

УДК 629.06

РЕКУПЕРАТИВНА СИСТЕМА АМОРТИЗАЦІЇ ДИНАМІЧНОГО ПРИСТРОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ П'ЄЗОЕФЕКТУ

Новиков Антон Олександрович, студент
Лістовщик Леонід Костянтинович, к.т.н., доцент
Сліденко Віктор Михайлович, д.т.н., доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анотація. У статті розглянуто енергетичні параметри рекуперативної системи амортизації, яка використовується в динамічних пристроях з використанням п'єзоефекту. Визначено електромеханічні параметри пристрою та проаналізовано стан п'єзоперетворювачів.

Ключові слова: П'ЄЗОЕФЕКТ, РЕКУПЕРАЦІЯ, П'ЄЗОКЕРАМІКА, АМОРТИЗАЦІЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ.

Abstract. The article considers the energy parameters of the recuperative damping system used in dynamic devices using the piezoelectric effect. The electromechanical parameters of the device are determined and the state of piezoelectric transducers is analyzed.

Keywords: PIEZOEFFECT, REGENERATION, PIEZOCERAMICS, DAMPING, INVERTER.

Вступ. На сьогодні енергозбереження відіграє важливу роль у розвитку техніки, підвищуючи актуальність технологій відновлення енергії. Одним з ефективних засобів енергозбереження є рекуперація.

В загальному розумінні, рекуперація – це часткове повернення ресурсу (енергії, речовини, матеріалів) для подальшого його використання [1]. У зв'язку з подорожчанням ресурсів, принцип рекуперації став застосовуватися до пристроїв і систем, якими щодня користується звичайна людина [2].

В даній роботі розглядається використання п'єзоефекту для рекуперації механічної енергії та її перетворення в електроенергію з використанням прямого п'єзоелектричного ефекту. Він полягає у тому, що під дією механічного напруження, або, у результаті викликаного механічним напруженням пружної деформації, в нецентросиметричних діелектриках (п'єзоелектриках) виникає електрична поляризація. Як відомо, обернений п'єзоелектричний ефект виникає тоді, коли електричне поле деформує нецентросиметричний кристал. Знак електричноіндуктованої деформації змінюється зі зміною знаку електричного впливу [3].

Мета роботи. Аналіз енергетичних параметрів рекуперативної системи амортизації динамічного пристрою з використанням п'єзоефекту.

Матеріали і методи. В роботі проведено системний аналіз інформації в області рекуперації електричної енергії із застосуванням п'єзоефекту.

Результати.

У багатьох динамічних конструкціях, наприклад, ходових системах транспортних засобів, відносно легко реалізувати системи рекуперації електричної енергії за допомогою оборотних електромашин і електричних акумуляторів. При цьому основним, вже реалізованим напрямом рекуперації енергії, є апробовані на практиці різні системи генерування, акумулювання і реалізації електричної енергії, одержуваної при гальмуванні машини [4]. Під час руху транспортного засобу, неминуче виникають коливання через зміну режиму роботи та нестабільність зовнішніх умов (рельєф, потік повітря, погодні умови тощо). Динамічні пристрої, наприклад, амортизатори транспортних засобів, які встановлені для гасіння коливань, споживають велику кількість механічної енергії перетворюючи її на тепло, що розсіюється. Цю енергію, без шкоди для зниження ефективності функціонування, можливо

корисно використовувати, тобто пропонується використання п'єзокераміки для перетворення механічної енергії амортизатора в електричну. П'єзокераміка – за фізичними властивостями це полікристалічний сегнетоелектрик, який є хімічною сполукою або твердим розчином (порошок) зерен (кристалітів) [5].

Випускаються п'єзоелектричні матеріали на базі п'єзоелектричних керамічних матеріалів (далі ПКМ) вони є сегнетоелектричними з'єднаннями або їх твердими розчинами, отримані синтезом з суміші різних оксидів і солей. Більшість сучасних ПКМ складають тверді розчини титаната-цирконата свинцю (ЦТС, PZT), модифіковані різними компонентами і добавками. Випускаються також ПКМ на основі титанату барію (ТБ), титанату свинцю (ТС), ніобата свинцю (НС), титанату вісмуту (ТВ) тощо [6]. П'єзодатчики на основі ПКМ охоплюють широкий діапазон вимірювань, здатні працювати при температурах від +400°C до -270°C, що важливо, витримують високі тиску (для кераміки типу PZT значення допустимих напружень можуть доходити до $(0,7-1,0) \cdot 10^8$ Па) [7].

