

## **ВІДЗИВ**

офіційного опонента на дисертаційну роботу Осадчука Ярослава Олександровича на тему «Радіовимірювальні прилади на основі частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.08 – радіовимірювальні прилади

### **1. Актуальність теми дисертації**

Бурхливий процес розвитку автоматизації технологічних процесів особливо в промисловості, в яких вимірювання тиску є одним із основних параметрів, вимагає наукових досліджень нових методів вимірювання, створення сенсорів тиску на основі новітніх досягнень нанотехнологій, пошуків нових матеріалів з кращими деформаційними показниками, ніж існуючі матеріали. Це викликає необхідність проведення теоретичних і експериментальних досліджень на вирішення поставлених задач.

Одним із перспективних наукових напрямків, що дозволяє усунути недоліки існуючих сенсорів тиску, є створення радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску, які реалізують принцип перетворення «тиск-частота», на основі використання реактивних властивостей напівпровідникових структур з від'ємним диференціальним опором. Тому дисертаційна робота Я. О. Осадчука, яка направлена на вирішення цих задач, є актуальною.

### **2. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи**

Наукові результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є обґрунтованими та достовірними завдяки коректному використанню фізичних і математичних методів дослідження, що підтверджено наведеним теоретичним матеріалом, результатами експериментів, практичним використанням розробок, апробацією на наукових конференціях.

### **3. Наукова новизна отриманих результатів дослідження**

Вперше запропоновано метод вимірювання тиску на основі тензореактивного ефекту в радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачах тиску з тензочутливими елементами, який відрізняється від існуючих використанням залежності повного опору тензочутливих елементів від тиску, що дозволило перетворювати тиск у частоту, а це, у свою чергу, надало принципову можливість підвищення точності і чутливості вимірювання тиску.

Вперше розроблено математичні моделі тензореактивного ефекту в тензочутливих діодах, біполярних та польових транзисторах, які відрізняються від існуючих тим, що в них враховано залежності параметрів діодів, біполярних та польових транзисторів від тиску, що лягло в основу розрахунку повного опору тензочутливих елементів від тиску.

Теоретично встановлено і експериментально підтверджено залежності вихідної частоти радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів від тиску, які відрізняються від існуючих тим, що тиск перетворюється у вихідну частоту, що дозволило створити радіовимірювальні прилади визначення м'язової пам'яті та моніторингу фізичної підготовки спортсменів з покращеними метрологічними параметрами.

Розроблено математичні моделі радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску, в яких на відміну від існуючих враховано вплив тиску на елементи неבלінійних еквівалентних схем приладів на основі транзисторних структур з від'ємним диференціальним опором, що дало можливість отримати функцію перетворення і рівняння чутливості.

#### **4. Цінність дисертаційної роботи для науки**

У дисертації запропоновано нові теоретичні підходи, що приводять до технічних рішень, які дозволяють створити радіовимірювальні частотні параметричні мікроелектронні перетворювачі тиску і на їх основі радіовимірювальні прилади визначення м'язової пам'яті та моніторингу фізичної підготовки спортсменів стрільців з лука і підвищити таким чином показники пристроїв вимірювання тиску. Цим і визначається цінність дисертації для науки.

#### **5. Практична цінність отриманих результатів дослідження**

Практична цінність роботи полягає у наступному:

- розроблено радіовимірювальні багатоканальні прилади моніторингу фізичної підготовки та м'язової пам'яті спортсменів стрільців з лука на основі розроблених радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску, що дозволило підвищити визначення силу натягу плечей лука, розподілу навантаження на пальці спортсменів, кількість спроб сили натягу, які лежать в заданих межах  $\pm 0,025\%$ ;
- розроблено радіовимірювальні частотні параметричні мікроелектронні перетворювачі, в яких тензочутливими елементами виступали резистивні, ємнісні елементи, діоди, біполярні та польові транзистори, при цьому чутливість перетворювачів складала від 0,35 кГц/кПа до 2,85 кГц/кПа в діапазоні тисків від 10 кПа до 200 кПа;

- створено принципові електричні схеми, блок-схеми, конструкції радіовимірювальних приладів визначення м'язової пам'яті та моніторингу фізичної підготовки спортсменів стрільців з лука, а також радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску;
- розроблено програмне забезпечення для розрахунку характеристик багатоканальних радіовимірювальних приладів визначення м'язової пам'яті та моніторингу фізичної підготовки спортсменів стрільців з лука, а також метрологічних параметрів радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску;
- результати роботи впроваджено у Федерації стрільби з лука України в національній збірній України зі стрільби з лука та навчальний процес кафедри радіотехніки Вінницького національного технічного університету.

## **6. Структура та зміст дисертації**

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Зміст дисертації відображає мету роботи, основні завдання, проведені теоретичні та експериментальні дослідження, отримані науково-технічні результати прикладного характеру.

У вступі обґрунтовано актуальність поставлених в дисертації задач, достатньо чітко подано мету, завдання дослідження, наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів та інші дані згідно з чинними вимогами до оформлення дисертацій.

