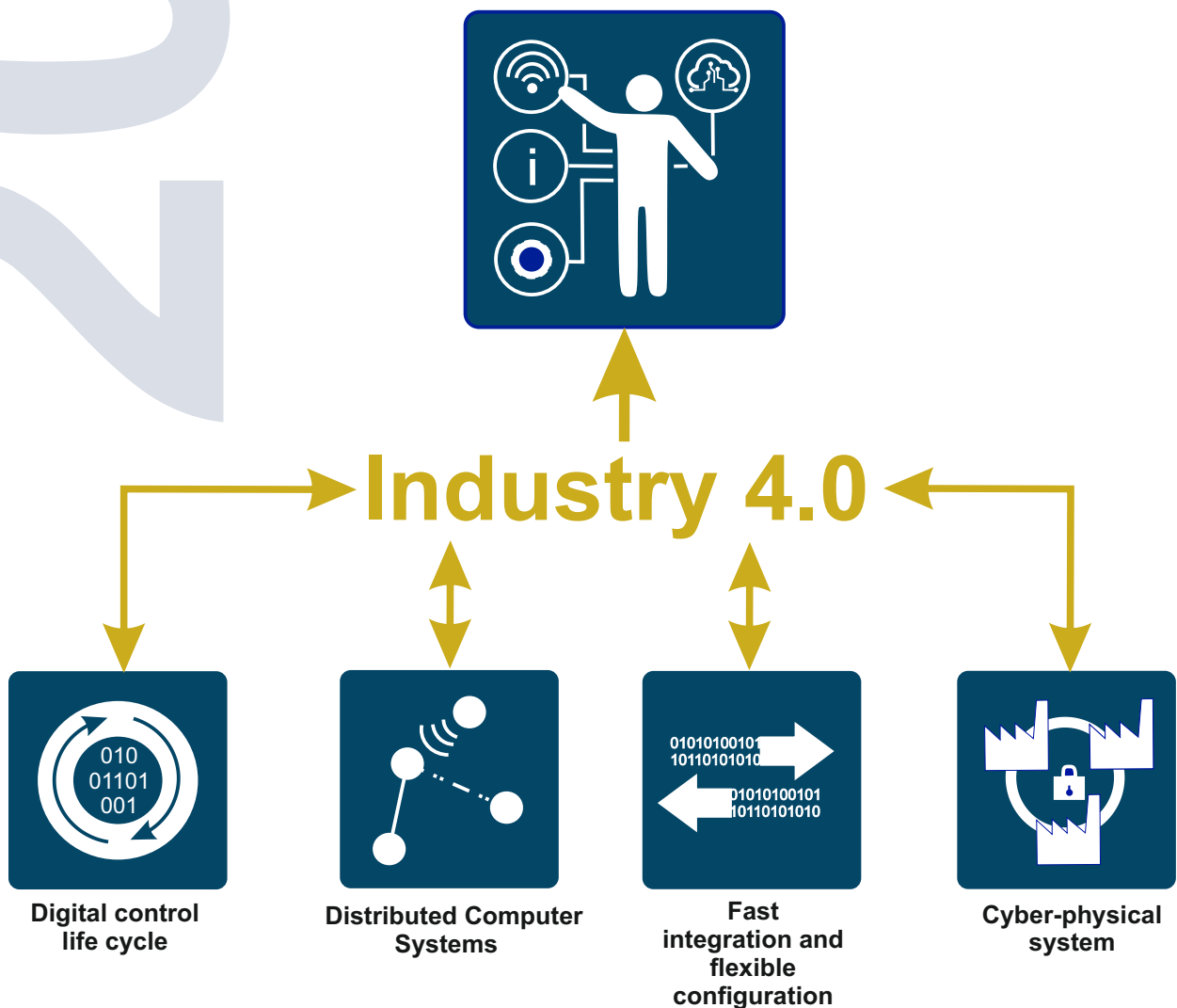


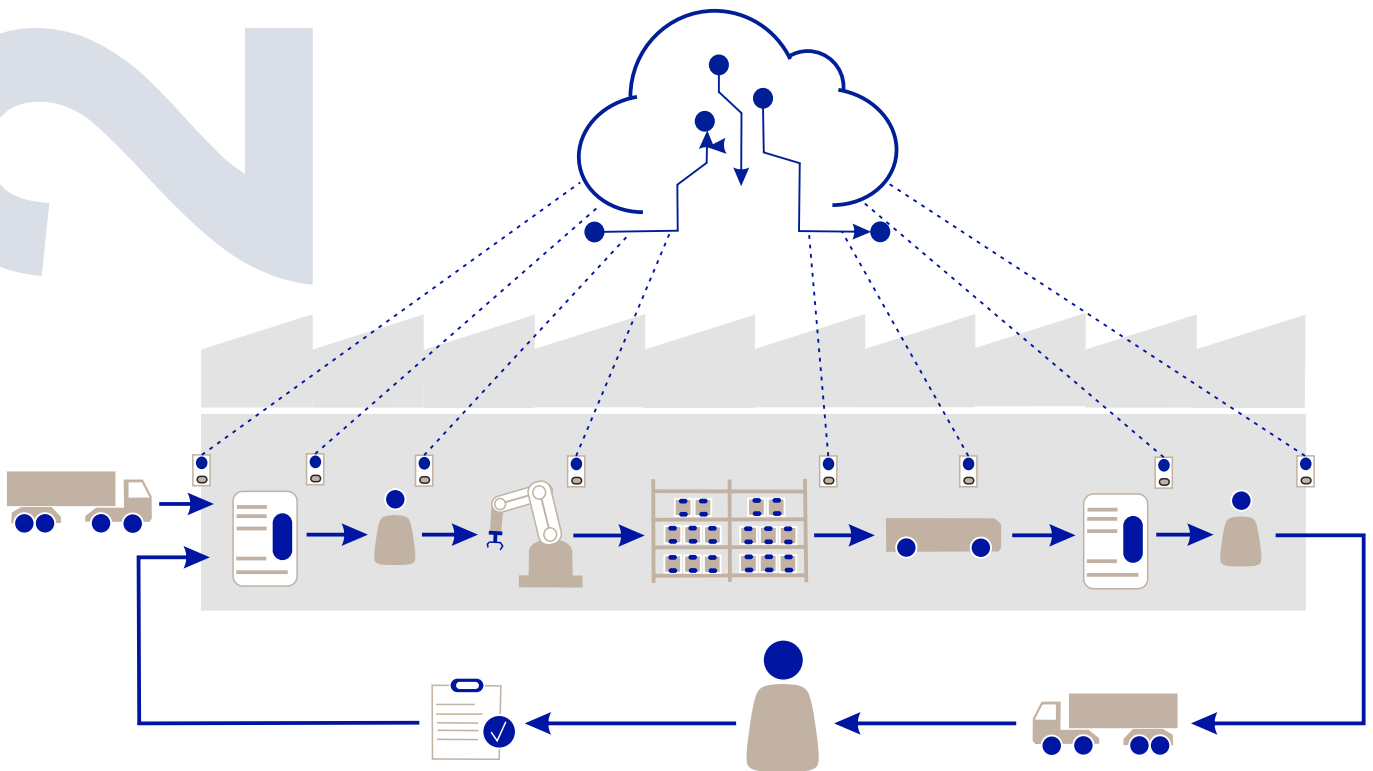
COLLECTION
OF STUDENTS' SCIENTIFIC PAPER
«Automation and Development of Electronic Devices»
ADED-2021
(Part 2)



2022

ЗБІРНИК

студентських наукових статей
«Автоматизація та приладобудування»
ADED-2021
(Випуск 2)
[електронне видання]



Industry 4.0

- Головий редактор** **Невлюдов Ігор Шакирович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
- Редакційна колегія:** **Филипенко Олександр Іванович**, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики та комп'ютеризованих технологій, Харківського національного університету радіоелектроніки.
Цимбал Олександр Михайлович, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.
Андрусевич Анатолій Олександрович, доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу національного авіаційного університету
Косенко Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства «Харківського науково-дослідного інституту технології машинобудування».
Замірець Микола Васильович, доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування.
Свищ Володимир Митрофанович, доктор технічних наук, професор, радник директора Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Комунар».
Фомовська Олена Владиславівна, кандидат технічних наук, доцент завідувач кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.
Кухаренко Дмитро Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електронних апаратів» Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського
Шило Галина Миколаївна, доктор технічних наук, проректор з науково-педагогічної роботи та питань перспектив розвитку університету, Запорізького національного технічного університету.
Фурманова Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри Інформаційних технологій електронних засобів, Запорізького національного технічного університету.
- Відповідальний редактор:** **Євсєєв Владислав В'ячеславович**, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки, Харківського національного університету радіоелектроніки.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ («Automation and Development of Electronic Devices» ADED-2021) [Електронний ресурс] : збірник студентських наукових статей / Харківський національний університет радіоелектроніки ; [редкол.: І.Ш. Невлюдов та ін.]. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – Вип. 2. – 201 с.

