

УДК 681.2

¹О.М. Безвесільна, д.т.н.
²А.Г.Ткачук

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

¹Національний технічний університет України "КПІ"

²Житомирський державний технологічний університет

У статті розглянуто конструкцію п'єзоелектричного акселерометра та побудовано вимірвальну схему з його використанням. Проведено експериментальні дослідження, за результатами яких побудовано частотну характеристику вихідного сигналу даного акселерометра.

Ключові слова: п'єзоелектричний акселерометр, вимірвальна схема, експериментальні дослідження, частотна характеристика.

Постановка проблеми

Переміщення будь-якого об'єкта, його швидкість та прискорення є взаємопов'язаними фізичними величинами: швидкість – це перша похідна від переміщення, а прискорення – друга. Швидкість та прискорення важко визначити за даними, отриманими детекторами переміщень, тому для цього застосовуються спеціальні схеми. Як правило, у низькочастотній області доволі непогану точність вимірювання забезпечують датчики положення і переміщення об'єктів. У зоні середніх частот використовуються датчики швидкості. А на високих частотах, коли переміщення порівнюються із рівнем шуму, застосовують датчики прискорення.

Акселерометри – це прилади для прийому і перетворення інформації про прискорення з метою одержання кількісного результату у формі, яка буде зручною для подальшого використання. Тобто, це датчики, які призначені для вимірювання прискорення об'єкта (кутового чи лінійного), що рухається.

П'єзоелектричні акселерометри (ПА) є одними із найкращих та найпоширеніших датчиків. Головною причиною цього є їх простота та надійність, відносно висока чутливість, широкий робочий частотний діапазон, лінійні характеристики у широкому динамічному діапазоні, стійкість до впливів навколишнього середовища та, безсумнівно, малі габарити, вага і собівартість. Такі датчики використовують для вимірювання швидко змінюваних механічних процесів, наприклад, вібрацій літака чи його окремих частин, вібрацій двигунів, змінних зусиль, прискорень. У конструкціях п'єзоелектричних акселерометрів застосовують чутливі елементи на основі п'єзоматеріалів, принцип дії яких базується на прямому п'єзоелектричному ефекті.

Тому дослідження властивостей та параметрів даного типу акселерометрів, автоматизація та підвищення точності їх вимірювань є, безумовно, актуальними.

Аналіз останніх досліджень

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. Федінським, Н.П. Грушинським та іншими. Не менш велику роль відіграли й іноземні вчені: А. Граф, В.Торге, М.Гольвані, Д.Гаррісон та інші.

Розвиток теорії п'єзоелектричних перетворювачів пов'язано з іменами: Л. Бергмана, Г.Тірстена, А.А. Андрєєва, В.В. Малова, Н.А. Шульги, В.В. Лавріненко, С.І. Пугачова, О.П.Крамарова, А.Є. Колесникова, П.О. Грибовського та В.М. Шарапова.

Наразі існує багато засобів вимірювання прискорення. Для цього використовують механічні гіроскопи, акселерометри, які бувають різних видів: ємнісні, оптичні, п'єзоелектричні, п'єзорезистивні та інші. 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 високу точність і швидкодію, можливість працювати у складних умовах навколишнього середовища, просту конструкцію. Ці всі вимоги задовольняють датчики, основані на явищі п'єзоелектричного ефекту (найчастіше прямого). Тому для вимірювання вібрацій та прискорення доцільно використовувати саме п'єзоелектричні акселерометри.

Серед найвідоміших у світі виробників акселерометрів є фірми “Kistler”, “Instrumente AG”, “Analog Devices”, таганрозький завод “Виброприбор”, “Brüel & Kjaer”, “Genisco”, “SFIM”, “Endevco”, “BAE System” та інші.

У літературі [1 – 5 та інші] наведено лише деякі відомості про п'єзоелектричні акселерометри, а саме: види їх конструкцій, найпоширеніші п'єзоелементи, галузі застосування датчиків даного типу та деякі статичні характеристики. Зовсім не висвітлено питання експериментальних досліджень характеристик п'єзоелектричних акселерометрів та способів підвищення точності показів приладу.

Мета роботи: побудова вимірювальної схеми на основі п'єзоелектричного акселерометра для вимірювання лінійних прискорень, а також проведення циклу експериментальних досліджень з метою побудови частотної характеристики вихідного сигналу даного датчика та індукційного перетворювача.

Основна частина

Для проведення експериментальних досліджень ПА 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 – п'єзоелектричний акселерометр, який розташований безпосередньо на вібростенді, 3 – підсилювач змінного струму з регульованими входним опором та ємністю, 4 – вольтметри, 5 – осцилограф, 6 – генератор змінної напруги, 7, 8 – вольтметри для реєстрації напруги генератора та напруги індукційного перетворювача відповідно [3, с. 411].