У першому розділі проведено порівняльний аналіз сучасного стану розвитку методів і приладів вимірювання тиску. Розглянуто основні параметри, метрологічні характеристики, переваги та недоліки різних конструкцій сенсорів тиску. Запропоновано класифікацію частотних сенсорів тиску. Обґрунтовано вибір базового принципу вимірювання тисків, в основі якого лежить перетворення тиску у частоту. В результаті аналізу ряду наукових робіт з'ясовано, що підвищити чутливість перетворення і зменшити похибки вимірювання тиску можливо шляхом розроблення радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску. Результатом першого розділу є вибір напрямку та формування задач подальших досліджень.

У другому розділі дисертації запропоновано метод вимірювання тиску на основі тензореактивного ефекту в тензочутливих елементах і подано дослідження характеристик радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску з тензочутливими діодними, резистивними та ємнісними елементами.

Теоретично і експериментально обґрунтовано метод вимірювання тиску на основі математичної моделі тензореактивного ефекту в напівпровідниковому

тензочутливому діоді, яка описує залежність його повного опору від дії тиску. Зміна дійсної і уявної складових повного опору від дії тиску визначає залежність вихідної частоти автогенераторних радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів від дії тиску.

Розроблено математичні моделі і досліджено характеристики радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску на основі тунельно-резонансного діода, а також на основі тензочутливих резисторів, тензорезистивних мостів і тензочутливих конденсаторів.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено розробленню математичних моделей тензореактивного ефекту в тензочутливих біполярних і польових транзисторах, а також дослідженню характеристик радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску з тензочутливими біполярними та польовими транзисторами.

Математичну модель тензореактивного ефекту в біполярних транзисторах складено на основі малосигнальної еквівалентної схеми, що дало можливість розрахувати і експериментально перевірити залежність повного опору на електродах емітер-колектор від дії тиску. Оскільки польовий транзистор з індукованим каналом працює в лінійному режимі і режимі насичення, то залежність складових повного опору на електродах виток-стік від дії тиску розраховано і експериментально перевірено для цих двох режимів.

Запропоновано схеми і досліджено характеристики автогенераторних параметричних перетворювачів тиску з тензочутливими біполярними транзисторами, двоколекторним біполярними транзисторами і двостоковими польовими транзисторами з активними і пасивними індуктивними елементами коливальних контурів автогенераторних перетворювачів тиску.

В четвертому розділі дисертації подано результати розроблення і дослідження багатоканальних радіовимірювальних приладів визначення м'язової пам'яті та моніторингу фізичної підготовки спортсменів стрільців з лука на основі створених радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску, описано структуру приладів, схемотехнічні та програмні рішення. Проведено оцінювання метрологічних параметрів перетворювачів тиску.

Створено принципіві схеми, блок-схеми і конструкції багатоканальних радіовимірювальних приладів. Прилади призначено для аналізу і визначення основних характеристик системи «лук-стрілок» в реальному масштабі часу (80-100 вимірювань за 1 сек.) по 9 паралельним каналам і контролю 11 параметрів спортсмена при його стрільбі з лука.

Розроблені радіовимірювальні прилади дозволили підвищити точність визначення сили натягу плечей лука, розподіл навантаження на пальці спортсмена та кількості спроб сили натягу, які лежать в заданих межах  $\pm 0.025\%$ . В роботі виділено основні похибки радіовимірювальних частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску, встановлено значення граничної сумарної похибки вимірювання тиску, що складає  $\pm 0,36\%$ .

#### **7. Повнота висвітлення результатів у наукових працях і особистий внесок здобувача**

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 32 наукових працях. Серед них 5 статей у науково метричній базі Scopus, 7 статей у фахових виданнях з переліку ВАК України, 12 статей у науково-технічних журналах та збірниках праць науково-технічних конференцій (6 статей у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних), отримано 8 патентів на корисні моделі України. Аналіз внеску автора в публікації з питань, висвітлених у дисертації, показав, що внесок Осадчука Я.О. є суттєвим.

#### **8. Відповідність автореферату змісту дисертаційної роботи**

Автореферат повністю висвітлює зміст дисертаційної роботи, її мету та наукову новизну. В ньому подано коротку інформацію про кожний розділ дисертації, а також інші необхідні дані. Оформлення дисертації та автореферату відповідають вимогам МОН України.

#### **9. Загальні зауваження**

1. Перший розділ дисертації можна значно скоротити не розглядаючи детально різноманіття конструкцій сенсорів тиску.
2. Не обґрунтовано чому для перетворювачів тиску з різними типами тензочутливих елементів отримано різні функції перетворення.
3. Не зрозуміло, чому автор обрав малосигнальну модель біполярного транзистора для розрахунку приросту повного опору від тиску?
4. Не визначено яким чином компенсується вплив температури навколишнього середовища на похибки вимірювання тиску?
5. Не зрозуміло, яким чином функції перетворення розроблених приладів залежать від напруги керування?
6. В тексті роботи зустрічаються неточні вирази, описки.

#### **10. Загальна оцінка дисертації**

Виходячи з розгляду дисертації вважаю, що зроблені зауваження не стосуються її принципів положень. За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною і ступенем обґрунтованості наукових

положень та практичною цінністю рекомендацій дисертація Осадчука Ярослава Олександровича "Радіовимірвальні прилади на основі частотних параметричних мікроелектронних перетворювачів тиску" є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.11.08 – радіовимірвальні прилади і вимогам пп. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", а її автор, Осадчук Ярослав Олександрович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.08 – радіовимірвальні прилади.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, доцент,  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
професор кафедри автоматизації  
експериментальних досліджень

