
КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

УДК 681.2

DOI <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.6.1>

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ГРАВІМЕТРА

Безвесільна О. М. – доктор технічних наук,
професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю
Національного технічного університету України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»
ORCID ID: 0000-0002-6951-1242

Гриневич М. С. – асистент кафедри робототехніки,
електроенергетики та автоматизації імені професора Б. Б. Самооткіна
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-9183-5211

Трансформаторні перетворювачі використовуються для вимірювань прискорення сили тяжіння g , інформація щодо яких необхідна в геофізиці, геології для розвідки корисних копалин; в інерціальній навігації рухомих об'єктів для корекції їх характеристик. Існує багато засобів вимірювання g . Для цього використовують гіроскопічні, п'єзоелектричні, струнні, смісні та інші типи гравіметрів. Трансформаторні гравіметри (ТГ) є одними із найкращих перетворювачів. Головною причиною цього є їх простота та надійність, відносно висока чутливість, широкий робочий частотний діапазон, лінійні характеристики у широкому динамічному діапазоні, потужний вихідний сигнал, стійкість до впливів навколишнього середовища та ін. Тому експериментальні дослідження характеристик трансформаторного гравіметра є, безумовно, актуальними. У статті описано проведені експериментальні дослідження трансформаторного гравіметра, надано опис нової вимірювальної схеми з його використанням. Проведено експериментальні дослідження, за результатами яких побудовано частотну характеристику вихідного сигналу даного гравіметра. Побудовано вимірювальну схему, що дозволяє виконувати експериментальні дослідження трансформаторного гравіметра.

Встановлено, що при збільшенні частоти f коливань вібростенду амплітуда вихідної напруги трансформаторного гравіметра $U_{ТГ}$ зменшується; максимальна амплітуда вихідної напруги трансформаторного гравіметра $U_{ТГ}$ має місце при значеннях частоти коливань вібростенду $f = 800$ Гц для всіх значень $U_{ген}$, що дорівнює частоті власних коливань ТГ; напруга генераторної обмотки $U_{ген}$ прямо пропорційно впливає на зміну напруги

трансформаторного гравіметра $U_{ТГ}$; при будь-якій $U_{ген}$ характеристики мають лінійний характер за умови, що $f \geq 500$ Гц, при меншій частоті спостерігається нелінійність, яка обумовлена технологічними похибками виготовлення вимірювального перетворювача.

Ключові слова: гравіметрія, прискорення сили тяжіння, трансформаторний гравіметр, експеримент.

Bezvesilna O. M., Grynevych M. S. Experimental results of a transformer gravimeter

Transformer transducers are used to measure the acceleration of gravity g , the information about which is necessary in geophysics, geology for mineral exploration; in inertial navigation of moving objects to correct their characteristics. There are many means of measuring g . Gyroscopic, piezoelectric, string, capacitive and other types of gravimeters are used for this. Transformer gravimeters (TG) are among the best transducers. The main reason for this is their simplicity and reliability, relatively high sensitivity, wide operating frequency range, linear characteristics in a wide dynamic range, powerful output signal, resistance to environmental influences, etc. Therefore, experimental studies of the characteristics of the transformer gravimeter are certainly relevant. The article describes the conducted experimental studies of the transformer gravimeter; provides a description of the new measuring circuit with its use. Experimental studies were conducted, based on the results of which the frequency characteristic of the output signal of this gravimeter was constructed. A measuring scheme has been built, which allows to carry out experimental studies of the transformer gravimeter.

It was established that with an increase in the frequency f of vibrations of the vibrostand, the amplitude of the output voltage of the $U_{ТГ}$ transformer gravimeter decreases; the maximum amplitude of the output voltage of the $U_{ТГ}$ transformer gravimeter takes place at values of the vibration frequency of the vibration stand $f = 800$ Hz for all values of $U_{ген}$, which is equal to the frequency of the own oscillations of the TG; the voltage of the generator winding $U_{ген}$ has a direct proportional effect on the change in the voltage of the transformer gravimeter $U_{ТГ}$; at any $U_{ген}$, the characteristics are linear; provided that $f \geq 500$ Hz, at a lower frequency, nonlinearity is observed, which is due to technological errors in the manufacture of the measuring transducer.

