнього джерела малим струмом, наприклад від автономного акумулятора, і розряджатися на обмотку котушки за короткий час великим струмом, що важливо для створення механічного імпульсу відштовхування якоря.

5 Оскільки обмотка з'єднана з ємнісним накопичувачем енергії за допомогою двох зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів, то при подачі напруги на керуючий електрод першого тиристора забезпечується початкове відштовхування якоря від обмотки котушки, а при подачі через певний час напруги на керуючий електрод другого тиристора забезпечується електродинамічне гальмування якоря, що виключає його різкий удар об обмотку котушки.

10 Основний недолік балістичного гравіметра з індукційно-динамічною катапультою полягає у створення нею короткочасного та потужного силового імпульсу при підкиданні якоря з пробним тілом вертикально вгору. Аналогічний силовий імпульс діє на обмотку котушки, який викликає автосейсмічні коливання фундаменту та всіх механічних елементів гравіметра. Внаслідок цих коливань виникає відповідна складова похибки вимірювання прискорення вільного падіння g [6].

15 Задачею винаходу є підвищення точності балістичного гравіметра та покращення його експлуатаційних характеристик, а саме зменшення зношування елементів при дії ударних навантажень, за рахунок зменшення амплітуди та збільшення тривалості силової дії, що виникає при підкиданні якоря з пробним тілом вертикально вгору.

20 Поставлена задача вирішується за рахунок того, що відомий балістичний гравіметр для симетричного способу вимірювання прискорення вільного падіння з індукційно-динамічною катапультою включає пробне тіло з оптичним кутниковим відбивачем, вакуумну камеру, напрямні елементи та індукційно-динамічну катапульта, яка складається з коаксіально розташованих якоря, який виконаний у вигляді диска з електропровідного матеріалу, і котушки з обмоткою, яка з'єднана з ємнісним накопичувачем енергії, що підключений до блока живлення постійного струму, за допомогою пари зустрічно-паралельно з'єднаних та підключених до блока керування тиристорів, один з яких забезпечує підкидання якоря з пробним тілом вгору, а інший - гальмування якоря з пробним тілом при падінні вниз відносно обмотки котушки, згідно з винаходом, що пропонується, ємнісний накопичувач енергії виконаний у вигляді ряду секцій, кожна з яких за допомогою пари зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів паралельно з'єднана з іншими секціями, причому тиристори, які забезпечують підкидання якоря з пробним тілом вгору приєднані до пускового пристрою блока керування, який забезпечує послідовне надходження сигналів на відкриття цих тиристорів, а тиристори, які забезпечують гальмування якоря при падінні вниз, підключені до пускового пристрою блока керування, який забезпечує їх відкриття як для початкового живлення секцій ємнісного накопичувача енергії, так і для наступного гальмування якоря, причому ємність секції ємнісного накопичувача енергії, яка відкривається для підкидання якоря з пробним тілом вгору при надходженні сигналу від пускового пристрою блока керування, більша за ємність секції, яка була відкрита попереднім сигналом від пускового пристрою блока керування.

40 Крім того, тиристори підключені до пускового пристрою блока керування так, що він здійснює одночасне їх відкриття як для живлення секцій ємнісного накопичувача енергії, так і для гальмування якоря.

Крім того, тиристори підключені до пускового пристрою блока керування так, що він здійснює послідовне їх відкриття як для живлення секцій ємнісного накопичувача енергії, так і для гальмування якоря.

45 Крім того, ємність секцій ємнісного накопичувача енергії, які послідовно відкриваються для підкидання якоря з пробним тілом вгору, збільшується лінійно.

Крім того, ємність секцій ємнісного накопичувача енергії, які послідовно відкриваються для підкидання якоря з пробним тілом вгору, збільшується пропорційно величині вертикального переміщення якоря відносно обмотки котушки.

50 Виконання ємнісного накопичувача енергії у вигляді ряду секцій, з'єднаних паралельно, дозволяє підключати їх до обмотки індукційно-динамічної катапульти в різні моменти часу. За рахунок цього істотно зменшується амплітуда та збільшується тривалість дії силового імпульсу, який діє між обмоткою котушки та якорем катапульти. Цій задачі сприяє те, що кожна секція ємнісного накопичувача з'єднана з парою зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів. А тиристори, що забезпечують підкидання якоря з пробним тілом вгору, приєднані до пускового пристрою блока керування, який забезпечує послідовне надходження сигналів на відкриття цих тиристорів.

