

ВОЙЦИЦЬКИЙ АНАТОЛІЙ

Житомирський агротехнічний фаховий коледж

<https://orcid.org/0000-0001-9103-6436>e-mail: a.p.voytsytskyi@gmail.com

НЕЗДВЕЦЬКА ІННА

Житомирський агротехнічний фаховий коледж

<https://orcid.org/0000-0002-4762-502X>e-mail: inezd@ukr.net

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВІБРАЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ВУЗЛІВ ТА АГРЕГАТИВ АГРАРНОЇ ТЕХНІКИ

Відомо, що тертя та вібрації є основними факторами, що впливають на стан техніки під час її роботи. Тому моніторинг та діагностика вібраційної стійкості машин і механізмів мають велике значення для їхньої ефективної експлуатації. У цій статті будуть представлені та описані методи віброакустичної діагностики, які є простими та чутливими для виявлення дефектів у різних механізмах і машинах, зокрема в аграрній галузі. Один з ключових елементів, який використовується для діагностики та контролю ступеня зношування деталей, є п'єзоелектричний перетворювач. Він відрізняється простотою використання та високою точністю. Такі перетворювачі майже не піддаються впливу електричних та магнітних полів, акустичних сигналів та інших механічних коливань, за винятком окремих випадків. У цій статті буде розглянуто удосконалення п'єзоелектричного перетворювача, яке може бути використане для вимірювання віброшвидкості коливань елементів та вузлів сільськогосподарських машин. Технічне рішення включає в себе використання диференціального підсилювача з буферними каскадами, що з'єднані з базовим диференціальним підсилювачем. Цей підхід дозволяє зменшити вплив позасмугових завад та збільшити точність вимірювання. Використання синфазної напруги збурення також є важливим елементом в удосконаленому п'єзоелектричному перетворювачі, що допомагає забезпечити більш точні результати. Ця стаття розкриває важливі аспекти вібраційної діагностики та пропонує нове технічне рішення для покращення вимірювань. Вона буде корисна для фахівців у галузі машинобудування та аграрної промисловості, які зацікавлені в ефективному контролі та підтримці машин та механізмів під час їхньої роботи.

Ключові слова: п'єзоелемент, п'єзоелектричний перетворювач, операційний підсилювач, інерційна маса, позасмугові завади, синфазна напруга збурення.

VOYTSYTSKY ANATOLY, NEZDVETSKA INNA
Zhytomyr Agricultural Technical College

IMPROVING THE QUALITY OF VIBRATION DIAGNOSTICS OF AGRICULTURAL EQUIPMENT UNITS

It is known that friction and vibrations are the main factors affecting the condition of the equipment during its operation. Therefore, monitoring and diagnostics of vibration resistance of machines and mechanisms are of great importance for their effective operation. This article will present and describe methods of vibroacoustic diagnostics, which are simple and sensitive for detecting defects in various mechanisms and machines, in particular in the agricultural sector. One of the key elements used to diagnose and control the degree of wear of parts is a piezoelectric transducer. It is easy to use and highly accurate. Such converters are almost not affected by electric and magnetic fields, acoustic signals and other mechanical vibrations, except in certain cases. This article will consider the improvement of the piezoelectric transducer, which can be used to measure the vibration rate of oscillations of elements and assemblies of agricultural machines. The technical solution includes the use of a differential amplifier with buffer stages connected to a basic differential amplifier. This approach allows you to reduce the impact of out-of-band interference and increase measurement accuracy. The use of a common-mode perturbation voltage is also an important element in the improved piezoelectric transducer, helping to provide more accurate results. This article reveals important aspects of vibration diagnostics and offers a new technical solution to improve measurements. It will be useful for specialists in the field of mechanical engineering and agricultural industry, who are interested in effective control and support of machines and mechanisms during their work.

Key words: piezoelectric element, piezoelectric transducer, operational amplifier, inertial mass, out-of-band interference, common-mode disturbance voltage.

Актуальність

Експлуатація машин і обладнання супроводжується процесами зношування та їхньої технічної деградації, що призводить до погіршення техніко-економічних показників їх використання. Своєчасна діагностика з відповідною організацією ТО і ремонту дозволяє суттєво збільшити ресурс наявної техніки. При цьому виявлення і усунення дефектів на ранніх стадіях їх розвитку дозволить зекономити ресурси на обслуговування і ремонт наявної техніки. Відомо, що найбільший вплив на зношування техніки під час її експлуатації мають різні форми тертя та вібрацій, тому моніторинг та діагностика вібраційної стійкості машин і механізмів має надзвичайно важливе значення при їх впровадженні та експлуатації [1, 2].

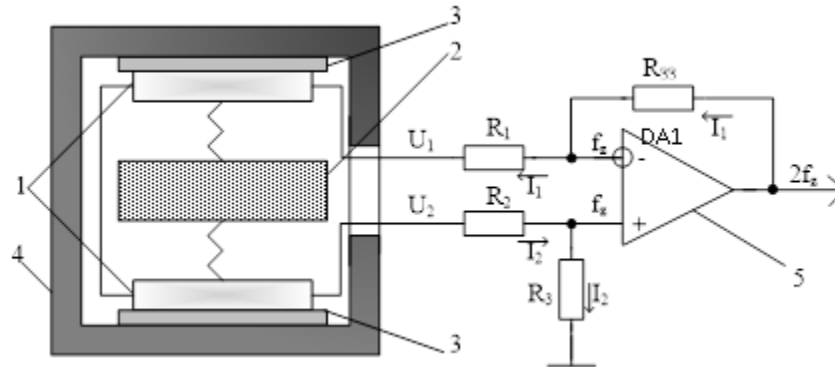
Постановка проблеми дослідження

При оцінюванні технічного стану механізмів і машин у робочих умовах на перший план висуваються саме методи віброакустичної діагностики, як найбільш чутливі до різних відхилень параметрів технічного стану від стандартизованих норм [3–6]. За допомогою цих методів здійснюється безпосередній контроль динамічної силової дії, завдяки чому можливо на ранній стадії виявити, попередити або усунути дефект.

Аграрні підприємства мають потребу в простих, ефективних, надійних, але недорогих в застосуванні вібродіагностичних приладах, функціональні можливості й параметри яких відповідають завданню діагностування сільгоспмашин (особливо в частині автоматизованого аналізу вібрації й виявлення дефектів

зубчастих передач, підшипникових складальних одиниць тощо). Таким чином, технічні засоби й технології вібродіагностування, що нині існують, не повною мірою враховують особливості сільгоспмашин як об'єкта діагностування.

Сучасні системи збору інформації з широким динамічним діапазоном можуть використовувати різні методи нормалізації рівня вихідного сигналу для подальшої його обробки, зокрема – подачу на аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Існує схема формування вихідного сигналу на базі операційного підсилювача DA1, що має пару п'єзоелементів (1) першого та другого каналів вимірювання (рис. 1) [4].



1 – п'єзоелементи; 2 – інерційна маса; 3 – ізолятор; 4 – корпус; 5 – диференційний підсилювач
Рис. 1. Структурна схема базового пристрою

Інерційна маса через пружину прикріплена до низу п'єзопластин п'єзоелемента першого каналу та через таку ж пружину – до верху п'єзопластин п'єзоелемента другого каналу. П'єзоелементи першого і другого каналів працюють на основі деформацій розтягу та стиснення відповідно. На вхід вимірювального підсилювача DA1 надходять вихідні електричні сигнали п'єзопластин (1) обох каналів.

Розв'язок системи рівнянь (1), яку отримано відповідно до схеми на рис. 1, дозволяє визначити вихідну напругу U_0 за виразом (2).

$$\begin{cases} U_1 + I_1 R_1 = U_B \\ U_0 - I_1 R_{33} = U_B \\ U_2 - I_2 R_2 = U_B \\ I_2 R_3 = U_B \end{cases} \quad (1)$$

$$U_0 = U_2 \cdot \frac{(R_1 + R_{33})R_3}{(R_2 + R_3)R_1} - U_1 \cdot \frac{R_{33}}{R_1} \quad (2)$$

Подальші математичні перетворення дозволяють отримати наступне співвідношення:

$$\frac{\frac{(R_1 + R_{33})}{R_1} R_3}{\frac{(R_2 + R_3)}{R_2} R_2} = \frac{(1 + \frac{R_{33}}{R_1})}{(1 + \frac{R_3}{R_2})} \cdot \frac{R_3}{R_2} \quad (3)$$

З цього співвідношення очевидно, якщо у нашій схемі $R_{oc}/R_1 = R_3/R_2$, то множник перед U_2 можна замінити на R_3/R_2 або на R_{oc}/R_1 . Тоді формулу (2) можна перетворити до виду:

$$U_0 = (U_2 - U_1) \cdot \frac{R_{33}}{R_1} \quad (4)$$

Для здійснення процесу додавання двох сигналів необхідно з'єднати виходи п'єзопластин таким чином, щоб одна з напруг була від'ємною, а інша – додатною. У такому випадку механізм формування вихідного сигналу математично описується наступним виразом:

$$U_o = (U_2 - U_1) \cdot \frac{R_{33}}{R_1} \quad (5)$$

Якщо напруга U_1 від'ємна, то формула (5) набуває вигляду:

$$U_o = (U_2 + U_1) \cdot \frac{R_{33}}{R_1} = (2U_1) \cdot \frac{R_{33}}{R_1} \quad (6)$$

Проте різні вхідні опори операційного підсилювача DA1 негативно впливають на формування вихідного сигналу.

Метою роботи є пошук технічного рішення щодо підвищення точності вимірювання віброшвидкості вузлів.

Виклад основного матеріалу

Велику увагу при проектуванні треба приділити питанню «сигнал-завада». Як правило, основними причинами зниження співвідношення у вимірювальному каналі є інтермодуляційні і гармонійні спотворення, що виникають в умовах дії інтенсивних позасмугових завад при наявності нелінійностей ланок каналу вимірювання [3, 7].

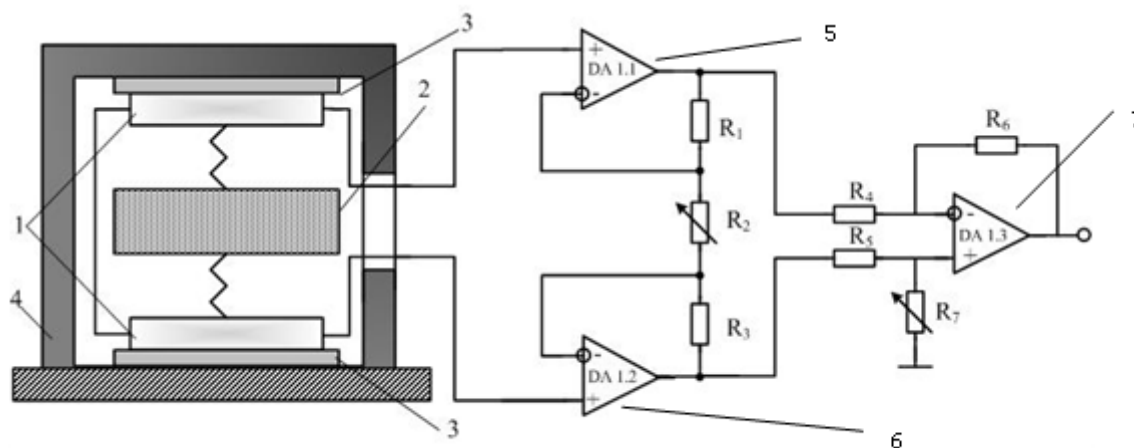
До основних ланок структури, які визначають якість функціонування каналу, відносяться вхідний давач і первинний диференційний підсилювач. У якості давача доцільно застосувати п'єзоелектричний, а вимірювальний канал створити за двоканальною (диференційною схемою). Диференційна схема підсилювача значно зменшить позасмугові завади.

Заміна одного вимірювального підсилювача DA1 (рис. 1) трьома операційними DA1.1, DA1.2, DA1.3 (рис. 2), дозволить зробити ідеальне узгодження високоімпедансних вихідних ємнісних опорів п'єзоелементів з базовим диференційним підсилювачем і покращить його точнісну характеристику.

Операційний підсилювач DA1.3 зі своїми чотирма навісними резисторами, що мають рівні опори R , утворює диференційний підсилювач з коефіцієнтом підсилення 1. У даній схемі повинні бути узгоджені тільки резистори, з'єднані з DA1.3. Резистор R_2 , що належить попередньому колу регулювання, можна виконати змінним з метою балансування будь-якої синфазної напруги. Тоді:

$$\frac{U_{\text{вих}}}{U_1 - U_2} = 1 + \frac{2}{k}, \quad (7)$$

де $k = \frac{R_1}{R_2}$ – коефіцієнт підсилення.



1 – п'єзоелементи; 2 – інерційна маса; 3 – ізолятор;
4 – корпус; 5,6 – буферні каскади; 6 – диференційний підсилювач

Рис. 2. Конструктивне та схематичне рішення вдосконаленого вхідного підсилювача

Вихідна напруга не залежить від синфазної напруги, а залежить тільки від різниці вхідних напруг. Якщо на вході підсилювача будуть діяти синфазні сигнали негативних збурень, то їх результуюча на виході підсилювача буде дорівнювати 0. Це допоможе із складного вимірюваного сигналу виділити необхідний для подальшої обробки. Результуючий корисний електричний сигнал буде пропорційним сигналу прискорення сили тяжіння [4]. Зворотній зв'язок обов'язково повинен бути негативним, тому що тільки у цьому випадку система може прийти до стану стійкої рівноваги. Фактично через зворотній зв'язок напруга на інвертуючому вході підтягується до напруги на неінвертуючому вході. На напругу на неінвертуючому вході зворотний зв'язок не впливає.

Отже, завдяки використанню додатково введеного другого каналу вимірювання та вдосконалення первинного перетворювача, забезпечується:

- відсутність у вихідному сигналі гравіметра сигналів похибок від залишкової неідентичності конструкцій однакових п'єзопластин та мас;
- від впливу зміни температури;
- вологості та тиску зовнішнього середовища (тобто інструментальних похибок), які можуть бути значними;
- усунення впливу вертикального прискорення літака на покази гравіметра одразу двома способами;
- синфазні сигнали негативних збурень.

Використання операційного підсилювача та аналогово-цифрового перетворювача реалізують додавання та підсилення вихідних аналогових сигналів обох каналів гравіметра та перетворення їх у цифровий код відповідно.

Крім того, між об'єктом, на якому встановлено датчик вібрації, та місцем заземлення вторинної апаратури можуть з'явитися значні (паразитні) електричні напруги. Для виключення впливу паразитного наведення на результат вимірювання необхідно вжити заходів щодо виключення з'єднання електричного кола датчика вібрації із заземленням більш ніж в одному місці.

Вибір матеріалу п'єзоелектричного давача визначається допустимою величиною температурної похибки [8]. Використання цирконато-титанових керамік забезпечує роботу давача з похибкою $\pm 20\%$ в діапазоні $200\text{--}250^\circ\text{C}$, при похибці $\pm 5\%$ температурний діапазон зменшується до $40\text{--}60^\circ\text{C}$.

При використанні кварцу забезпечується похибка $\pm 2\%$ і діапазоні до 400°C . Для вимірювання вібрації в зоні температур нижче 100°C високу точність дає використання титанату цирконію або барію [8].

Висновки

Особливу увагу при проектуванні пристроїв вимірювання вібросигналів необхідно приділити питанню «сигнал-завада». Встановлено, що, як правило, основними причинами зниження сигналів у вимірювальному каналі є інтермодуляційні і гармонійні спотворення, що виникають в умовах дії інтенсивних позасмугових завад при наявності нелінійностей ланок каналу вимірювання.

Застосування двоканальних (диференційних) схем у вимірювальних каналах підсилювачів сигналів в комплексі з п'єзоелектричним первинним перетворювачем надасть можливість значно зменшити позасмугові завади у пристроях вимірювання вібросигналів.

Запропоноване схемотехнічне рішення із застосуванням двоканальної (диференційної) схеми підсилення вихідного сигналу п'єзоелектричного перетворювача допоможе вирішити проблеми з завадами.

Література

1. Генкин М. Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М. Д. Генкин, А. Г. Соколова. – М. : Машиностроение, 1987. – 288 с.
2. Шевченко С. А. Контроль технического состояния сельскохозяйственной техники вибрационно-диагностическим методом / С. А. Шевченко // Вестник ХГПУ. – Харьков, 1999. – Вып. 55. – С. 33–35.
3. Безвесільна О. М. Науково-теоретичні дослідження нового п'єзоелектричного гравіметра автоматизованої авіаційної гравіметричної системи в екстремальних умовах з використанням нейронних мереж : монографія / О. М. Безвесільна, А. Г. Ткачук, Г. С. Тимчик. – Житомир : ЖДТУ, 2014. – 224 с.
4. Безвесільна О. М. Вимірювання прискорень / О. М. Безвесільна. – К. : Либідь, 2001. – 261 с.
5. Безвесільна О. М. Схемотехнічні рішення вимірювання віброшвидкості при вібрації вузлів та агрегатів сільгоспмашин / О. М. Безвесільна, М. А. Войцицький // Вісник ЖНАЕУ. – 2014. – № 2(45), т. 4, ч. II. – С. 351–353.
6. Воронцов О. Г. Дослідження моделі вимірювального каналу системи віброакустичної діагностики тихохідних роторних машин / О. Г. Воронцов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2001. – № 6. – С. 23–27.
7. Liao Y. Modeling and comparison of bimorph power harvesters with piezoelectric elements connected in parallel and series / Y. Liao, H. A. Sodano // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. – 2010. № 2. – P. 14–159.

References

1. Genkin M. D. Vibroakusticheskaja diagnostika mashin i mehanizmov / M. D. Genkin, A. G. Sokolova. – M. : Mashinostroyeniye, 1987. – 288 s.
2. Shevchenko S. A. Kontrol' tekhnicheskogo sostojaniya sel'skhozajstvennoj tekhniki vibracionno-diaagnosticheskim metodom / S. A. Shevchenko // Vestnik HGPU. – Har'kov, 1999. – Vyp. 55. – S. 33–35.
3. Bezvesilna O. M. Naukovo-teoretychni doslidzhennia novoho piezoelektrychnoho hravimetra avtomatyzovanoi aviatsiinoi hravimetrychnoi systemy v ekstremalnykh umovakh z vykorystanniam neironnykh merezh : monohrafiia / O. M. Bezvesilna, A. H. Tkachuk, H. S. Tymchuk. – Zhytomyr : ZhDTU, 2014. – 224 s.
4. Bezvesilna O. M. Vymiriuvannia pryskoren' / O. M. Bezvesilna. – K. : Lybid, 2001. – 261 s.
5. Bezvesilna O. M. Skhemotekhnichni rishennia vymiriuvannia vibroshvydkosti pry vibratsii vuzliv ta ahrehativ silhospmashyn / O. M. Bezvesilna, M. A. Voitsytskyi // Visnyk ZhNAEU. – 2014. – № 2(45), t. 4, ch. II. – S. 351–353.
6. Vorontsov O. H. Doslidzhennia modeli vymiriuvalnogo kanalu systemy vibroakustychnoi diahnostyky tykhokhidnykh rotornykh mashyn / O. H. Vorontsov // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnogo instytutu. – 2001. – № 6. – S. 23–27.
7. Liao Y. Modeling and comparison of bimorph power harvesters with piezoelectric elements connected in parallel and series / Y. Liao, H. A. Sodano // Journal of Intelligent Material Systems and Structures. – 2010. № 2. – P. 14–159.