Key words: gravimetry, gravitational acceleration, transformer gravimeter, experiment.

Постановка проблеми. Трансформаторні гравіметри (ТГ) є одними із найкращих датчиків [1]. Головною причиною цього є їх простота та надійність, відносно висока чутливість, широкий робочий частотний діапазон, лінійні характеристики у широкому динамічному діапазоні, потужний вихідний сигнал, стійкість до впливів навколишнього середовища та ін. Такі датчики пропонується використовувати для вимірювань прискорення сили тяжіння (ПСТ), інформація щодо яких необхідна в геофізиці, геології для розвідки корисних копалин; в інерціальній навігації рухомих об'єктів для корекції їх характеристик та ін.

Тому експериментальні дослідження характеристик трансформаторного гравіметра є, безумовно, актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведені дослідження показали, що великий внесок у теорію та практику гравіметричних вимірювань було зроблено низкою видатних вчених: В.О. Багрянцем, А.М. Лозинською, В.В. Фединським, Н.П. Грушинським та іншими [2]. Не менш велику роль відіграли й іноземні вчені: А. Граф, В.Торге, М.Гольвані, Д.Гаррісон та інші.

Існує багато засобів вимірювання ПСТ. Для цього використовують гіроскопічні, п'єзоелектричні, струнні, емнісні та інші типи гравіметрів. Всі ці прилади відрізняються як конструктивними, так і функціональними параметрами. Як наслідок – різна чутливість, діапазон вимірювань, стійкість до впливу зовнішніх факторів, габарити та собівартість.

На сьогоднішній день широко використовуються ті засоби вимірювань і контролю, які мають більш високі точність і швидкодію, можливість працювати у складних умовах навколишнього середовища, просту конструкцію. Цим вимогам задовольняють трансформаторні датчики. Тому для вимірювання ПСТ доцільно використовувати саме ТГ.

Серед найвідоміших у світі виробників акселерометрів є фірми “Kistler”, “Instrumente AG”, “Analog Devices”, таганрозький завод «Віброприбор», “Brüel & Kjaer”, “Genisco”, “SFIM”, “Endevco”, “BAE System” та інші [1; 3; 4].

У літературі [3; 4 та ін.] наведено лише деякі відомості про трансформаторні датчики, а саме: види їх конструкцій, найпоширеніші ТГ, галузі застосування датчиків даного типу та деякі статичні характеристики. Зовсім не висвітлено питання експериментальних досліджень характеристик трансформаторного гравіметра та способів підвищення точності показів приладу.

Мета роботи: побудова вимірювальної схеми на основі трансформаторного гравіметра для вимірювання ПСТ, а також проведення циклу експериментальних досліджень з метою побудови частотної характеристики вихідного сигналу ТГ та індукційного перетворювача.

Виклад основного матеріалу. Для проведення експериментальних досліджень ТГ була створена експериментальна установка, принципова схема якої зображена на рис. 1. До її складу входять наступні прилади: 1 – генератор механічних коливань ГМК-1 (вібростенд) із вбудованими в нього двома індукційними перетворювачами електричного сигналу в механічний, 2 – трансформаторний гравіметр, який розташований безпосередньо на вібростенді, 3 – підсилювач змінного струму з регульованими вхідним опором та ємністю, 4 – вольтметри, 5 – осцилограф, 6 – генератор змінної напруги, 7, 8 – вольтметри для реєстрації напруги генератора та напруги індукційного перетворювача відповідно [4].