55 Зменшенню амплітуди силового імпульсу сприяє те, що ємність секції ємнісного накопичувача енергії, яка відкривається для підкидання якоря з пробним тілом вгору при

надходженні сигналу від пускового пристрою блока керування, більша за ємність секції, яка була відкрита попереднім сигналом від пускового пристрою блока керування.

Збільшення ємностей секцій ємнісного накопичувача енергії, які послідовно відкриваються для підкидання якоря з пробним тілом вгору, є лінійним або пропорційним величині вертикального переміщення якоря відносно обмотки котушки. Перший варіант легше реалізувати на практиці, а другий варіант більш ефективний для зменшення амплітуди силового імпульсу.

Тиристори, які забезпечують гальмування якоря при падінні вниз, підключені до пускового пристрою блока керування, який забезпечує їх відкриття для двох функцій: 1) початкове живлення секцій ємнісного накопичувача енергії, 2) гальмування якоря. Ці тиристори можуть бути підключені до блока керування так, що він здійснює одночасне або послідовне їх відкриття. Перший варіант технічно легше здійснити на практиці, а другий варіант дозволяє здійснити більш плавне гальмування якоря з пробним тілом та забезпечити початкове живлення секцій ємнісного накопичувача енергії більш низьким струмом.

На фіг. 1 схематично показаний балістичний гравіметр для симетричного способу вимірювання прискорення вільного падіння з індукційно-динамічною катапультю у вихідному стані;

на фіг. 2 - балістичний гравіметр на фіг. 1 в момент вільного польоту якоря з пробним тілом;

на фіг. 3 - електрична схема прототипу, де L_1 , R_1 - індуктивність і опір обмотки катапульти; L_2 , R_2 - індуктивність і опір якоря; M_{12} - взаємна індуктивність між обмоткою і якорем катапульти; V - швидкість переміщення якоря м пробним тілом вздовж вертикальної осі z ; t - час; C - ємність ємнісного накопичувача енергії; VS_0 , VS_1 , VS_2 - тиристори, відповідно, на зарядження ємнісного накопичувача, на відштовхування і гальмування якоря відносно обмотки катапульти;

на фіг. 4 - напруга ємнісного накопичувача U_c , густина струму в обмотці котушки j_i і в якорі 72 в пристрої-прототипі;

на фіг. 5 - імпульс електродинамічної сили f_z , що діє на якір в пристрої-прототипі;

на фіг. 6 - електрична схема джерела живлення пропонованого балістичного гравіметра з індукційно-динамічною катапультю, яка забезпечує знижені автосейсмічні коливання фундаменту, де L_1 , R_1 - індуктивність і опір обмотки катапульти; L_2 , R_2 - індуктивність і опір якоря; M_{12} - взаємна індуктивність між обмоткою котушки і якорем катапульти; V - швидкість переміщення якоря вздовж вертикальної осі z ; t - час; C_1 , C_2 , ..., C_n - ємність 1, 2, ..., n -ї секції ємнісного накопичувача енергії; VS_1' , VS_2' , ..., VS_n' - тиристори 1, 2, ..., n -ї секції ємнісного накопичувача енергії, які забезпечують підкидання якоря з пробним тілом вгору; VS_1'' , VS_2'' , ..., VS_n'' - тиристори ємнісного накопичувача енергії, які забезпечують початкове живлення 1, 2, ..., n -ї секції секцій ємнісного накопичувача енергії та гальмування якоря при падінні вниз;

на фіг. 7 - густина струму в обмотці котушки j_1 і в якорі j_2 (зліва) та імпульс електродинамічної сили f_z , що діє на якір, швидкість v_z і переміщення h_z якоря вздовж вертикальної осі z ; (справа) в пропонованому балістичному гравіметрі при збудженні пакетом імпульсів від 1, 2, ..., n -ї секцій ємнісного накопичувача енергії, що мають однакові ємності;

на фіг. 8 - густина струму в обмотці котушки j_1 і в якорі j_2 (зліва) та імпульс електродинамічної сили f_z , що діє на якір, швидкість v_z і переміщення h_z якоря вздовж вертикальної осі z (справа) в пропонованому балістичному гравіметрі при збудженні пакетом імпульсів від 1, 2, ..., n -ї секцій ємнісного накопичувача енергії, ємність яких збільшується лінійно.