COLLECTION OF STUDENTS' SCIENTIFIC PAPER «AUTOMATION AND DEVELOPMENT OF ELECTRONIC DEVICES» ADED-2021 Part 2 (Key infrastructure 2021) - Kharkiv/ The Editorial.: Nevlyudov I.Sh. (head), that all. Kharkiv: Kind of Kharkiv National University of Radio Elektronik [electronic edition], 2021. – 201 p with.

Рекомендовано рішенням
Науково-технічної ради
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол №6 від 29.11.2018

Рекомендовано рішенням Вченої ради
факультету Автоматики і комп'ютеризованих
технологій
Харківського національного
університету радіоелектроніки
протокол № 4 від 23.12.2021

Збірник містить наукові статті здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівнів вищої освіти кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ) Харківського національного університету радіоелектроніки, кафедри Інформаційних технологій електронних засобів (ІТЕД) Запорізького національного технічного університету та кафедри Електронних апаратів (ЕА) Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського які навчаються за спеціальностями: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 172 Телекомунікації та радіотехніка, 171 Електроніка та 163 Біомедична інженерія. Статті надані в авторській редакції.

ЗМІСТ

<i>Алешко К. А.</i> Математична модель електромеханічної колісної платформи мобільного роботу із бортовими вимірювальними пристроями	8
<i>Алешко К. А.</i> Проблема автоматизованого визначення механічної взаємодії колісної робототехнічної платформи із зовнішнім середовищем	14
<i>Баканов Д. Ю.</i> Автоматизоване управління тяговими електричними двигунами колісної роботизованої платформи з метою забезпечення плавності її руху	19
<i>Білоус М. Ю., Медова К. Г.</i> Огляд сучасних технологій на прикладі Індустрії 4.0	22
<i>Божко П. М.</i> Розробка структури автоматизованої системи блокування доступу до візуальної інформації з використанням НІД-пристрою	26
<i>Борисовський А. С.</i> Підтримка прийняття рішень при проектуванні сенсорної системи маніпуляційного робота	32
<i>Візір Ю. С.</i> Індустрія 5.0 або Суспільство 5.0 – вікно можливостей ролі промисловості у суспільстві	36
<i>Візір Ю. С., Дерев'янка І. І.</i> Особливості передачі інформації з використанням коду хеммінга при управлінні технологічними процесами	39
<i>Гаракян М. Г.</i> Спосіб оцінки якості оптичного волокна складної форми поперечного перерізу в процесі витяжки	43
<i>Іванцов О. С.</i> Автоматизація керування низьковольтною трековою системою освітлення	53
<i>Ігнатенко Д. В.</i> Аналіз шляхів модернізації комутаційної системи мобільної робототехнічної платформи з використанням гнучких структур	58
<i>Мажара А. Є.</i> Особливості технології доповненої реальності	63
<i>Білоус М. Ю., Медова К. Г.</i> Аналіз сучасних біо-приладів на основі МЕМС	66
<i>Посашков О. Ю.</i> Моделювання процесів адміністрування в автоматизованих виробничих системах	70
<i>Рогачов А. С.</i> Розробка автоматизованої системи встановлення елементів на друковану плату	74
<i>Сідаш В. В.</i> Опис методики розрахунку параметрів холодильного обладнання	78
<i>Конєва А. І.</i> Аналіз особливостей технології Індустрії 4.0	85
<i>Андрєєв А. С.</i> Особливості створення семантичних мереж	89
<i>Стеценко К. В., Белов П. О.</i> Автоматизований модуль безконтактного пірометра для виміру температур потенційно небезпечних об'єктів	93

