

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Зимогляда Андрія Юрійовича

«Математичне моделювання імпульсного перетворювача для керування термічним випаровувачем з нестационарним навантаженням», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність обраної теми досліджень.

Сучасна промисловість використовує широкий спектр складних фізико-хімічних процесів, серед яких чільне місце посідають процеси нанесення плівок в вакуумі. Серед них найбільш поширеним наразі є процес нанесення плівок і покриттів методом термічного випаровування у вакуумі. Термічним випаровуванням металу у вакуумі створюють діелектричні покриття та покриття, що проводять струм в мікроелектроніці, просвітлюючі і дзеркальні покриття в оптиці, прозорі покриття, що проводять струм в сенсорних екранах, функціональні покриття та інші.

Найбільшу складність в керуванні потужністю термічним випаровувачем вносить вкрай нелінійна поведінка електричного опору нагрівача. Це зумовлено одразу багатьма факторами: зміна опору від окислення, зміна опору внаслідок Джоулевого тепла, зміна фазового стану нагрівача, хімічна взаємодія з металом, що випаровується, фазовий перехід та подальше випаровування металу, що знаходиться на самому випаровувачі.

В дослідницькій та лабораторній практиці виникає необхідність у випаровуванні малих об'ємів речовини, що потребує малих нагрівачів з тонкого металу. При цьому до усіх вище перерахованих факторів додається малий характерний час реакції нагрівача на подану потужність внаслідок малої теплової інертності. Ці фактори в свою чергу ускладнюють створення однорідного потоку випарування речовини, а також може призвести до виходу

з ладу нагрівача.

До актуальних завдань розвитку методів керування термічним випаровувачем відноситься реалізація різних режимів роботи в різних робочих діапазонах, поглиблене дослідження характеристик фізичних процесів у них, створення автоматизованих систем керування пристроями. Вирішення цих завдань супроводжується активним використанням математичного моделювання та чисельних методів.

В той же час розвиток методів керування термічним випаровувачем вакуумі, а також моделей імпульсних перетворювачів, що розраховані на навантаження у виді нагрівача, відбувається не достатньо швидко. Дисертація Зимогляда А.Ю. спрямована саме на вдосконалення методів керування термічним випаровувачем, на основі математичних моделей імпульсних перетворювачів. Тому задача дисертаційної роботи є актуальною. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з планом науково-дослідних робіт Національної металургійної академії України у межах наступних договорів на замовлення Міністерства освіти і науки України:

1. «Математичне забезпечення діагностики розладнань складних систем», номер державної реєстрації 0116U008354;
2. «Методи моделювання, ідентифікації та адаптації систем складної та хаотичної динаміки», номер державної реєстрації 0116U008350.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна.

У дисертації приділено достатньо уваги обґрунтуванню наукових положень, висновків і рекомендацій.

У роботі було проаналізовано літературні джерела та встановлено, що існуючі методи керування потужністю, що використовуються у виробництві, а саме: трансформаторні регулятори, тиристорні регулятори, регулятори на топологіях Half-bridge та Full-bridge, розраховані на великий об'єм речовини,

що випаровується, та використання потужних нагрівачів з високою тепловою інертністю.

Для керування потужністю малих нагрівачів перелічені методи регулювання не доцільні, тому в роботі доказана можливість використання в якості регулятора потужності імпульсного перетворювача топології Buck.

Математичним моделюванням DC/DC перетворювачів приділяли увагу такі вчені, як: S. Roberts, M. Kazimierzuk, W. R. Erickson, M.B. Ferrera, E. Duran, S. Perez, J.M. Andujar. Проте моделювання роботи перетворювача на нелінійне навантаження малого опору з високим вихідним струмом, що характерне для живлення термічного випаровувача, ними не проводилося.

В роботі вперше запропоновано та обґрунтовано поступове спрощення моделі перетворювача топології Buck, що дозволяє значно зменшувати об'єм обчислювальних ресурсів при моделюванні та визначити умови, за якими це спрощення допустиме.

Вперше розроблено метод адаптації параметрів системи управління нагрівачем при термічному випаровуванні у вакуумі, який дозволяє значно знизити похибку регулювання при різких змінах параметрів завдання та системи у цілому.

Також вперше встановлено залежність між тиском при нанесенні металевих покриттів до коефіцієнту тертя цих поверхонь, залежність фрактальної розмірності від коефіцієнту тертя, що дозволяє, з одного боку, задавати параметри покриття при його створенні, з іншого - оцінювати деякі механічні властивості покриттів за їх мікрозображенням.

Удосконалено математичну модель імпульсного перетворювача, яка на відміну від тих, що існують, враховує більше нелінійних ефектів, що дозволяє коректно описувати динаміку перетворювача при роботі на навантаження з низьким та нестабільним опором.

Подальший розвиток отримав метод управління нагрівачем при термічному випаровуванні у вакуумі на підставі розробленої моделі

перетворювача топології Buck, який дозволяє задавати заданий профіль напруги, струму та потужності (а непрямо і температури) за умов низької теплової інерції, малого та суттєво нестационарного опору нагрівача.