Балістичний гравіметр для симетричного способу вимірювання прискорення вільного падіння з індукційно-динамічною катапультю, яка забезпечує знижені автосейсмічні коливання фундаменту, містить пробне тіло 1 з оптичним кутниковим відбивачем 2, які розміщені в вакуумній камері 3. Зверху камери 3 розташований лазерний випромінювач 4. Вакуумна камера має масивне дно 5, на якому встановлено демпфер 6, що тримає силову плиту 7. На плиті 7 розміщені індуктор катапульти, який включає каркас 8 і обмотку 9, та напрямні стійки 10.

Коаксіально з обмоткою 9 індуктора встановлено якір 11, який виконаний у вигляді диска з електропровідного матеріалу. Якір 11 прикріплений до силового диска 12, на якому встановлено пробне тіло 1. На краях силового диска 12 розміщені підшипники 13, які охоплюють напрямні стійки 10. У верхній частині стійки 10 приєднані до вакуумної камери 3 за допомогою пружних демпферів 14. Масивне дно 5 вакуумної камери встановлено на фундаменті 15.

Обмотка 9 індуктора індукційно-динамічної катапульти з'єднана з джерелом живлення 16, яке включає блок живлення постійного струму 17, секції C_1 , C_2 , ..., C_n ємнісного накопичувача енергії, тиристори VS_1' , VS_2' , ..., VS_n' секцій ємнісного накопичувача енергії, які забезпечують підкидання якоря 11 з пробним тілом 1 вгору, та тиристори VS_1'' , VS_2'' , ..., VS_n'' секцій ємнісного

накопичувача енергії, які забезпечують початкове живлення 1, 2, ..., n-ї секцій ємнісного накопичувача енергії та гальмування якоря 11 при падінні вниз.

5 Пара тиристорів VS_1' і VS_1'' , VS_2' і VS_2'' , ..., VS_n' і VS_n'' з'єднані між собою зустрічно-паралельно та послідовно з секціями C_1 , C_2 , ..., C_n ємнісного накопичувача енергії. Тиристиори підключені до блока керування 18. Тиристиори VS_1' , VS_2' , ..., VS_n' секцій ємнісного накопичувача енергії, які забезпечують підкидання якоря 11 з пробним тілом 1 вгору, приєднані до пускового пристрою 19 блока керування 18. Пусковий пристрій 19 забезпечує послідовне надходження сигналів з виходів 1', 2', ..., n' на відкриття тиристорів VS_1' , VS_2' , ..., VS_n' . Тиристиори VS_1'' , VS_2'' , ..., VS_n'' секцій ємнісного накопичувача енергії, які забезпечують початкове живлення 1, 2, ..., n-ї секцій ємнісного накопичувача енергії та гальмування якоря 11 при падінні вниз, підключені через виходи 1'', 2'' ..., n'' до пускового пристрою 20 блока керування 18, який забезпечує їх відкриття. Блок керування 18 включає пристрій запуску 21, який пов'язаний з пусковими пристроями 19 і 20.

15 Ємність секції G_{i+1} ємнісного накопичувача енергії, яка відкривається для підкидання якоря 11 з пробним тілом 1 вгору при надходженні сигналу від пускового пристрою 19 блока керування 18, більша за ємність C_i секції, яка була відкрита попереднім сигналом від цього пускового пристрою 19.

20 Тиристиори VS_1'' , VS_2'' , ..., VS_n'' секцій ємнісного накопичувача енергії, які забезпечують початкове живлення 1, 2, ..., n-ї секцій ємнісного накопичувача енергії та гальмування якоря 11 при падінні вниз, підключені до пускового пристрою 20 блока керування 18 так, що він здійснює або одночасне, або послідовне їх відкриття.