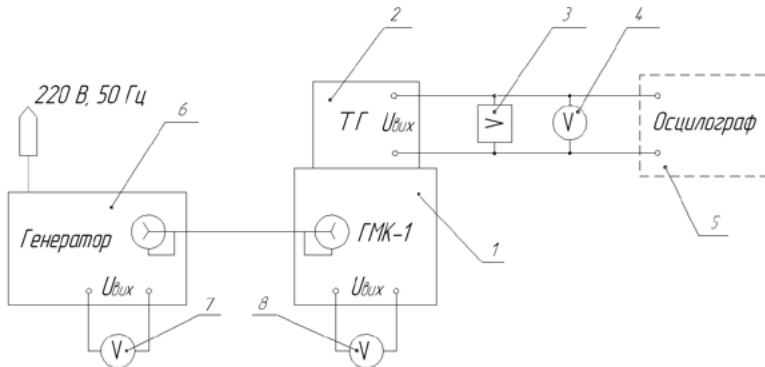


Рис. 1. Принципова схема дослідної установки експериментальних досліджень трансформаторного гравіметра [4]:

1 – генератор механічних коливань; 2 – трансформаторний гравіметр (ТГ); 3 – підсилювач; 4 – вольтметр; 5 – осцилограф; 6 – генератор змінної напруги живлення; 7 – вольтметр для реєстрації напруги генератора; 8 – вольтметр для реєстрації напруги індукційного перетворювача

Основою частиною експериментальної установки (рис. 1) є вібростенд ГМК – 1 або генератор механічних коливань, конструктивно виконаний у вигляді двох магнітопроводів 8, 10 (рис. 2). Ці магнітопроводи жорстко скріплені й утворюють єдину конструкцію соленоїдного типу. Стрижень 7 може рухатись в середині соленоїда, створеного двома магнітопроводами 8, 10.

Рушійну силу для переміщень стрижня 7 створюють індукційні перетворювачі 1, 3 з обмотками 1, 2 та 3, 4. Обмотки 1, 3 виконують функції збудження, а 2, 4 – управління.

Індукційні перетворювачі в схемі призначені для перетворення вхідного електричного сигналу збудження у вихідний механічний сигнал.

У схемі може використовуватися підсилювач – пристрій, який призначений для перетворення електричного заряду в напругу, а також для підсилення вібраційного сигналу по потужності [4].

Стрижень 7 з обмотками 1, 2 та 3, 4 утримується гнучкими опорами у вигляді мембран 6 і 9 спеціального типу, які поєднують достатню жорсткість з великим значенням лінійної ланки силової характеристики.

Закріплення стрижня з обох сторін мембранами дозволяє звести до мінімуму рух по напрямках, які не співпадають із повздовжньою віссю. Це забезпечить стрижню лише один ступінь свободи у потрібному напрямку вертикальної осі. Тому, якщо через генераторну обмотку пропустити струм, то сила, що створюється генераторною обмоткою призведе до вертикального пересування стрижня.

Таким чином, вібростенд ГМК-1, створюючи коливальні прискорення стрижня, діє на робочий стіл 5, де і знаходиться ТГ.

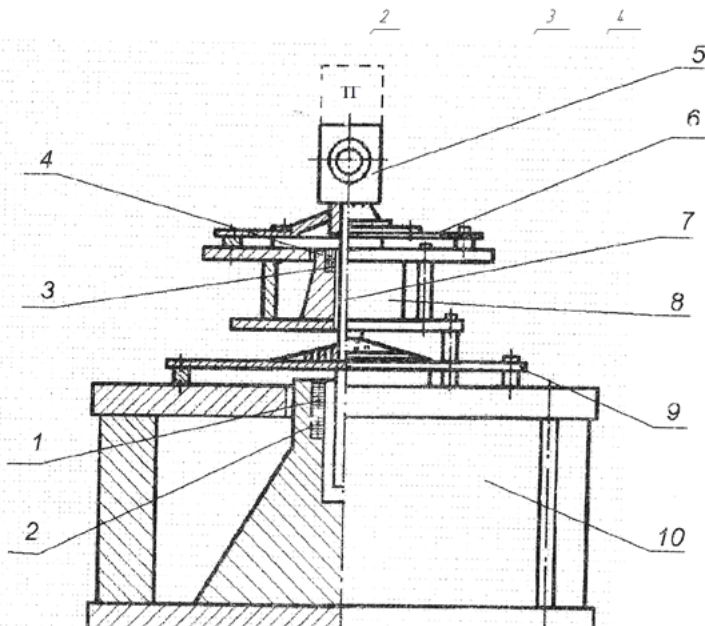


Рис. 2. Генератор механічних коливань [4]:

1, 3 – генераторні обмотки (збудження); 2, 4 – обмотки управління (вихідні);
5 – робочий стіл; 6, 9 – гнучкі мембрани; 7 – стрижень; 8, 10 – магнітопроводи

Досліджуваний ТГ, принципова [5], схема якого наведена на рис. 3, розташований на робочому столу генератора механічних коливань. Власна частота коливань даного датчика складає 800 Гц, а діапазон коливань вібростенда ГМК-1 – (20÷20000 Гц).

Проведено цикл вимірювань з метою дослідження залежності амплітуди вихідної напруги, знятої з трансформаторного гравіметра $U_{ТГ}$ та індукційного перетворювача $U_{ВП}$, від частоти f коливань вібростенда для різних значень напруги генератора, результати наведено у табл. 1–2 і на рис. 4–5.

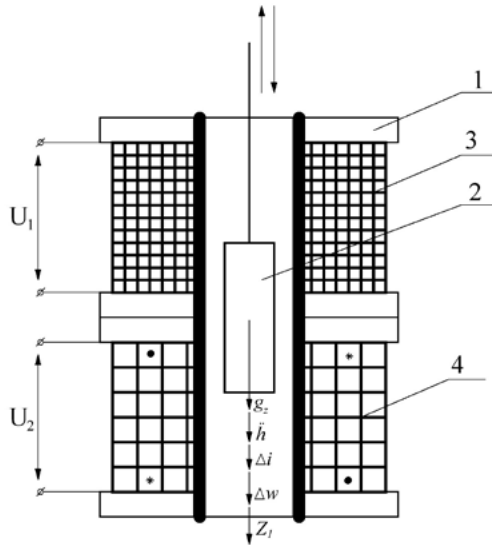


Рис. 3. Принципова схема трансформаторного гравіметра [5]:
 1 – магнітопровід; 2 – якор; 3 – обмотка збудження w_1 ; 4 – вторинна обмотка w_2