Вдосконалено чисельний метод визначення фрактальної розмірності зображень поверхонь з мікроскопу, який дозволяє уникнути похибок, пов'язаних з нерівномірністю освітлення робочого поля, а також автоматично визначати рівень бінарзації.

Автора відрізняє вдумливий та старанний підхід щодо виконання етапів роботи, уміння своїми руками виготовити обладнання, вдосконалити, розробити електронну систему керування, провести експерименти, проаналізувати їх результати. Одержані результати було в достатній мірі висвітлено в фахових наукових виданнях, авторському свідоцтві, їх достовірність і новизна не викликають сумнівів.

Практичне значення результатів роботи.

На основі розробленої в дисертаційній роботі математичної моделі імпульсного перетворювача та методів цифрового керування термічним випаровувачем у вакуумі було отримано такі практичні результати:

- побудовано пристосування для термічного випаровування у вакуумі для вакуумного поста ВУП – 4;
- побудовано керований імпульсний регулятор топології Buck для керування потужністю термічного випаровувача у вакуумі, а також розраховані усі його компоненти;
- створено апаратно – програмну систему, яка відповідає за збір даних з вакуумного поста та вимірюючий комплекс на основі INA226;
- на основі методів керування, запропонованих в дисертаційній роботі, була розроблена система керування, яка містить керований імпульсний регулятор топології buck, вимірюючий комплекс на основі INA226 та керуючу плату на основі STM32F407VBT. Розроблена система управління дозволяє

підтримувати не тільки стабільну потужність, а й вихідний струм або напругу.

- запропоновані чисельні методи обробки мікроскопічних зображень поверхні зразків, що дозволяють зменшити вплив систематичних та випадкових похибок, мають перспективу підвищити імовірність встановлення дійсного ступеню дефектності поверхні та ідентифікувати точкові дефекти у напівпровідникових матеріалах, систематизувати дані щодо структури композиційних матеріалів та металевих сплавів.

Результати роботи були впроваджені: в ТОВ «АНДЕЛ» (акт впровадження від 10 липня 2019 року); в ТОВ «ЕКОPLAST STANCL» (акт впровадження від 22 липня 2019 року) та в ТОВ «ЕКОPLAST Engineering» (акт впровадження від 24 червня 2019 року).

Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому.

Робота у цілому має завершений вигляд. Мета та завдання дослідження досягнуті. Зміст та об'єм досліджень дисертації у повній мірі розкривають її сутність.

Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Зміст автореферату відповідає змісту дисертації. Автореферат не містить надмірних подробиць та не містить інформації, якої немає в дисертації. Автореферат оформлено відповідно до вимог і рекомендацій МОН України.

Повнота викладених результатів дисертації в опублікованих працях.

Положення дисертації у повній мірі викладені в 8 статтях у наукових фахових виданнях України з технічних наук, 6 тезах у збірниках доповідей на наукових конференціях, 4 працях, що додатково відображають результати дисертації. Обсяг та кількість публікацій відповідають вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Зауваження до дисертації.

1. Недостатньо уваги приділено порівнянню існуючих моделей із запропонованими.

2. Занадто уваги приділено опису схемотехнічної реалізації апаратного комплексу та устаткуванню для термічного випаровування.

3. У четвертому розділі не повною мірою доведено доцільність локальної бінаризації мікрофотографій зображень.

4. Відсутність листу переліку умовних позначень, прийнятих у роботі, наявність деяких помилок та помарок в позначенні розмірностей фізичних величин (стор. 31, 32, 38, стор 5 автореферату), що утруднює сприйняття тексту.

Вказані зауваження не мають принципового характеру, та не применшують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Загальний висновок.

У дисертації Зимогляда Андрія Юрійовича вирішено актуальне наукове завдання - побудова математичної моделі імпульсного перетворювача для керування термічним випаровувачем у вакуумі з врахуванням нелінійних ефектів, що дозволяє коректно описувати динаміку роботи перетворювача при навантаженні з низьким та нестабільним опором.

Запропоновані дисертантом чисельні методи обробки мікроскопічних зображень поверхні зразків мають перспективу використання у різних галузях матеріалознавства, що дозволить підвищити рівень результатів, що одержуються, та ідентифікувати нові види структурних артефактів.

За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 18 наукових праць, серед яких 12 статей у наукових фахових виданнях з технічних наук, які рекомендовано Міністерством освіти і науки України, 5 - в збірниках тез доповідей наукових конференцій, 1 теза в іншомовному збірнику тез доповідей. Отримано авторське свідоцтво на комп'ютерну програму

«Imghed» (свідоцтво №79845 від 20.06.2018).

Дисертація є завершеною науковою роботою, виконана на належному науковому рівні, має практичне значення, відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567, включно з подальшими змінами до цих вимог, а автор дисертаційної роботи, Зимогляд Андрій Юрійович, заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри електронних систем
Запорізького національного університету

 Т.В. Критська

Підпис д.т.н., проф. Критської Т.В. засвідчую
Вчений секретар
к.філол.н., доцент



 О.А. Проценко

Відгук надійшов
у Раду: 05.06.2018
Вчений секретар: 