<i>Стеценко К. В.</i>	
Контроль МОЕМС- компонентів в системах автоматизації	97
<i>Ткалін Д. А.</i>	
Аналіз функцій та принципів розроблення CRM-систем	100
<i>Цапля Б. О.</i>	
Тенденції розвитку сучасної промислової робототехніки	104
<i>Шило Н., Сидоренко А., Дерев'янка І.</i>	
Автоматизовані роботи дезинфектори – тренд сьогодення	108
<i>Шило Н., Сидоренко А., Буць Д.</i>	
Особливості застосування технології веб-сокетів для асинхронної клієнт-серверної взаємодії веб-програм промислової автоматизації	112
<i>Шостенко С., Буць Д.</i>	
Лінійні п'єзодвигуни в системах автоматики та машинобудівних конструкціях	116
<i>Шостенко С., Буць Д.</i>	
Розроблення програмно-організаційного забезпечення для супроводження автоматизованих систем оповіщення на виробництві	121
<i>Яртемик Є. А.</i>	
Розробка теоретичних основ автоматизованого проектування осей механізмів роботів	125
<i>Ляскова Я. І.</i>	
Еволюційний пошук рішень у технологіях реінжинірингу виробничих комп'ютерних мереж	131
<i>Шабалін А. О., Рубльов П. К.</i>	
Аналіз сфер застосування та особливостей конструкцій мультикоптерів	135
<i>Адамцев Д. Ю., Прокопенко Д. І.</i>	
Підтримка прийняття рішень у системі управління виробничо-збутовим процесом	139
<i>Барасій В. В.</i>	
Оптимізація модуля віддаленого керування мобільним роботом	143
<i>Гніденко О. Ю., Бадаєв О. С.</i>	
Застосування конвергенції для MEMS актюаторів	147
<i>Боклаг Д. К.</i>	
Аналіз технологічних рішень одночасного 3D друку декількома матеріалами	150
<i>Ничипоренко Ю. Ю.</i>	
Функціонування сучасної системи централізованого теплопостачання із використанням автоматизованого робочого місця персоналу	155
<i>Скрипкін А. А.</i>	
Мобільний робот на Raspberry Pi 3b+	158
<i>Хобот М. В.</i>	
Підсистема підтримки прийняття рішень для технології автоматизації проектування гвинтоколісних механізмів	162
<i>Шевченко М. П., Здорик Н. В.</i>	
Аналіз методів підвищення технологічності виробу на основі складально-орієнтованого проектування	167
<i>Гаврик С. С., Кострова Г. Ю.</i>	
Моделювання корпусу багатоцільової мобільної робототехнічної платформи	175
<i>Пилипенко В. М.</i>	
Дослідження методів розпізнавання голосу	183
<i>Шевченко Д. О., Шевченко К. О.</i>	
Застосування сучасних засобів ідентифікації об'єктів для конвеєрних ліній	188

<i>Кулик А. А., Русаков В. В.</i>	
Розробка методу побудови маршруту переміщення робототехнічної платформи у системі складування	191
<i>Шалько Є. В.</i>	
Дослідження застосування протоколу m2m в кібер-фізичних системах	195
<i>Алфавітний список</i>	200

ЛІНІЙНІ П'ЄЗОДВИГУНИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ ТА МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Шостенко С. С., Буць Д. Є.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: svitlana.shostenko@nure.ua, dmytro.buts@nure.ua

Анотація: У даній роботі доведено актуальність та доцільність використання п'єзоелектричних двигунів у приладах автоматики та машинобудівних конструкціях. Початі роботи з досліджень параметрів конструктивного виконання підвищенні на коефіцієнта корисної дії та збільшенні питомої потужності п'єзодвигуна, зменшення його габаритних розмірів, забезпечення зворотного ходу, збільшення ресурсу та надійності двигуна за рахунок використання фрикційного режиму передачі моменту шляхом використання елементу рівноваженості конструкції.

Ключові слова: П'єзоелектроніка, п'єзотехніка, п'єзоелектричний двигун

LINEAR PIEZOELECTRIC MOTORS IN AUTOMATION SYSTEMS AND MACHINE-BUILDING STRUCTURES

S. Shostenko, D. Buts

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauki Ave.

E-mail: svitlana.shostenko@nure.ua, dmytro.buts@nure.ua

Abstract: This paper proves the relevance and feasibility of using piezoelectric motors in automation devices and machine-building structures. Work has begun on the study of design parameters to increase the efficiency and increase the specific power of the piezoelectric engine, reduce its overall dimensions, provide reverse stroke, increase the life and reliability of the engine through the use of friction torque by using the element of structural equilibrium.