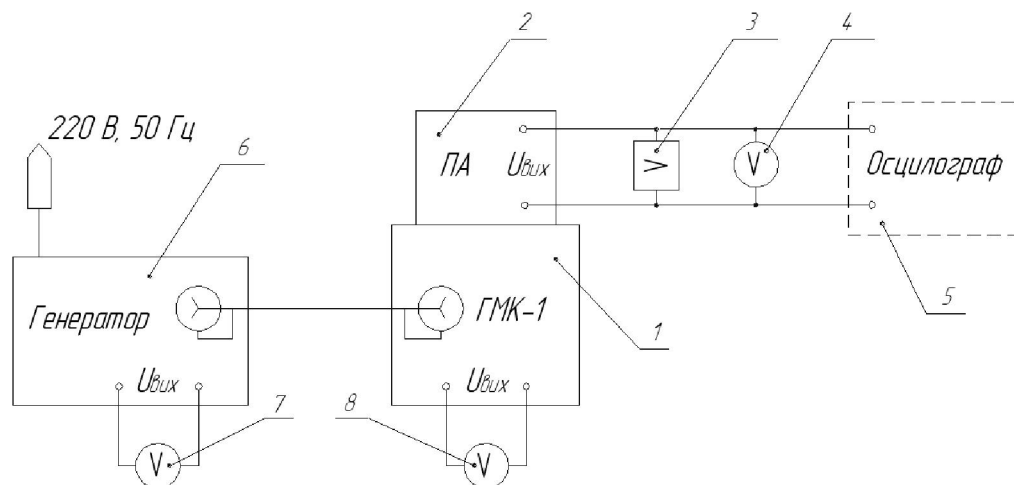


Рис. 1. Принципова схема дослідної установки експериментальних досліджень п'єзоелектричного акселерометра: 1 – генератор механічних коливань; 2 – п'єзоелектричний акселерометр; 3 – підсилювач; 4 – вольтметр; 5 – осцилограф; 6 – генератор змінної напруги живлення; 7 – вольтметр для реєстрації напруги 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, обмотки 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.

В 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.

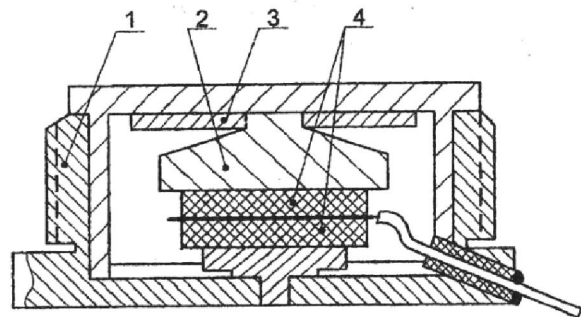
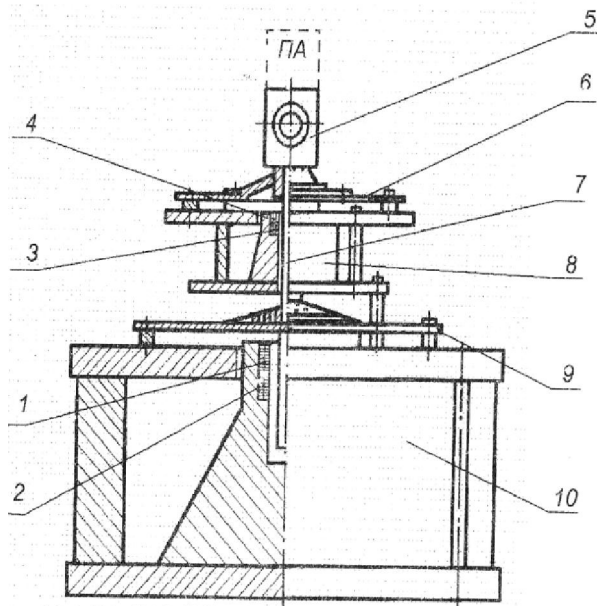


Рис. 2. (зліва) Генератор механічних коливань:
1,3 – генераторні обмотки; 2,4 – обмотки управління; 5 – робочий стіл; 6,9 – гнучкі мембрани; 7 – стрижень; 8,10 – магнітопроводи

Рис. 3. (вгорі) Конструктивна схема п'єзоелектричного акселерометра: 1 – корпус; 2 – інерційна маса; 3 – з'єднувальна мембрана; 4 – п'єзоелектрики

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 в 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 акселерометр.

Досліджуваний п'єзоелектричний акселерометр, конструктивна схема якого наведена на рис.3, розташований на робочому столику 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 п'єзоелектричного акселерометра $U_{ПА}$ 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.