Ємність секцій C_1 , C_2 , ..., C_n ємнісного накопичувача енергії, які послідовно відкриваються для підкидання якоря з пробним тілом вгору, збільшується або лінійно, або пропорційно величині вертикального переміщення якоря відносно обмотки індуктора.

25 Балістичний гравіметр для симетричного способу вимірювання прискорення вільного падіння з індукційно-динамічною катапультою, яка забезпечує знижені автосейсмічні коливання фундаменту, працює наступним чином.

У вихідному стані (фіг. 1) пробне тіло 1 з оптичним кутниковим відбивачем 2 знаходяться в нижньому положенні, при якому забезпечується максимальний магнітний зв'язок між обмоткою 9 і якорем 11 індукційно-динамічної катапульти. При подачі сигналу від пристрою запуску 21 блока керування 18 на пусковий пристрій 20 через виходи 1'', 2'' ..., n'' на тиристиори VS_1'' , VS_2'' , ..., VS_n'' або одночасно, або послідовно надходять сигнали і вони відкриваються. Секції C_1 , C_2 , ..., C_n ємнісного накопичувача енергії або одночасно, або послідовно заряджаються до початкової напруги від блока живлення постійного струсу 17. Після чого пусковий пристрій 20 35 убирає сигнали і тиристиори VS_1'' , VS_2'' , ..., VS_n'' зачиняються.

Від пристрою запуску 21 блока керування 18 на пусковий пристрій 19 через виходи 1', 2', ..., n' послідовно з певним інтервалом слідування надходять сигнали на відкриття тиристорів VS_1' , VS_2' , ..., VS_n' . Відбувається послідовний розряд секцій C_1 , C_2 , ..., C_n ємнісного накопичувача енергії на обмотку 9 індуктора. При цьому в обмотці 9 виникає послідовна серія однополярних імпульсів струму густиною j_1 (фіг. 6, 7). Під дією імпульсів струму в обмотці виникає магнітне поле, яке наводить в якорі 11 струм густиною j_2 . Секції ємнісного накопичувача при цьому змінюють полярність напруги u_c на протилежну зі зниженою величиною по відношенню до вихідної. Тиристиори VS_1' , VS_2' , ..., VS_n' закриваються.

45 Оскільки імпульси струмів обмотки 9 і якоря 11 катапульти мають протилежну полярність, між ними виникають імпульси аксіальної електродинамічної сили f_z відштовхування, під дією яких якорь 11 разом з силовим диском 12 і пробним тілом 1 здійснює вільне вертикальне переміщення h_z зі швидкістю v_z . При цьому включається оптичний випромінювач 4, діючий на оптичний кутниковий відбивач 2, і здійснюється симетричний спосіб вимірювання прискорення вільного падіння g .

50 При падінні якоря 11 вниз в момент наближення його до обмотки 9 індуктора від пристрою запуску 21 блока керування 18 на пусковий пристрій 20 через виходи 1'', 2'', ..., n'' або одночасно, або послідовно з певним інтервалом слідування надходять сигнали на відкриття тиристорів VS_1'' , VS_2'' , ..., VS_n'' . Відбувається або одночасний, або послідовний розряд секцій C_1 , C_2 , ..., C_n ємнісного накопичувача енергії на обмотку 9 індуктора. Оскільки напруга секцій ємнісного накопичувача U_c при цьому є меншою вихідної напруги, то виникаючі, один або серія імпульсів електродинамічної сили f_z відштовхування від обмотки 9, є достатніми лише для плавного гальмування падаючого вниз якоря 11 з пробним тілом.

Як приклад розглянемо індукційно-динамічну катапульти, яка забезпечує підкидання пробного тіла масою 80 г на максимальну висоту $h_z=120....160$ мм.

При збудженні обмотки індукційно-динамічної катапульти одиночним імпульсом (фіг. 3), що відбувається у прототипі, амплітуда густини струму в обмотці індуктора сягає величини $j_{1m}=155,7$ А/мм² за 0,075 мс, а амплітуда щільності струму в якорі сягає $j_{2m}=501,9$ А/мм² (фіг. 4). Між обмоткою індуктора та якорем діють електродинамічні зусилля, амплітуда яких сягає $f_{zm}=5092,8$ Н (фіг. 5). Це забезпечує розгін якоря з пробним тілом до швидкості $v_z=1,77$ м/с за 0,2 мс та максимальну висоту підкидання $h_z=158$ мм.