Взаємозв'язок електричних та механічних властивостей кристалів, що демонструють п'єзоефект, характеризується коефіцієнтом електромеханічного зв'язку $K_{зв}$. За прямого п'єзоефекту підведена до кристала механічна енергія витрачається не тільки на пружну деформацію, приводячи не лише до накопичення пружної енергії $W_{пруж}$, але й до створення електричної поляризації, що обумовлює накопичення електричної енергії $W_{ел}$ [8]:

$$K_{зв} = \sqrt{\frac{W_{ел}}{W_{пруж} + W_{ел}}} \quad (1)$$

Ефективність їх впровадження можна визначити за допомогою типового розрахунку. Так напругу, що виникає при одноразовому прикладенні навантаження, можна визначити за формулою:

$$U_1 = \frac{d_{33} \cdot F}{C},$$

$$U_1 = \frac{d_{33} \cdot F}{C} = \frac{593 \cdot 10^{-12} \cdot 12500}{4,427 \cdot 10^{-8}} = 167,4 \text{ В}, \quad (2)$$

де d_{33} – п'єзоелектричний модуль, для матеріалу PZT-5Н $d_{33} = 593 \cdot 10^{-12}$ К/Н [8]; F – сила, яка впливає на елемент конструкції із закріпленням перетворювачем, прийемо $F = 12500$ Н; C – електрична ємність п'єзоелектричного перетворювача:

$$C = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{l} = \frac{5000 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 0,01}{0,01} = 4,427 \cdot 10^{-8} \text{ Ф}, \quad (3)$$

де ϵ – діелектрична проникність матеріалу п'єзоелектричного перетворювача, для матеріалу PZT-5Н $\epsilon = 5000$; ϵ_0 – електрична постійна, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; S – площа п'єзоелектричного перетворювача, прийемо $S = 0,01$ м²; l – товщина п'єзоелектричного перетворювача, прийемо $l = 0,01$ м.

Сила струму I , що виникає на електродах одного перетворювача при одноразовому прикладенні навантаження, становить 0,01 А. Тоді елемент конструкції машини або механізму, що піддається навантаженню із циклічністю до 50 впливів за хвилину, з двома приєднаними перетворювачами може виробляти електричну енергію потужністю:

$$P = U_1 \cdot I \cdot n_1 \cdot n_2 = 167,4 \cdot 0,01 \cdot 50 \cdot 2 = 167,4 \text{ Вт}, \quad (4)$$

де n_1 - циклічність прикладання навантаження, од/хв;

p_2 - кількість використовуваних перетворювачів, шт.

При безперервній роботі динамічного пристрою за одну годину часу перетворювачі зможуть виробляти електричну енергію потужністю до 10 044 Вт (без обліку втрат).

Висновки.

П'єзогенератори можуть знайти своє застосування в ролі компонентів автономних рекуперативних систем машин і механізмів, що перетворюють механічне динамічне навантаження в електричну енергію.

Розрахунками підтверджена можливість отримання потужності 10 044 Вт, за напругою при одноразовому прикладенні навантаження 167,4 Вт в циклі. Проте застосування п'єзогенераторів в машинобудуванні на сьогодні обмежена існуючими недоліками конструкцій самих перетворювачів і необхідністю розробки більш досконалих технологій зі створення «пакетних» п'єзокомпонентів з кращими вихідними характеристиками, здатних забезпечувати живлення потужних пристроїв. Крім того, існують складнощі при реалізації систем рекуперації енергії на їх базі, пов'язані з потребою впровадження ефективних систем керування, передачі та накопичення енергії.

Список літератури

1. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / ред. В. С. Білецького. Донецьк : Донбас, 2007.- 644 с.
2. Мазуркевич М.В. Україні прогнозують різке зростання тарифів на електроенергію. *Україна комунальна*. 02.04.2021. URL: <http://jkg-portal.com.ua/ua/publication/one/v-ukrajin-prognozujut-rzke-zrostannja-tarifv-na-jelektroenergju-62271>. (дата звернення 07.05.2021).
3. Поплавко Ю.М., Якименко Ю.І. П'єзоелектрики. Навчальний посібник. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. - 327 с.
4. Посметьев, В. И. Состояние и обоснование энергосбережения машин и оборудования способом аккумуляирования / В. И. Посметьев, М. В. Жиликов, Д. В. Шмителько // Перспективные технологии, транспортные средства и оборудование при производстве, эксплуатации, сервисе и ремонте: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 3; Фед. агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2008. – С. 85-91.
5. Жуков С. О. О пьезокерамике и перспективах ее применения. *Рынок микроэлектроники*. 03.05.2017. URL: http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01_01/stat-48.htm. (дата звернення 07.05.2021).
6. Бочкарьов Д. І., Пупачьов Д. С. Современное состояние и перспективы использования пьезопреобразователей в конструкциях мобильных машин. *Механика машин, механизмов и материалов*. 2019. №1(46). С. 13-18.
7. Довгяло В. А., Бочкарьов Д. І. Дорожно-строительные машины. Машины для земельных работ: учебное пособие. Гомель: Білоруський державний університет транспорту, 2010. - 250 с.
8. Шарапов В. М., Мусієнко М. П., Шарапова О. В. Пьезоэлектрические датчики. Москва, Техносфера, 2006. - 632 с.