Keywords: Piezoelectronics, piezoelectric equipment, piezoelectric motor

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогоднішній день розвиток мікро та наноприладобудування направлений в сторону зменшення геометричних розмірів та ваги виробів. Сучасні прилади з кожним роком все більш розвиваються у напрямку мікромініатюризації. Як наслідок, на ринку інтегрованих технологій та виробів все частіше можна зустріти мініатюрні пристрої, які не поступаються у технічними характеристиками та точністю. Проте зі зменшенням геометричних розмірів сучасні тенденції потребують не знижувати показники точнісних характеристик виробів. Вирішенням такої проблеми може стати використання мініатюрних прецизійних пристроїв, які є малогабаритними та відповідають необхідними технічними характеристиками [1–15]. Саме до такого сегменту відноситься п'єзоелектроніка (рис. 1).

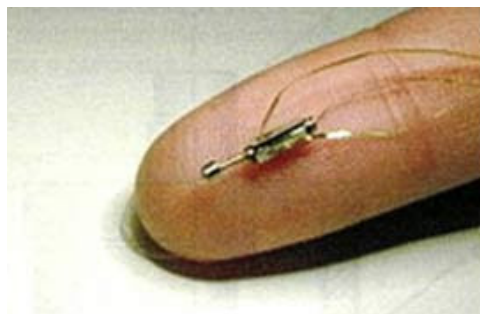


Рисунок 1 – Приклад приладу п'єзоелектроніки

Розробкою п'єзоелектричних пристроїв займається досить широке коло вчених в усьому світі. Автоматизація – один з найперспективніших напрямків приладобудування. Об'єднання цих двох напрямків (автоматизації та п'єзоелектроніки) є досить перспективним. Використання п'єзодвигунів у складі приладів маніпуляторів може вирішити широке коло питань, що гостро стоїть в робототехніці.

П'єзодвигуни можуть бути використані для будь якого типу маніпулятора, в залежності типу їх переміщення. Це не тільки зменшить масогабаритні параметри роботів, а й значно підвищить точність їх позиціонування. Тому, обрана тема є досить актуальною та своєчасною.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. П'єзоелектричні двигуни відрізняються від інших типів досить високою надійністю, яка не поступається електронним схемам. Також необхідно відмітити та високу радіаційну стійкість таких приладів, що значно розширює сферу їх застосування. Ці прилади можуть зберігати працездатність під час впливу всіх відомих видів радіоактивного випромінювання.

П'єзодвигуни також мають стійкість до дії різних агресивних середовищ, тільки плавикова кислота здатна пошкодити п'єзокераміку, що й дозволяє використовувати мотор в ряді хімічних виробництв [8].

Висока термостійкість, елементи які виготовлені з деяких марок п'єзокераміки, таких як ЦТС (цирконат-титанат свинцю) та ПК (п'єзоелектричний кераміка), не втрачають своїх властивостей, навіть, при температурі до 300 °С – 400 °С. Якщо в п'єзокерамічному матеріалі відмічаються додавання сплавів на основі кобальту, то елемент здатен витримати до 700 °С. Узагалі, саме спеціально для таких екстремальних температурних умов роботи, як, наприклад, паливна система двигунів, було розроблено високостабільну та високотемпературну п'єзоелектричну кераміку.

Слід зазначити, що діелектрична природа п'єзоелемента – це функціонування, що базується на основі дії електричного поля, а не струму провідності. Малі значення струму та відсутність тепловиділення та теплопровідності на низьких частотах, визначають ще одну важливу перевагу за критерієм надійності – вибухобезпечного елемента.

Головною особливістю п'єзомоторів є сама основа за рахунок якого відбувається механічне переміщення – це п'єзоелектричний ефект.

Спираючись на фізичні принципи, можна стверджувати що, якщо подавати механічний тиск на кристал, наприклад, турмаліну у певному напрямку, на протилежних сторонах кристала з'являються електричні заряди, пропорційні тиску і протилежної полярності. Саме на базі цього дослідження було зрозуміло, що п'єзоелектрики, а зокрема п'єзокераміка, відрізняється своєю реакцією на деформацію, бо під цим механічним тиском на їх поверхнях виникають електричні заряди – що і називається прямим п'єзоелектричним ефектом.

Також, необхідно враховувати зворотній п'єзо ефект. Матеріал розташований між двома електродами, реагує на прикладену до нього електричну напругу, змінюючи свою форму. Більш детальне дослідження показало, що цей ефект можна пояснити властивістю елементарної комірки структури матеріалу (найменша симетрична одиниця матеріалу), з нею шляхом багаторазового повторення, можливо отримати мікроскопічний кристал.