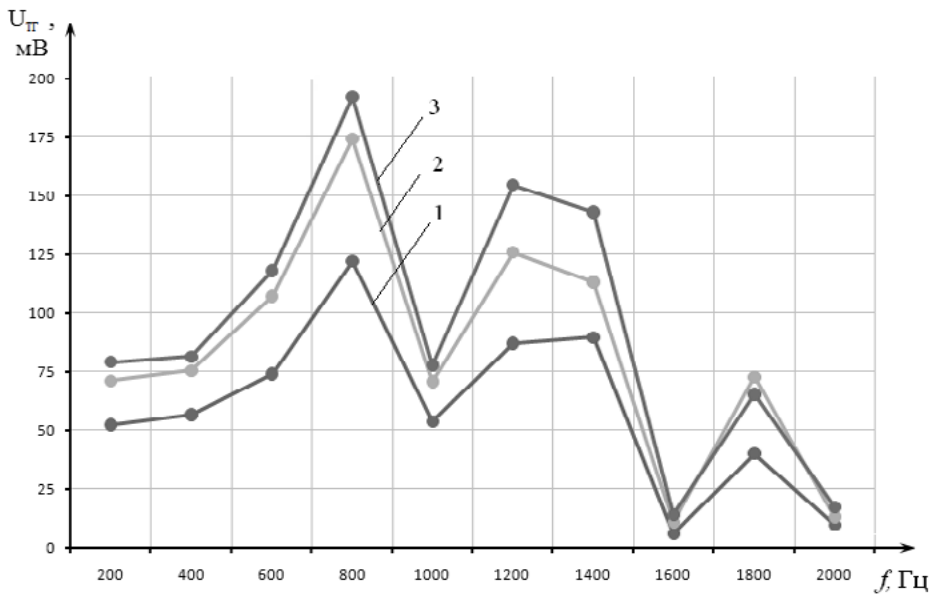


Рис. 4. Залежність вихідної напруги ТГ від частоти коливань вібростенда при різних напругах збудження:
 1 – $U_{ПГ} = \psi(f)$ при $U_{ген} = 5V$; 2 – $U_{ПГ} = \psi(f)$ при $U_{ген} = 7V$; 3 – $U_{ПГ} = \psi(f)$ при $U_{ген} = 8V$

Таблиця 1
Залежність вихідної напруги ТГ від частоти коливань вібростенда при різних напругах збудження

f , Гц	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	
$U_{\text{ТП}}$ МВ	при $U_{\text{ген}} = 5\text{В}$	52,4	56,7	74	121,9	53,8	87	89,6	6,1	40,0	9,8
	при $U_{\text{ген}} = 7\text{В}$	71	75,5	107,1	174,1	70,7	125,8	113	10,8	72,6	13,2
	при $U_{\text{ген}} = 8\text{В}$	79	81,3	118	192	77,8	154,6	143	14	65,2	17

Таблиця 2
Залежність вихідної напруги індукційного перетворювача від частоти коливань вібростенда при різних напругах збудження

f , Гц	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	
$U_{\text{ВП}}$ В	при $U_{\text{ген}} = 5\text{В}$	2,120	1,820	1,780	1,782	1,786	1,785	1,779	1,784	1,782	1,787
	при $U_{\text{ген}} = 7\text{В}$	2,480	1,920	1,850	1,830	1,829	1,822	1,821	1,818	1,819	1,813
	при $U_{\text{ген}} = 8\text{В}$	2,50	2,250	2,240	2,230	2,230	2,240	2,240	2,240	2,240	2,240

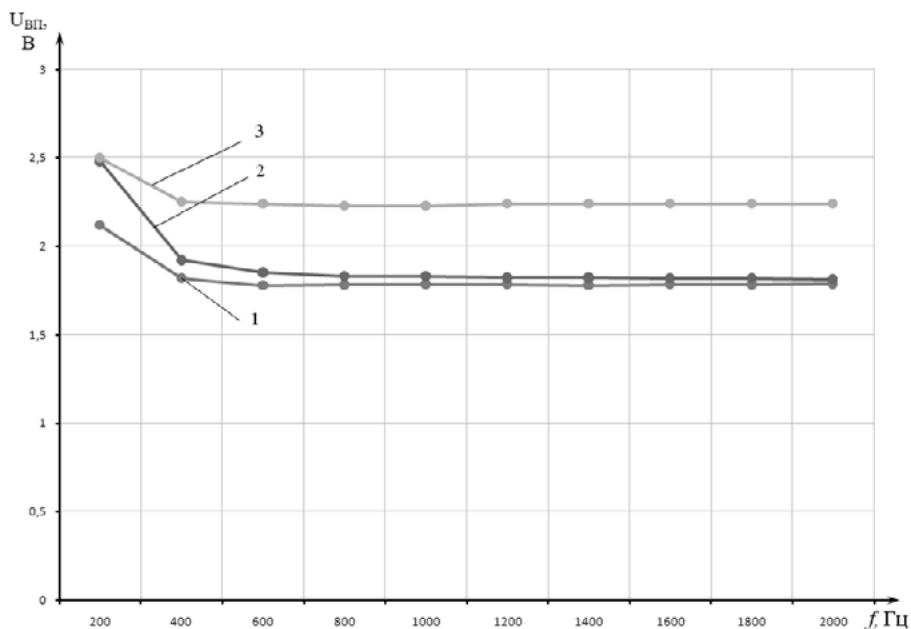


Рис. 5. Залежність вихідної напруги $U_{\text{ВП}}$ від частоти коливань вібростенда при різних напругах збудження:
1 – $U_{\text{ВП}} = \psi(f)$ при $U_{\text{ген}} = 5\text{В}$; 2 – $U_{\text{ВП}} = \psi(f)$ при $U_{\text{ген}} = 7\text{В}$; 3 – $U_{\text{ВП}} = \psi(f)$ при $U_{\text{ген}} = 8\text{В}$

Висновки:

1. Побудовано вимірвальну схему, що дозволяє виконувати еспериментальні дослідження трансформаторного гравіметра;

2. При збільшенні частоти f коливань вібростенду амплітуда вихідної напруги трансформаторного гравіметра $U_{\text{ТГ}}$ зменшується;

3. Максимальна амплітуда напруги трансформаторного гравіметра $U_{\text{ТГ}}$ має місце при значеннях частоти коливань вібростенду $f = 800$ Гц для всіх значень $U_{\text{ген}}$, що дорівнює частоті власних коливань ТГ. Це випадок так званого «головного резонансу» (рис. 4);

4. Напруга генераторної обмотки $U_{\text{ген}}$ прямо пропорційно впливає на зміну напруги трансформаторного гравіметра $U_{\text{ТГ}}$;

5. Із досліджень залежності амплітуд індукційного перетворювача $U_{\text{ВП}}$ (рис. 5) від частоти f коливань вібростенду впливає те, що при будь-якій $U_{\text{ген}}$ характеристики мають лінійний характер за умови, що $f \geq 500$ Гц, при меншій частоті спостерігається нелінійність, яка обумовлена технологічними похибками виготовлення вимірювального перетворювача.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Агейкин Д.И., Костина Е.Н., Кузнецова Н. Н. Датчики систем автоматического контроля и регулирования. М. : Машиностроение, 1995. 310 с.
2. Безвесільна О.М. Вимірювання гравітаційних прискорень: Підручник. Житомир : ЖДТУ, 2002. 264 с.
3. Безвесільна О.М., Войцицький А.П., Єльнікова Т.О., Киричук Ю.В. Засоби вимірювання екологічних параметрів: Підручник. Житомир : ЖДТУ, 2009. 508 с.
4. Безвесільна О.М., Перетворювачі фізичних величин. Технічні засоби автоматизації: Підручник. Житомир : ЖДТУ, 2019. 809 с.
5. Безвесільна О.М., Ткачук А.Г. Трансформаторний гравіметр. Патент на корисну модель №142824 від 25.06.20. Бюл. №12 по заявці № u 2020 00884. Дата подання заявки 12.02.2020.G01V 7/00 <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7690/142824.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

REFERENCES:

1. Aheykyn D.Y., Kostyna E.N., Kuznetsova N. N. (1995) Datchyky system avtomatycheskoho kontrolya y rehulyrovanyya. [Sensors of automatic control and regulation systems] M.: Mashynostroenye.
2. Bezvesilna O.M. (2002) Vymiryuvannya hgravitatsiynykh pryskoren: Pidruchnyk. [Measurement of gravitational accelerations: Textbook] Zhytomyr: ZSTU.
3. Bezvesilna O.M., Voytsytskyy A.P., Yelnikova T.O., Kyrychuk YU.V. (2009) Zasoby vymiryuvannya ekolohichnykh parametriv : Pidruchnyk. [Means of measuring environmental parameters: Textbook] Zhytomyr : ZSTU.
4. Bezvesilna O.M., (2019) Peretvoryuvachi fizychnykh velychyn. Tekhnichni zasoby avtomatyzatsiyi : Pidruchnyk. [Converters of physical quantities. Technical means of automation: Textbook] Zhytomyr : ZSTU.
5. Bezvesilna O.M., Tkachuk A.H. Transformatornyy hravimetr. [Transformer gravimeter] Utility model patent No. 142824 dated 06/25/20. Bul. No. 12 upon application No. u 2020 00884. Date of application 12.02.2020.G01V 7/00 <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/7690/142824.pdf?sequence=1&isAllowed=y>