

ВІДГУК

офіційного опонента Богуславського Леоніда Зіновійовича на дисертацію Іванова Володимира Михайловича „Удосконалення високовольтних імпульсних трансформаторів з напівпровідниковими комутаторами для електротехнологічних установок”, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.13 – "Техніка сильних електричних та магнітних полів"

Стан проблеми і актуальність обраної теми

Останні 10-15 років активно розвиваються такі напрямки використання сильних імпульсних електричних полів, як технології на основі імпульсного коронного розряду, а саме мікробіологічне знезараження харчових продуктів та води, деструкція шкідливих газових викидів, електрофізіотерапія тощо. Для одержання та ефективного використання необхідних для розвитку цих напрямків імпульсних полів потрібні електротехнологічні установки з новими параметрами технологічних імпульсів. У деяких потужних високовольтних і імпульсних установках робота імпульсного пристрою практично неможлива без імпульсного трансформатора. Застосування імпульсного трансформатора у зв'язці з напівпровідниковими комутаторами в таких установках дозволяють використовувати можливості нових електротехнологічних процесів, що засновані на використанні прямої дії на оброблюваний матеріал сильних електричних та магнітних полів та застосуванні плазми газового імпульсного коронного розряду для плазмохімічних перетворень газового середовища і матеріалів. Актуальність теми обґрунтовується також її зв'язком з роботами, що виконуються у науково-дослідному та проектно-конструкторському інституті «Молнія» НТУ «ХП», потребами у даних розробках Публічного акціонерного товариства "Ясинівський коксохімічний завод" (м. Макіївка).

Оцінка змісту дисертації, висвітлення ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в ній

Розгляд дисертації та автореферату до неї показав, що вона складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Список використаних літературних джерел містить 71 найменування.

Вступ містить всі необхідні складові, наявності яких вимагають керуючі документи Департаменту атестації кадрів: оцінку стану проблеми; актуальність теми; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мету та задачі дослідження; наукову новизну одержаних результатів та їх практичне значення; особистий внесок здобувача; апробацію результатів дисертації; відомості про публікації. У кожній складовій вступу повною мірою висвітлюється конкретний її зміст відносно дисертації здобувача.

Перший розділ аналітично висвітлює існуючі принципи і схеми імпульсних джерел високої напруги з напівпровідниковими комутаторами, режими їх роботи для живлення нових імпульсних високовольтних електрофізичних пристроїв, а також імпульсних трансформаторів, які використовуються або можуть бути використані в електротехнологічних установках. Визначено коло задач, що потребують подальшого вирішення. З моєї точки зору, критичний огляд, представлений у першому розділі, виконано на високому рівні.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню вибраного напрямку досліджень, охарактеризовано методики досліджень. У колах з імпульсними трансформаторами у зв'язці з напівпровідниковими комутаторами, розташованими з боку низьковольтної обмотки імпульсного трансформатора, здійснено вибір напрямів і методів дослідження процесів, що протікають в цих електричних колах, виходячи з особливостей високовольтних імпульсних трансформаторів для електротехнологічних установок. Отримано аналітичні співвідношення для імпульсних трансформаторів, які можуть бути використані в якості методики інженерних розрахунків для збільшення

напруги при заданих параметрах імпульсу. Обґрунтовано методи експериментальних досліджень і комп'ютерного моделювання процесів в імпульсних трансформаторах.

Третій розділ містить результати розробок і експериментальні результати для удосконалених високовольтних імпульсних трансформаторів, яке полягає в тому, що частини як вторинної, так і первинної обмотки рознесено і розташовано не на одному загальному стрижні, а на чотирьох хрестоподібно розташованих частинах розщепленого стрижня магнітопроводу. Запропонована схема з використання двох удосконалених імпульсних трансформаторів, з коефіцієнтом трансформації 10,3 у кожного, дозволила створити компактне трансформаторне імпульсне джерело напруги з часом наростання імпульсів ≈ 250 нс на навантаженні ємністю 1 нФ і напругою до 1 МВ. Встановлено, що для розроблених, створених і випробуваних таких високовольтних імпульсних трансформаторів (на 100 кВ і 1000 кВ) для імпульсного мегавольтного генератора вдалося зменшити результуючу індуктивність розсіювання цих трансформаторів. При цьому індуктивність в розрядному контурі установки з паралельно з'єднаними чотирма обмотками кожного з двох імпульсних трансформаторів зменшилася в три рази.

Четвертий розділ складається з аналізу роботи та експериментальних досліджень високовольтних імпульсних трансформаторів у зв'язці з напівпровідниковими комутаторами в електричних колах електротехнологічних установок з великою частотою проходження імпульсів.

На базі виконаних досліджень розроблено і створено надійно працюючий компактний генератор на робочу напругу 30 кВ на основі імпульсного трансформатора, характерною рисою якого є те, що силовий генератор початкових імпульсів, високовольтний імпульсний трансформатор, електронна схема управління і високовольтне навантаження – реактор з імпульсним коронним розрядом – розташовані в одному корпусі в

безпосередній близькості один від одного. У компактному генераторі на основі високовольтного імпульсного трансформатора досягнута частота проходження імпульсів до 50 кГц.

Установлено, що при однаковій зарядній напрузі при роботі *IGBT* ключа в режимі замикання амплітуда напруги на реакторі (ємнісне навантаження) не може перевищувати величини подвоєної зарядної напруги на первинній накопичувальній ємності, помноженої на коефіцієнт трансформації, а при роботі *IGBT* ключа в режимі розмикання амплітуда напруги на ємнісному навантаженні за рахунок ефекту індуктивного накопичування енергії може істотно перевищувати цю величину і залежить від амплітуди струму в момент розмикання комутатора, параметрів імпульсного трансформатора та ємності навантаження.

