ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Омеляна Анатолія Васильовича

на тему «Методи та система підвищеної ефективності керування п'єзоелектричним мікроманіпулятором»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань Електроніка та телекомунікації

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації.

Використання п'єзоелектричних двигунів обумовлено їх певними характеристиками, такими як: практично не лімітовані можливості по кроку переміщення, висока швидкість спрацювання, здатні розвивати великі зусилля, відсутність магнітних полів, низьке енергоспоживання, мала схильність до зносу, а також можуть працювати в екстремальних умовах. Перераховані особливості п'єзоелектричних двигунів роблять їх ідеальними для використання в робототехніці, оптичних системах, метрологічних та медичних застосуваннях. П'єзоелектричні двигуни працюють в резонансному або близько до резонансного режимах, а зусилля до ротора передаються за допомогою тертя, що призводить до нелінійних характеристик, таких як повзучість, гістерезис, точність позиціонування. Компенсувати ці недоліки можна за допомогою методів керування. Тому розробка нових та вдосконалення відомих методів керування п'єзоелектричними двигунами є актуальним напрямком досліджень.

Оцінка обгрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

-запропоновано удосконалення методу керування п'єзоелектричним двигуном з прямокутним резонатором на основі широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) шляхом мінімізації швидкості двигуна при його старті та зупинці, що дозволило зменшити рівень вібраційних ефектів в 2-10 разів при роботі в мікродіапазоні.

-запропоновано удосконалення методу керування п'єзоелектричним двигуном, який забезпечив режим керування швидкістю в нанодіапазоні за рахунок використання фіксованої кількості імпульсів збудження (до 20 в послідовності) з регулюванням частоти слідування цих послідовностей, яка формувалася механічним засобом керування мікроманіпулятором (джойстик, трекбол), що дозволило підвищити маневреність керування більше, ніж у 2 рази.

-запропоновано удосконалення методу підвищення точності позиціонування п'єзоелектричного мікроманіпулятора в автоматичному режимі

за рахунок уникнення перерегулювань шляхом зміни переміщення маніпулятора при безперервному русі до крокового режиму руху з подальшою зупинкою в точці позиціонування, що забезпечило підвищення точності позиціонування до рівня (5-10) мкм.

-розроблено математичну модель переміщення робочого інструменту маніпуляційної системи під впливом кутових відхилень Pitch та Yaw, що дозволило алгоритмічно компенсувати дані відхилення для мінімізації похибки позиціонування мікроманіпулятора з врахуванням експериментальних даних, отриманих при дослідженні направляючих двигунів.

-на основі дослідження характеристик п'єзоелектричного двигуна встановлено, що його резонансна характеристика має два резонансні піки, при цьому керування його швидкістю слід здійснювати шляхом регулювання частоти збудження в зоні керування, яка знаходиться на правому схилі правого резонансного піка.

-виконано моделювання механічних коливань п'єзоелектричного резонатора двигуна, що дозволило підтвердити необхідність вибору саме правого електричного резонансного піка двигуна при його керуванні.

Отримані **практичні результати досліджень** полягають в наступному:

1. Розроблено алгоритмічні та програмні рішення реалізації удосконалених методів керування п'єзоелектричним мікроманіпулятором/двигуном, що дозволило досягти діапазон керування по швидкості 140 мм/с - 0.05 мм/с, точність позиціювання з енкодерною версією (5-10) мкм і, як наслідок, в середньому підвищило ефективність мікроманіпуляторної системи по цим параметрам у порівнянні з існуючими рішеннями у 2 рази.

2. Створено засоби контролю параметрів нових п'єзоелектричних двигунів, які дозволяють вимірювати характеристики п'єзоелектричного резонатора, досліджувати точність переміщень лінійних направляючих та здійснювати вимірювання вібраційних ефектів при дослідженні нових методів керування п'єзодвигуном та скоротити час тестування в середньому в 1.5-2 рази.

3. Створено макет системи керування п'єзоелектричним мікроманіпулятором на основі розроблених методів керування лінійним п'єзоелектричним двигуном з підвищеною ефективністю керування в середньому в 2 рази, зокрема:

-діапазон швидкості руху – розширення до рівня (0.05-140) мм/с.

-низький рівень вібрацій – зменшення рівня вібраційних ефектів в 2-10 разів в залежності від діапазону робочої швидкості.

-точність позиціонування – підвищення точності позиціонування до рівня (5-10) мкм.

-маневреність – зменшення часу відклику джойстику з 10 мс до 5 мс, переведення двигуна в режим нанокроків (200-300) нм.

Отримані практичні результати дослідження можуть буди використані при побудові систем, які повинні виконувати точне переміщення об'єктів в мікро- та нанопросторі з високою точністю та швидкодією.

Одержані в дисертації нові результати знайшли застосування на підприємстві ТОВ «Лілея» (м. Київ), що підтверджується відповідним актом від 23.09.2022 про впровадження запропонованих методів керування швидкістю, контролю параметрів п'єзодвигуна, динамічного контролю лінійних параметрів направляючих мікроманіпулятора та розробленого програмного забезпечення Driver Rev.J, Rev.H в системах керування мікроманіпуляторних п'єзоелектричних двигунів LPM-2M, LPM-5 та LPM-1.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Омеляна А.В повністю відповідає Освітньо-науковій програмі «Телекомунікації та радіотехніка» за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка та напрямкам досліджень відповідно до неї.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям кафедри КЕОА «Розробка та проектування мікропроцесорних пристроїв та систем контролю, керування та регулювання широкого призначення».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Омеляна Анатолія Васильовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською.

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 160 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та вказано поставлені задачі дослідження, описано методи дослідження, представлено інформацію про наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, їх апробацію та публікації по роботі.