В запропонованому технічному рішенні тиристори, які забезпечують підкидання якоря з пробним тілом вгору, приєднані до пускового пристрою блока керування, який забезпечує послідовне з певним періодом слідування, наприклад 2 мс, надходження сигналів на відкриття цих тиристорів. Якщо всі, наприклад десять, секцій ємнісного накопичувача енергії мають однакові параметри, то тривалість силової дії на якір збільшується до 20 мс (фіг. 7). Амплітуда густини струму в обмотці індуктора j_{1m} знижується від величини 68,8 А/мм² в першому імпульсі до 47,7 А/мм² в десятому імпульсі. В якорі амплітуда густини струму j_{2m} знижується від 222,1 А/мм² в першому імпульсі до 84,9 А/мм² в десятому імпульсі. Амплітуда силових імпульсів f_{zm} знижується від 997,3 Н в першому імпульсі до 101,5 Н в десятому імпульсі.

За час роботи силових імпульсів (20 мс) якір з пробним тілом розганяється до швидкості $v_z=1,59$ м/с і переміщується на висоту $h_z=13,7$ мм. Така катапульта забезпечує підкидання якоря на максимальну висоту $h_z=140,7$ мм.

Якщо ємність секцій ємнісного накопичувача енергії, які послідовно, наприклад з певним періодом слідування 3 мс відкриваються для підкидання якоря з пробним тілом вгору, збільшується лінійно (фіг. 8), то амплітуда густини струму j_{1m} збільшується від 32,8 А/мм² в першому імпульсі до 64,5 А/мм² в десятому імпульсі. Максимальна амплітуда густини струму в якорі j_{2m} сягає 157,5 А/мм² в четвертому імпульсі, найбільша амплітуда силового імпульсу сягає 465,6 Н в третьому імпульсі. За час дії силових імпульсів (30 мс) якір з пробним тілом розганяються до швидкості $v_z=1,42$ м/с і переміщуються на висоту $h_z=23,7$ мм. Максимальна висота підкидання складає $h_z=128$ мм.

В запропонованому гравиметрі індукційно-динамічна катапульта дозволяє легко регулювати силу і тривалість дії силових імпульсів за рахунок зміни періоду послідовного надходження сигналів на відкриття тиристорів, які забезпечують підкидання якоря з пробним тілом вертикально вгору.

Таким чином, в запропонованому гравиметрі за рахунок зменшення амплітуди імпульсу та збільшення тривалості силової дії послідовності імпульсів, що забезпечують підкидання якоря з пробним тілом вертикально вгору, виникають знижені автосейсмічні коливання фундаменту, а значить і підвищується точність вимірювання прискорення вільного падіння.

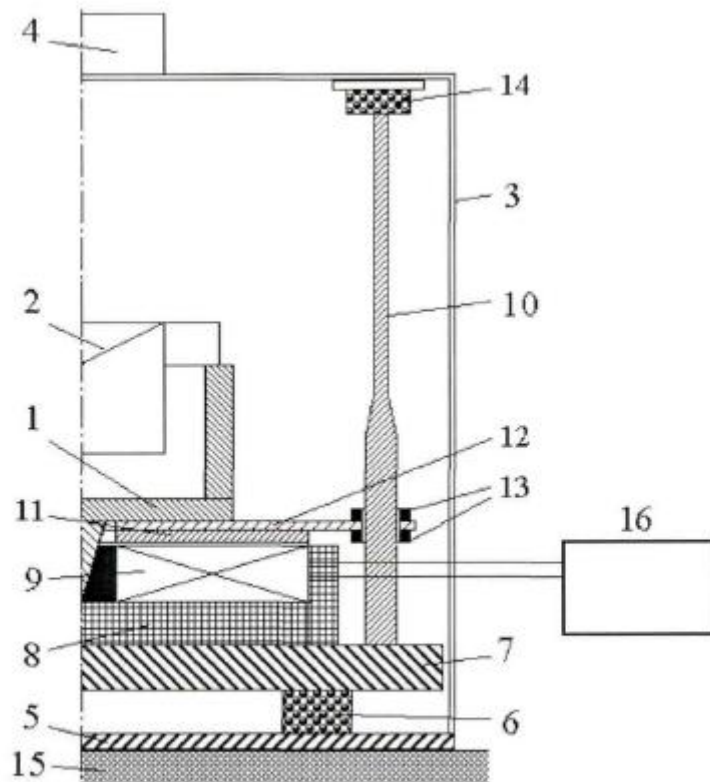
Джерела інформації:

1. Юзефович А.П., Огородова Л.В. Гравиметрия. - М.: Недра, 1980.
2. Агрегат 15В 166. Техническое описание ПБ 1.530.001 ТО, МО СССР, 1987.
3. Пат ФР № 2192024, МПК G01V 7/14. Баллистический гравиметр для симметричного способа измерений. - Заявка № 2001120196/28, 18.07.2001. - Опубликовано 27.10.2002.
4. Крагельский И.В. и др. Трение и износ в вакууме. - М.: Машиностроение, 1973. - 216 с.
5. Патент України № 96904. МПК G01V 7/14. Балістичний гравиметр з індукційно-динамічним приводом для симетричного способу вимірювань прискорення вільного падіння. - Заявка № 201103304. - Заявл. 21.03.2011. - Надрук. 12.12.2011. Бюл. № 20 (прототип).
6. Bolyukh, V.F., Omel'chenko A.V., Vinnichenko A.I. Effect of self-seismic oscillations of the foundation on the readout of a ballistic gravimeter with an induction-dynamic catapult //Measurement Techniques. - 2015. - Vol. 58, № 2. - P. 137-142.

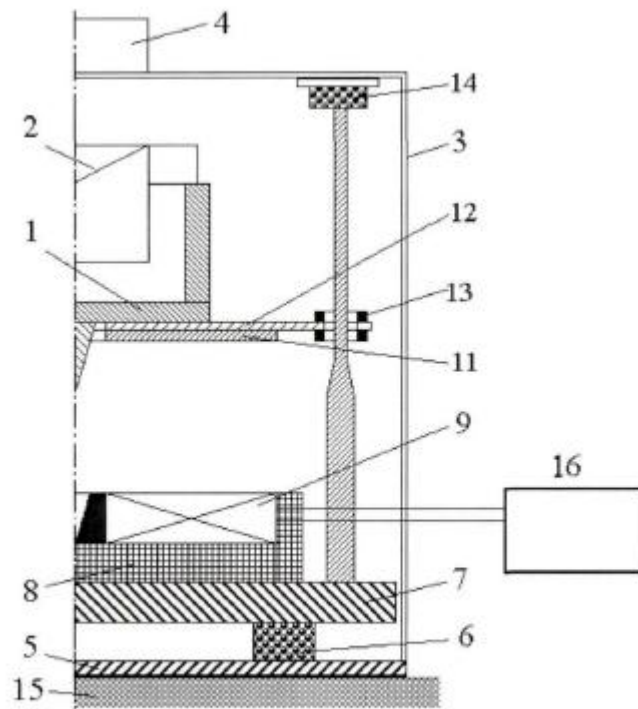
ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Балістичний гравиметр для симетричного способу вимірювання прискорення вільного падіння з індукційно-динамічною катапультою, що має багатоімпульсне збудження, що містить пробне тіло з оптичним кутниковим відбивачем, вакуумну камеру, напрямні елементи та індукційно-динамічну катапульта, яка складається з коаксіально розташованих якоря, який виконаний у вигляді диска з електропровідного матеріалу, і котушки з обмоткою, яка з'єднана з ємнісним накопичувачем енергії, що підключений до блока живлення постійного струму, за допомогою пари зустрічно-паралельно з'єднаних та підключених до блока керування тиристорів, один з яких забезпечує підкидання якоря з пробним тілом вгору, а інший - гальмування якоря з пробним тілом при падінні вниз відносно обмотки котушки, який **відрізняється** тим, що ємнісний накопичувач енергії виконаний у вигляді ряду секцій, кожна з яких за допомогою пари зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів паралельно з'єднана з іншими секціями, причому