Експериментально досліджено роботу високовольтного імпульсного трансформатора в компактному генераторі високовольтних імпульсів з *IGBT* комутатором та встановлено, що час наростання напруги на реакторі до максимуму менше при роботі *IGBT* комутатора в режимі замикання, а час наростання струму на реакторі до максимуму менше при роботі *IGBT* ключа в режимі розмикання.

Встановлено, що використання напівпровідникових ключів в режимі розмикання з малим часом комутації (десятки-сотні нс) дозволило отримати в навантаженні імпульсного трансформатора (реакторі ІКР) імпульси напруги з високою швидкістю наростання та підвищити вдвоє напруженість електричного поля.

Основні результати та висновки показують, що задачі, яким присвячена дисертація, – удосконалення імпульсних трансформаторів генераторів високовольтних імпульсів електротехнологічних установок при їх мінімальних габаритах для отримання максимальних по амплітуді напруги і струмів для створення сильних імпульсних електричних та магнітних полів при мініальному часі наростання з використанням напівпровідникових комутаторів, вирішена. Висновки повністю відповідають поставленим у

дисертації задачам і підтверджують успішне їх розв'язання. В процесі виконання дисертаційної роботи розроблено, виготовлено та успішно випробувано ряд нових оригінальних імпульсних трансформаторів. Значна кількість з них вже впроваджена у Замовників.

Висновки в цілому переконливо і концентровано висвітлюють основні наукові та практичні результати, одержані здобувачем.

У дисертації наведено у цілому завершену науково-дослідну роботу, в якій одержано конкретні науково-практичні результати, що пройшли апробацію на міжнародних конференціях і викладені у 21 публікації, зокрема, і в міжнародних виданнях.

Дисертація має ряд недоліків.

1. На мою думку, текст дисертації перенасичено подробицями умов і результатів експериментів. Це затіняє одержані суто наукові результати (хоча слід зазначити, що дисертація Іванова В. М. переважно і є експериментальною науковою роботою).
2. В розділі 2 наведено ряд цікавих інженерних методик розрахунку імпульсних трансформаторів, значимість яких зовсім не відображено ні в авторефераті ні в висновках по роботі.
3. В розділі 3 наведені дані по вдосконаленню конструкції імпульсного трансформатора, але експериментальні дані наведені для використання його без зв'язку з напівпровідниковими комутаторами. Тому не зрозуміло, чи будуть ці вдосконалення актуальні з напівпровідниковими ключами.
4. В розділі 3 не приведені схеми антенних випромінювачів, тому наведені осцилограми напруги з ТЕМ-датчиків важко аналізувати. Також не представлено тип чи схему цих датчиків. Також не зрозуміло, як експериментально проводилась синхронізація 16-ти каналів імпульсного генератора.
5. З розділу 4 не зрозуміло, що дало змогу низьковольтну та високовольтну частину генератора розмістити в одному корпусі, і навіщо виникла така необхідність.

6. З тексту дисертації, а особливо з тексту автореферату, не зовсім зрозуміло, як реалізовано принцип рекуперації енергії в генераторах з імпульсними трансформаторами на ємнісному навантаженні, яке автор виніс в наукову новизну дисертаційної роботи.

7. В п. 4.5. з назвою «Экспериментальные исследования электромагнитной стойкости ...» не представлені фактичні результати експериментальних досліджень, а тільки можливі методи по виконанню електромагнітної сумісності.

8. Висновок 1 по дисертаційній роботі «Безпосереднє застосування існуючих принципів і схем джерел високої напруги і напівпровідникових комутаторів і їх режимів роботи для живлення нових високовольтних електрофізичних установок можливо тільки після удосконалення таких пристроїв з урахуванням вимог до конкретної електротехнології» занадто узагальнений.

9. В акті впровадження результатів Ясинівського коксохімічного заводу представлена інша назва дисертаційної роботи Іванова В. М.

10. Текст дисертаційної роботи має ряд неточностей (с. 74 однаковою буквою позначено електричний та магнітний опір, с. 74 «модель індуктора» замість «модель трансформатора», с. 83 «во вторичных обмотках в трансформаторах одиночном», с.87 «одновитковое напряжение». В тексті автореферату с.8 «С – еквівалентна ємність розрядного контуру, склала $4,37 \cdot 10^{-5}$ Гн.»

Наведені недоліки не є суттєвими.

Текст дисертації викладено грамотною російською мовою, подекуди мають місце стилістичні огріхи.

Незважаючи на вказані вище недоліки, дисертаційна робота містить вагомні наукові і технічні результати.

Зміст автореферату цілком відповідає основним положенням дисертації.

Дисертаційна робота Іванова В. М. є завершеною працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, що у сукупності є суттєвими для поліпшення технологічних і

експлуатаційних характеристик електротехнологічних установок. Дисертація відповідає спеціальності 05.09.13 – "Техніка сильних електричних та магнітних полів" і вимогам п.п. 9, 11 і 12 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567, а здобувач Іванов В. М. заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент

Завідувач відділом імпульсних
електротехнічних систем
Інституту імпульсних процесів і
технологій НАН України,
кандидат технічних наук, доцент



Л. З. Богуславський

Автентичність підпису завідувача відділом ІПТ НАН України, к.т.н.,
доцента Богуславського Л.З. засвідчую:

Вчений секретар ІПТ НАН України, к.т.н.



Сінчук А.В.