У першому розділі проведено аналіз мікроманіпуляційної системи, її конструкції, а також основних компонентів. Досліджено основний елемент мікроманіпулятора – лінійний п'єзоелектричний двигун. Детально проаналізовано кожен елемент конструкції двигуна для розуміння функцій, які він виконує. Особливу увагу приділено направляючій двигуна (каретці), від якої залежить лінійність її руху та робочого інструменту маніпулятора, а також п'єзоелектричному резонатору, оскільки розуміння процесів, які відбуваються в ньому при прикладанні різних збуджень (сигналів керування), дало змогу визначити шляхи підвищення ефективності роботи двигуна та

мікроманіпуляційної системи в цілому. Розглянуто принцип формування механічних коливань в п`єзоелектричному елементі, а також види деформацій, які можна збудити в ньому. Розглянуто умови, при яких штовхач ("зуб") п'єзоелектричного резонатора здійснює коливальні рухи по траєкторії еліпсу та за рахунок фрикційного контакту між штовхачем і кареткою відбувається лінійний рух каретки.

В другому розділі розглянуто систему контролю кутової стабільності лінійного п'єзоелектричного двигуна (каретки двигуна), яка забезпечила вимірювання його кутових переміщень Roll(θx), Pitch(θy) та Yaw(θz). Представлено результати проведених досліджень, наведено алгоритмічні та програмні рішення для обробки зображень в створеній системі, які забезпечили вимірювання кутової нестабільності п'єзоелектричного двигуна в режимі реального часу, що дало змогу суттєво скоротити час проведення експерименту. Представлено математичну модель переміщення робочого інструменту маніпуляційної системи під впливом кутових відхилень Pitch та Yaw.

В третьому розділі проведено моделювання механічних коливань п'єзоелектричного резонатора двигуна за допомогою програмного комплексу Comsol Multiphysics. Показано форму та характер механічних коливань п'єзоелектричного резонатора при збудженні в ньому різних мод коливань (а саме першої, другої та результуючої – робочої). Розглянуто процес регулювання зсуву частот резонансних кривих першої та другої мод між собою для забезпечення умови виникнення зсуву між взаємно перпендикулярними механічними коливання штовхача ("зуба") рівною 90° шляхом зміни розмірів довжини та ширини п'єзоелектричного резонатора. Обґрунтовано необхідність вибору саме правого електричного резонансного піка двигуна при його керуванні.

В четвертому розділі проведено удосконалення методів керування п'єзоелектричного двигуна, які забезпечили підвищення ефективності його керування, а як наслідок і п'єзоелектричного мікроманіпулятора в цілому. Наведено результати досліджень п'єзоелектричного двигуна, а саме:

-електричні резонанси мод двигуна (першої, другої та результуючої);

-залежність швидкості двигуна від частоти збудження резонатора двигуна;

-старт-стопна навантажувальна характеристика двигуна (швидкість розгону двигуна і зупинки) в залежності від напрямку руху та прикладеного навантаження при фіксованій частоті збудження (X,Y та Z координат);

-навантажувальні характеристики двигуна в залежності від напрямку руху та прикладеного навантаження (X,Y та Z координат);

-величина кроку двигуна в залежності від частоти збудження та кількості періодів збудження;

-навантажувальні характеристики двигуна (величина кроку при прикладенні навантаження) в кроковому режимі роботи в залежності від кількості імпульсів збудження (X,Y та Z координат).

Наведено розроблені програмно-апаратні рішення реалізації запропонованих удосконалених методів керування п'єзоелектричним мікроманіпулятором та макет системи на їх основі, а також результати їх дослідження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 12 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та Scopus; 1 патент на винахід, що пройшов кваліфікаційну експертизу та безпосередньо стосується наукових результатів дисертації.

Також результати дисертації були апробовані на 5 наукових фахових конференціях.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаціної роботи.

1. Огляд існуючої конструкції мікроманіпуляційної системи в першому розділі перевантажений другорядними деталями, які не відносяться до наступних досліджень.
2. В роботі, на мій погляд, приведено мало інформації про існуючі методи керування п'єзоелектричними двигунами, а також про їх переваги та недоліки. Можливо краще було б додати класифікацію існуючих методів керування п'єзодвигунами.
3. В третьому розділі приведено моделювання механічних коливань п'єзоелектричного резонатора двигуна за допомогою пакету програм Comsol Multiphysics, але бажано було б привести в якому режимі проведено моделювання, а також параметри налаштування вирішувача, розрахункової сітки та загальне вікно результатів моделювання з графічною шкалою деформації.
4. Важливим елементом в ланцюзі керування п'єзоелектричним двигуном є драйвер. Автор роботи багато описує як його налаштовувати, але бажано було б у додатках привести його принципову електричну схему.
5. В основному розділі дисертаційної роботи, а саме, в розділі 4 пункт 4.2.1 стр. 102 багато уваги приділено відомим фактам про керування електродвигуном за допомогою мостової схеми.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Омеляна Анатолія Васильовича на тему «Методи та система підвищеної ефективності керування п'єзоелектричним мікроманіпулятором» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань Електроніка та телекомунікації. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Омелян Анатолій Васильович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Офіційний опонент:

Доцент кафедри
приладобудування, мехатроніки
та комп'ютеризованих технологій
Черкаського державного
технологічного університету,
канд. техн. наук, доцент /_____/ Сергій ФІЛІМОНОВ
(підпис)

Підпис оф. опонента
канд. техн. наук С.О. Філімонова
засвідчую.
Декан факультету електронних
технологій, автотранспорту та
машинобудування,
Черкаського державного
технологічного університету /_____/ Андрій Чорній
(підпис)

М.П. «02» березня 2023 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ, АВТОТРАНСПОРТУ ТА МАШИНОБУДУВАННЯ
05390336