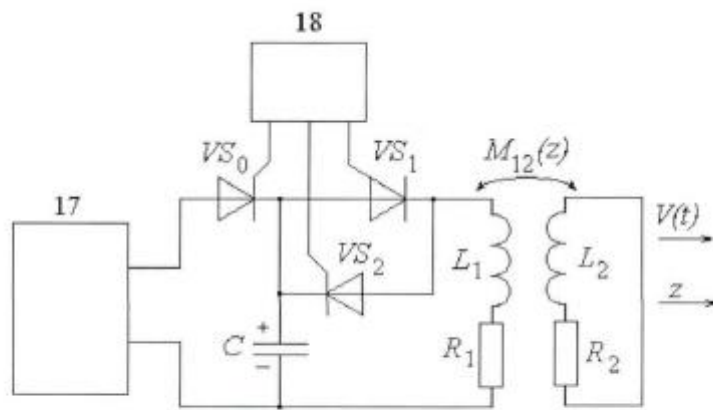
- тиристори, які забезпечують підкидання якоря з пробним тілом вгору, приєднані до пускового пристрою блока керування, який забезпечує послідовне надходження сигналів на відкриття цих тиристорів, а тиристори, які забезпечують гальмування якоря при падінні вниз, підключені до пускового пристрою блока керування, який забезпечує їх відкриття як для початкового живлення секцій ємнісного накопичувача енергії, так і для наступного гальмування якоря, причому ємність секції ємнісного накопичувача енергії, яка відкривається для підкидання якоря з пробним тілом вгору при надходженні сигналу від пускового пристрою блока керування, більша за ємність секції, яка була відкрита попереднім сигналом від пускового пристрою блока керування.
2. Балістичний гравіметр за п. 1, який **відрізняється** тим, що тиристори підключені до пускового пристрою блока керування так, що він здійснює одночасне їх відкриття як для живлення секцій ємнісного накопичувача енергії, так і для гальмування якоря.
3. Балістичний гравіметр за п. 1, який **відрізняється** тим, що тиристори підключені до пускового пристрою блока керування так, що він здійснює послідовне їх відкриття як для живлення секцій ємнісного накопичувача енергії, так і для гальмування якоря.
4. Балістичний гравіметр за п. 1, який **відрізняється** тим, що ємність секцій ємнісного накопичувача енергії, які послідовно відкриваються для підкидання якоря з пробним тілом вгору, збільшується лінійно.
5. Балістичний гравіметр за п. 1, який **відрізняється** тим, що ємність секцій ємнісного накопичувача енергії, які послідовно відкриваються для підкидання якоря з пробним тілом вгору, збільшується пропорційно величині вертикального переміщення якоря відносно обмотки котушки.



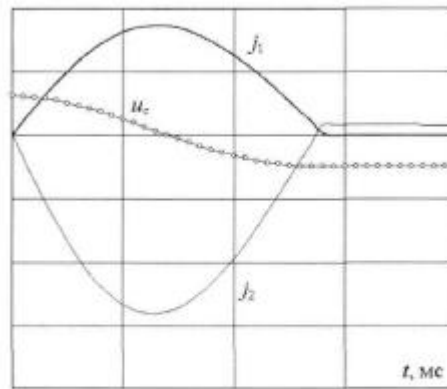
Фіг. 1



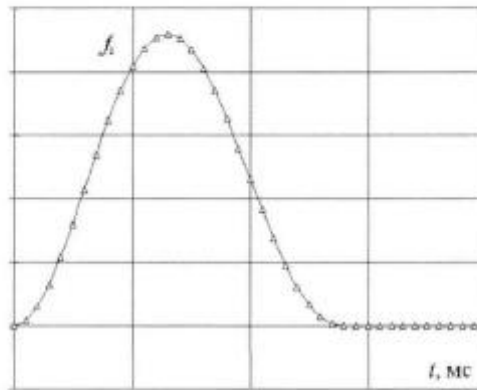
Фиг. 2



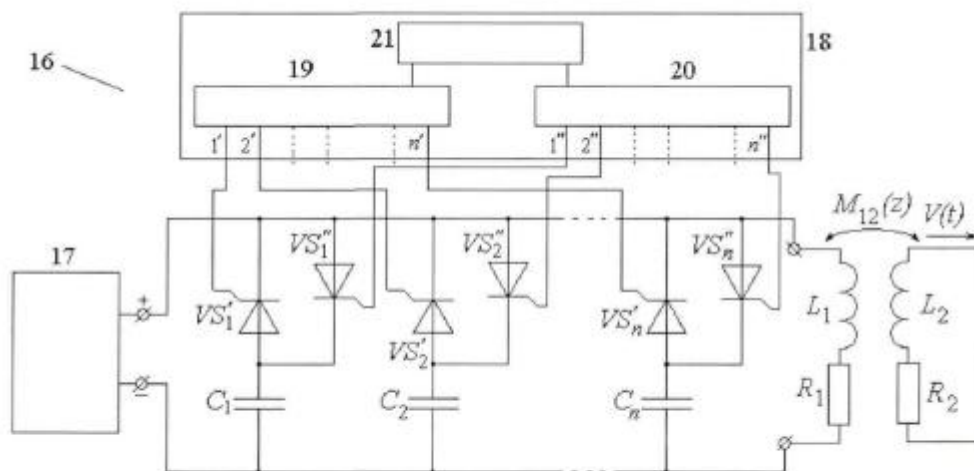
Фиг. 3



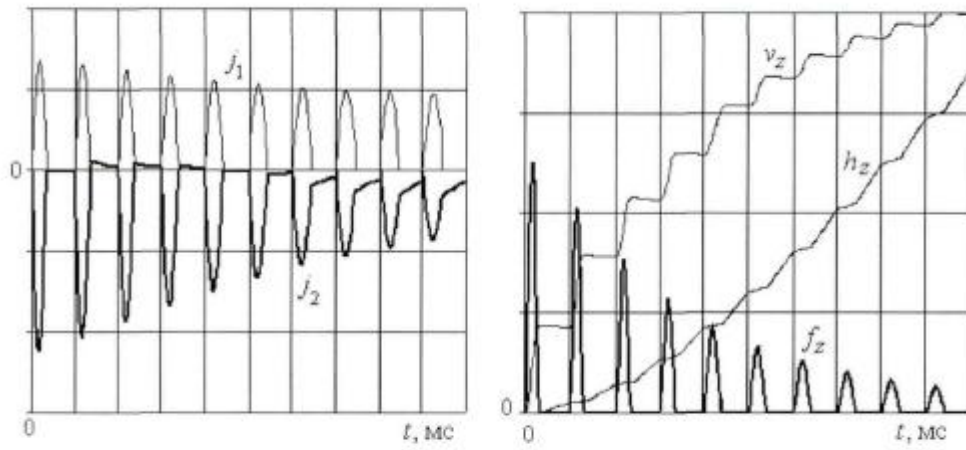
Фиг. 4



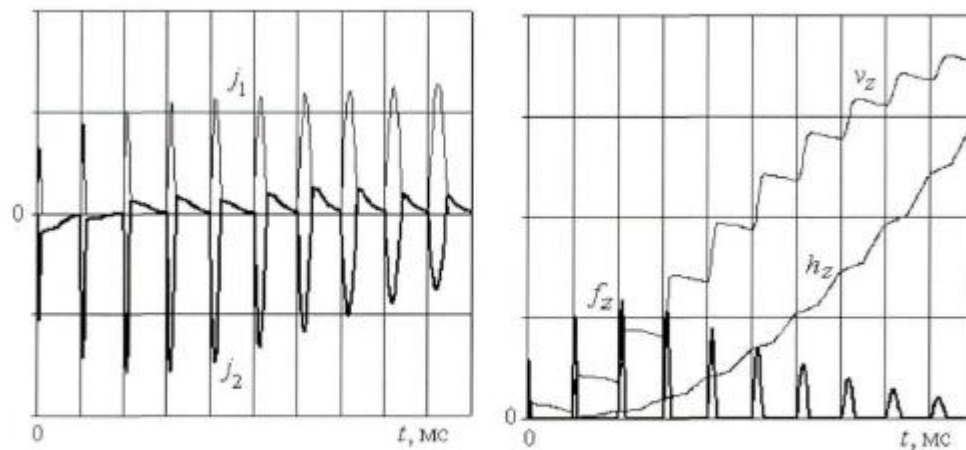
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8