Дослідження показало, що обов'язковим параметром для появи п'єзоелектричного ефекту є відсутність центру симетрії в елементарній комірці. Таким чином можна резюмувати, що прямий п'єзоелектричний ефект, це поляризації п'єзоелектрика при механічному впливі на нього та деформації. А зворотній п'єзоелектричний ефект полягає в механічній деформації п'єзоелектрика під впливом електричного поля [1–8].

Описані фізичні явища було покладено в основу створення п'єзоелектричних систем, що знайшли широке в провадження в мікросистемній техніці, робототехніці та ноносистемах.

Однією з найвідоміших видів п'єзотехніки є двигуни, які знайшли широке застосування в системах автоматики та машинобудівних конструкціях. Наприклад, п'єзоелектричний

регулювальний елемент, що містить корпус, в якому розміщені ведений елемент з фрикційним шаром, рушійний елемент (важіль), з'єднаний з п'єзоелементом (рис. 2).

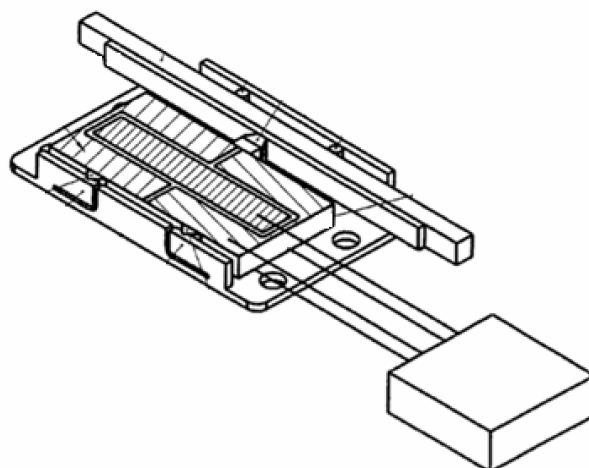


Рисунок 2 – П'єзоелектричний двигун

Можна роздивитися інший варіант реалізації конструкції п'єзоелектричного двигуна (рис. 3), що складається з нерухомого корпусу, сполучного валу, пакета п'єзоелементів з важелем, жорстко закріплених у нерухомому корпусі. При подачі на пакет п'єзоелементів напруги пакет п'єзоелементів подовжується або коротшає і створює механічне зусилля на важіль, пов'язаний з елементом конструкції. Застосовується за для натягу мережі вант рефлектора. Такий тип п'єзоелектричних двигунів містить два корпуси: зовнішній нерухомий

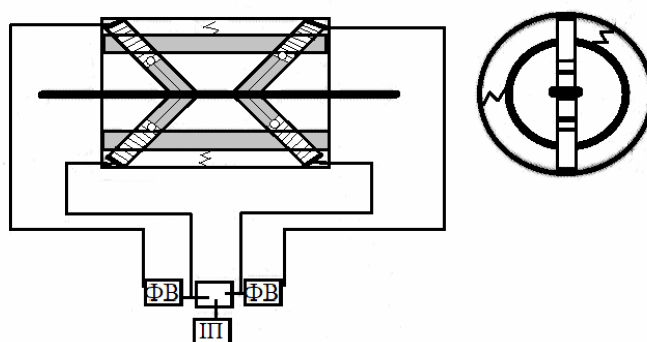


Рисунок 3 – Варіант реалізації конструкції п'єзоелектричного двигуна

Корпус і внутрішній рухомий корпус, з'єднані між собою пружними елементами, на внутрішньому рухомому корпусі жорстко закріплені пристрої регулювання (ПР), з яких два ПР служать для прямого ходу і два ПР служать зворотного ходу веденого елемента. Сам же ведений елемент розміщений в підшипникових опорах нерухомого корпусу. Рухомий корпус на пружних елементах має резонансну частоту коливальної системи, більш ніж $\sqrt{2}$ разів перевищує резонансну частоту коливальної системи рухомого корпусу з веденим елементом, що дозволяє виконати частотну розв'язку і виключити заклинювання.

Для синфазної підстроювання роботи п'єзоелементів з важелем високочастотне джерело живлення через комутатор підключається до ПР безпосередньо, а до ПР через фазообертач, при перемиканні комутатора для зворотного ходу джерело живлення аналогічно підключається до ПР безпосередньо, а до ПР через фаз ходу.