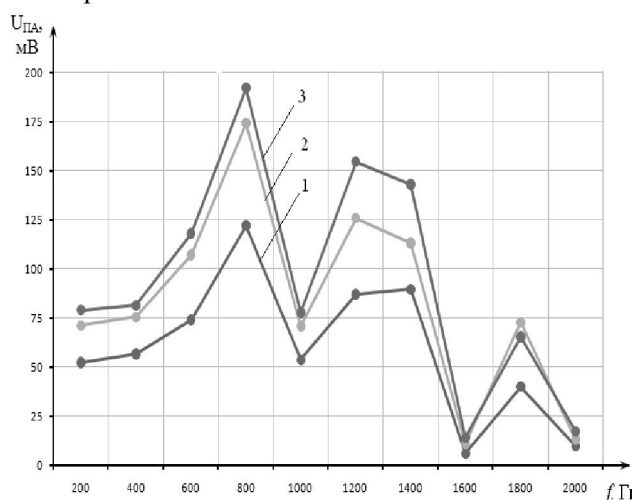


Рис. 4. Залежність вихідної напруги ПА від частоти коливань вібростенда при різних напругах збудження:
1 - $U_{ПА} = \psi(f)$ при $U_{ген} = 5В$; 2 - $U_{ПА} = \psi(f)$ при $U_{ген} = 7В$; 3 - $U_{ПА} = \psi(f)$ при $U_{ген} = 8В$

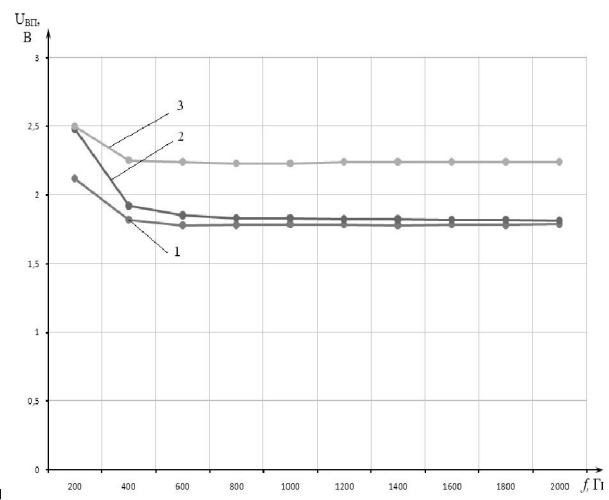


Рис. 5. Залежність вихідної напруги ПА від частоти коливань вібростенда при різних напругах збудження:
1 - $U_{ВП} = \psi(f)$ при $U_{ген} = 5В$; 2 - $U_{ВП} = \psi(f)$ при $U_{ген} = 7В$; 3 - $U_{ВП} = \psi(f)$ при $U_{ген} = 8В$

Таблиця 1

Залежність вихідної напруги ПА від частоти коливань вібростенда
при різних напругах збудження

f, Гц		200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
U _{ПА} , мВ	при U _{ген} = 5В	52,4	56,7	74	121,9	53,8	87	89,6	6,1	40,0	9,8
	при U _{ген} = 7В	71	75,5	107,1	174,1	70,7	125,8	113	10,8	72,6	13,2
	при U _{ген} = 8В	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 _{ВП} , В	при U _{ген} = 5В	2,120	1,820	1,780	1,782	1,786	1,785	1,779	1,784	1,782	1,787
	при U _{ген} = 7В	2,480	1,920	1,850	1,830	1,829	1,822	1,821	1,818	1,819	1,813
	при U _{ген} = 8В	2,50	2,250	2,240	2,230	2,230	2,240	2,240	2,240	2,240	2,240

Висновки

1. На основі ПА побудовано вимірювальну схему, що дозволяє виконувати лабораторні вимірювання прискорень та досліджувати роботу акселерометра;

2. При збільшенні частоти f коливань вібростенда амплітуда вихідної напруги п'єзоелектричного акселерометра U_{ПА} зменшується;

3. Максимальна амплітуда вихідної напруги п'єзоелектричного акселерометра U_{ПА} має місце при значеннях частоти коливань вібростенду $f = 800$ Гц для всіх значень U_{ген}, що дорівнює частоті власних коливань ПА. Це випадок так званого “головного резонансу” (рис.4);

4. Напруга генераторної обмотки U_{ген} прямо пропорційно впливає на зміну напруги п'єзоелектричного акселерометра U_{ПА};

5. Із досліджень залежності амплітуд індукційного перетворювача U_{ВП} (рис.5) від частоти f коливань вібростенда впливає те, що 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.

Список літературних джерел

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., Сльнікова Т.О., Киричук Ю.В. Засоби вимірювання екологічних параметрів: Підручник. — Житомир: ЖДТУ, 2009. — 508 с.

4. Леонтьев М.К. Виброметрирование авиационных ГТД: Учебное пособие. — М.: Изд-во МАИ, 1998. — 20с.

5. Шарапов В.М., Мусиенко, М.П., Шарапова Е.В. Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В.М. Шарапова. — М.: Техносфера, 2006. — 632с.