Лінійний п'єзоелектричний двигун працює наступним чином. При підключенні джерела живлення через комутатор одного ПР безпосередньо і до іншого ПР через фазообертач (для синфазної підстроювання віброзміщення), ПР подовжуються і створюють сумарний момент

на веденому елементі, рухомий корпус з жорстко закріпленими в ньому ПР на пружних елементах переміщається за рахунок фрикційного тертя. При знятті живлення з п'єзоелементів з важелями механічний контакт ПР з веденим елементом пропадає, і рухомий корпус з жорстко закріпленими в ньому ПР за рахунок пружних елементів повертається у вихідне положення відносно нерухомого корпусу лінійного п'єзоелектричного двигуна. Повторенням даного високочастотного процесу реалізується прямий хід веденого елемента.

Зворотний перебіг п'єзоелектричного двигуна. При підключенні джерела живлення через перемикач до одного ПР безпосередньо і до іншого ПР через фазообертач (для синфазної підстроювання вібросмещення), ПР подовжуються і створюють сумарний момент на веденому елементі, рухомий корпус з жорстко закріпленими переміщається на пружних елементах за рахунок фрикційного тертя. При знятті живлення з ПР механічний контакт ПР з веденим елементом пропадає, і рухомий корпус з жорстко закріпленими ПР за рахунок реакції пружних елементів повертається у вихідне положення щодо нерухомого корпусу лінійного п'єзоелектричного двигуна. Повторенням даного високочастотного процесу реалізується зворотний хід веденого елемента п'єзоелектричного двигуна.

Відомо також пристрій – лінійний п'єзоелектричний двигун який має групу виконавчих механізмів – пьезоактюаторов-стеків, контактують з ротором двигуна. Кожен пьезоактюатор-стек і двох частин, перша частина – пьезоактюатор поздовжнього типу, а друга частина – пьезоактюатор зсувного типу. Причому контакт (затискач і зсув) з ротором ведеться через другу частину стека і, принаймні, два ідентичні стеки знаходяться поряд один з одним для виконання альтернативного затискання та вдосконалення руху в покровоковому режимі.

Найбільш близьким до пристрою є пристрій регулювання з п'єзоприводом, з двома п'єзоелементами з важелями (ПР), які взаємодіють з веденим елементом за допомогою пружинного елемента. Передача руху відбувається через зміну довжини п'єзоелементів при подачі на них напруги. Через безперервне усунення пружинного елемента гарантується безпечне зачеплення з веденим елементом. Також пристрій містить джерело живлення п'єзоелементів, що генерує однакові лінійні криві напруги, які розташовані в шаховому порядку за часом, в результаті чого п'єзоелементи з важелями (ПР) контактують з веденим елементом, коли змінюється довжина п'єзоелементів, і викликані напруги відповідають необхідному напрямку.

Основними недоліками є низький коефіцієнт корисної дії пристрою, мала міцність у вузлах кріплення п'єзоелемента, та можливість заклинювання рухомих частин двигуна. Крім того, збільшення потужності пристрою можливе лише за рахунок збільшення об'єму та потужності п'єзоелемента.

Ці проблеми можна вирішити тим, що двигун який містить нерухомий корпус, ведений елемент підшипникових опорах нерухомого корпусу, п'єзоелементи з важелями (ПР) прямого і зворотного ходу веденого елемента, джерело живлення п'єзоелементів, на відміну від прототипу, додатково обладнаний активним корпусом. Активний корпус коаксіально розміщений усередині нерухомого корпусу і з'єднаний з ним пружними елементами, на рухомому корпусі жорстко закріплені два ПР прямого ходу веденого елемента і два ПР зворотного ходу веденого елемента, ПР одного і того ж напрямку переміщення розташовані навколо веденого елемента, при цьому джерело живлення п'єзоелементів має один вихід для живлення п'єзоелементів прямого ходу і один вихід для живлення п'єзоелементів зворотного ходу, причому один із ПР для кожного з напрямків переміщення веденого елемента підключений до джерела живлення через фазообертач,

Кожен п'єзоелемент з важелем виконаний у вигляді єдиного елемента, який жорстко кріпиться на рухомому корпусі з можливістю фрикційної взаємодії з провідним елементом п'єзоелектричного лінійного двигуна.

ВИСНОВКИ. Проведено дослідження, що доводить актуальність та доцільність використання п'єзоелектричних двигунів у приладах автоматики та машинобудівних

конструкціях. Початі роботи з досліджень параметрів конструктивного виконання підвищенні на коефіцієнта корисної дії та збільшенні питомої потужності п'єзодвигуна, зменшення його габаритних розмірів, забезпечення зворотного ходу, збільшення ресурсу та надійності двигуна за рахунок використання фрикційного режиму передачі моменту шляхом використання елементів рівноваженості конструкції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пьезокерамические преобразователи: Методы измерения и расчет параметров. Справочник. /Под ред. А.В. Пугачева. Л.: Судостроение, 1984. 256 с.
2. Невлюдов И.Ш., Палагин В.А., Чалая Е.А. «Технологиии микросистемной техники», НТЖ «Технология приборостроения». X., 2014. № 3.
3. Невлюдов И. Ш., Палагин В. А., Чалая Е. А. Технологии микросистемной техники (часть II) // Технология приборостроения. 2015. №. 2. С. 5–10
4. Лавриненко В.В., Карташев И.А., Вишневский В. С. Пьезоэлектрические двигатели. – М.: Энергия, 1980. – 110 с.
5. David H. StJohn, Ma Qian, Mark A. Easton, Peng Cao, and Hildebrand Grain refinement of magnesium alloys // Metallurgical and materials transactions. – Volume 36A, JULY 2005–1669
6. Головин Ю. И. Основы нанотехнологий / Головин Ю. И. – М. : Машиностроение, 2012. – 656 с.
7. Селиванова К. Г. Математическое моделирование электромиографического сигнала / К. Г. Селиванова, О. Г. Аврунин, А. А. Гелетка // Вісник НТУ «ХП». – 2014. – № 36 (1079). – С. 31–39.
8. Comments by University of California [Електронний ресурс] www.dailytechinfo.org/нанотехнологии/
9. Поплавко Ю. М. П'єзоелектрики / Якименко Ю. І., Поплавко Ю. М. – Київ НТУУ «КПІ» 2013. – С. 199–226.
10. Mamontov O. V., Malyk B. O., Tokarieva O. V. Radiation risk management when handling radioactive substances and materials //Вопросы атомной науки и техники. – 2021. – Т. 132. – №. 2. – С. 149–154.
11. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Demska, N., & Starodubcev, N. (2021). SOLVING THE ISSUE OF MODERNIZATION OF PRODUCTION EQUIPMENT USING CYBER-PHYSICAL MANUFACTURING CONTROL SYSTEMS. INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND SCIENTIFIC SOLUTIONS FOR INDUSTRIES, (3 (17), 106–116. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.17.106>.
12. Нефьодов Л. І. Модель нечіткого управління процесом обробки деталей на машинобудівному підприємстві / Л.І. Нефьодов, Н.Ю. Філь, О.В. Токарева // Технология приборостроения. – 2019. – №2. – С. 3–7.
13. N. Stognii and N. Sakhnenko, "Theoretical study of symmetric and antysymmetric plasmons in chains of coupled plasma cylinders," *2012 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)*, 2012, pp. 999–1002, doi: 10.1109/EuCAP.2012.6206187.
14. Vladyslav Yevsieiev, Nataliia Demska. (2021). Analysis of Industrial Inter-net of Things Vulnerability to Cyberattacks. Débats scientifiques et ori-entations prospectives du développement scientifique:collection de papiers scientifiques «ΛΟΓΟΣ» avec des matériaux de la II con-férence scientifique et pratique internationale (Vol.1), Paris,1er octobre 2021. Paris-Vinnysia: La Fedeltà & Plateforme scientifique eu-ropéenne, 2021. P:89–91. DOI:10.36074/logos-01.10.2021.v1.
15. O. Filipenko, O. Chala, V. Bortnikova, O. Sychova and I. Botsman, "Impact of Technological Operations Parameters on Moems Components Formation," *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL)*, 2019, pp. 371–374, doi: 10.1109/CAOL46282.2019.9019570.
14. Чала О. О. Дефектоутворення, як основа Defect Engineering в МЕМС та МОЕМС / О. О. Чала // НТЖ «Технология приборостроения». X., 2020. №1. С. 78–81.

Науковий керівник: Чала Олена Олександрівна, к.т.н., доцент кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки