ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Мугенова Даніїла Джалільовича
на тему «Частотно-регульований електропривод підвищеної радіаційної стійкості для вантажопідйомних машин сховища радіоактивних відходів», представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Актуальність теми дисертації

На сьогоднішній день важливою є задача захоронення радіоактивних відходів (зберігання та утилізація відпрацьованого радіоактивного палива, радіаційно заражених матеріалів, речовин та об'єктів). Для вирішення цієї задачі в Чорнобильській зоні відчуження споруджено комплекс приповерхневих сховищ, в якому використовується підйомно-транспортне обладнання, яке оснащене мостовим краном. Механізми мостового крана приводяться в рух засобами електричних приводів (за схемою перетворювач частоти з ланкою постійного струму – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором). Електричні приводи крану знаходяться в агресивному середовищі радіаційного випромінювання. Встановлено, що найбільш чутливими до радіації елементами електроприводу є напівпровідникові пристрої.

З огляду на вищезазначене, можна стверджувати, що для врахування радіаційних ефектів, розробка математичних моделей напівпровідникових силових каналів перетворювача частоти із драйверами на основі біполярних і польових транзисторів, а також атмосферного оптичного каналу зв'язку, та обґрунтування структури електроприводу є вкрай важливими задачами. Відповідно, робота Мугенова Д.Д., яка присвячена дослідження впливу іонізуючої радіації на систему електроприводів вантажопідйомних машин сховища радіоактивних відходів для підвищення радіаційної стійкості його напівпровідникових складових та атмосферного оптичного каналу зв'язку, є *важливою та актуальною*.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Виконані в дисертаційній роботі дослідження базуються на застосуванні теорії електропривода, теорії електричних кіл, теорії штучних нейронних

мереж, із використанням комп'ютерного моделювання для дослідження розроблених імітаційних моделей.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розроблено наукові підходи для оцінки радіаційної стійкості частотно-регульованого електроприводу вантажопідйомних машин сховища радіоактивних відходів.
2. Отримали подальший розвиток математичні моделі силових напівпровідникових каналів перетворювача частоти.
3. Встановлено, що схема перетворювача частоти із драйверами на основі біполярних транзисторів стійкіша до впливу іонізуючого випромінювання порівняно із драйверами на основі польових транзисторів.
4. Обґрунтовано особливості використання атмосферного оптичного каналу зв'язку в умовах впливу іонізуючої радіації, що дає змогу покращити якість передачі даних при невтручанні у внутрішню структуру передавача та приймача.
5. Розвинуто науковий підхід до процедури демодуляції сигналів керування, шляхом застосування штучної нейронної мережі, що дозволило знизити коефіцієнт бітових помилок на всьому діапазоні відношення сигнал-шум.

Поставлені наукові задачі в дисертаційній роботі виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Практичні результати роботи полягають в тому, що розроблена імітаційна модель силового напівпровідникового каналу перетворювача частоти із ланкою постійного струму та розроблено технічне рішення підвищення якості передачі даних в атмосферному оптичному каналі зв'язку, які дозволяють досліджувати вплив величини поглиненої дози на амплітуду вихідної напруги та підвищити якість передачі даних, відповідно, а також те, що запропоновано рекомендації щодо підвищення радіаційної стійкості частотно-регульованого електроприводу та досягнуто зниження коефіцієнта бітових помилок атмосферного оптичного каналу зв'язку.

Основні наукові положення за результатами наукових досліджень в повній мірі відображені у загальних висновках роботи. Сформульовані в роботі висновки базуються на критичному аналізі отриманих результатів, є теоретично обґрунтованими та підтверджуються результатами проведених моделювань.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Мугенова Д.Д. повністю відповідає стандарту вищої освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею та свідчить про наявність особистого внеску здобувача у дослідженнях впливу іонізуючої радіації на систему електроприводів вантажопідйомних машин сховища радіоактивних відходів.

Зміст дисертації, структура, послідовність та повнота розв'язаних задач цілком відповідають темі роботи.

Під час вивчення та аналізу дисертаційної роботи випадків порушення академічної доброчесності виявлено не було, дисертаційна робота Мугенова Д.Д. не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї та результати із наукових робіт інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою, викладання матеріалів є послідовним, обґрунтованим, стиль мовлення є науковим із використанням загальноприйнятої термінології.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертації 176 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, розкрито стан науково-технічної проблеми, сформульовано мету та завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналіз проблем пов'язаних із застосування частотно-регульованих електроприводів середньої потужності в умовах впливу іонізуючого випромінювання, розглянуто структуру системи електроприводів мостового крану, проведено огляд конструкції та матеріалів з яких складається кожен з елементів електроприводу, та виявлено, що напівпровідникові пристрої мають найменшу стійкість до іонізуючого випромінювання; сформульовано задачі, які потребують вирішення.

В другому розділі розглянуто структуру силового напівпровідникового каналу частотно-регульованого електроприводу та виконано огляд існуючих

схем заміщення біполярних транзисторів з ізольованим затвором. Із численної кількості схем заміщення, деякі розглянуто більш детально, в результаті чого, схема без паразитного транзистора прийнятна для подальшого дослідження.

Обрану схему заміщення змодельовано в середовищі LTspice. Отримані вольт амперні та передаточні характеристики були порівняні із заводськими характеристиками прототипу. В результаті порівняння виявлено, що обрана схема заміщення та синтезована на її основі модель є задовільними.

Побудовано схеми заміщення силового напівпровідникового каналу частотно-регульованого електроприводу з комплементарними парами біполярних та польових транзисторів, із врахуванням схеми заміщення біполярного транзистора з ізольованим затвором.

В третьому розділі розглянуто вплив іонізуючого випромінювання на окремі напівпровідникові елементи силового каналу перетворювача частоти та визначено найбільш радіаційно чутливі напівпровідникові пристроями в складі перетворювача частоти, які впливають на працездатність системи. Обрано прототипи напівпровідникових елементів силового каналу перетворювача частоти для побудови моделі.

Синтезовано та досліджено математичні моделі силового напівпровідникового каналу перетворювача частоти з польовими транзисторами драйверів та із драйверами на основі біполярних транзисторів. Виконано теоретичне дослідження впливу іонізуюче випромінювання на силовий канал напівпровідникового перетворювача в складі електроприводу підйому мостового крана. Виявлено, що схема із драйвером на основі біполярного транзистора є радіаційно стійкішою.

Досліджено математичну модель силового каналу перетворювача частоти задля визначення напівпровідникового пристрою, радіаційна зміна параметрів якого чинить найсуттєвіший вплив на роботу схеми. Визначено, що найістотніший вплив на радіаційну стійкість схеми заміщення силового каналу перетворювача частоти вносить оптрон. Для підвищення радіаційної стійкості системи рекомендується замінити оптрон в складі драйвера на радіаційно нечутливі пристрої гальванічної розв'язки та передачі сигналів, наприклад, сигнальними трансформаторами.

В четвертому розділі розглянуто функціональну схему і технічні характеристики цифрового атмосферного оптичного каналу зв'язку в складі системи управління електроприводами мостового крану сховища радіоактивних відходів, на її основі побудовано імітаційну модель в середовищі MATLAB/Simulink. Дані дослідження синтезованої моделі порівняні із відомими результатами. Запропоновано застосування штучної нейронної мережі в складі демодулятора, що дозволило оцінювати сигнал в контексті часу та вірно розпізнавати інформацію при низьких значеннях відношення

сигнал/шум. Для зниження коефіцієнта бітових помилок надано ряд рекомендацій.

Висновки в повній мірі висвітлюють отримані у роботі наукові та практичні результати.

В додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертаційної роботи, додаткові матеріали та акт впровадження.

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 7 наукових публікаціях здобувача – статтях у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Науковий рівень публікацій здобувача відповідає рівню доктора філософії (Ph.D.), а в самих публікаціях принцип академічної доброчесності дотримано.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В дисертаційні роботі не приділено увагу напівпровідниковим пристроям на основі карбід кремнію (SiC), які згідно із наукових досліджень є стійкішими до іонізуючого випромінювання ніж кремнієві напівпровідники.

Як приклад, такі наукові праці: 1) Doctoral Thesis by Muhammad Usman "Impact of Ionizing Radiation on 4H-SiC Devices", 2012; 2) B. Tala-Ighil, J.-L. Trolet, H. Gualous, P.Maryb, and S. Lefebvre, "Experimental and comparative study of gamma radiation effects on Si-IGBT and SiC-JFET," in Microelectronics Reliability, vol. 55, no. 9-10, Aug.-Sep. 2015, pp. 1512-1516, doi: 10.1016/j.microrel.2015.06.136.

2. В представленому в дисертаційній роботі списку використаних джерел, англомовні джерела складають близько 50%, що викликає враження про неповний аналіз наукової літератури за темою роботи.
3. В дисертаційній роботі не згадано, що існують (серійно виготовлюються) спеціалізовані драйвери транзисторів стійкі до радіаційного впливу (1: https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-

Rad_hard_gate_driver_ICs_product_brief-ProductSelectionGuide-v01_01-EN.pdf?fileId=8ac78c8c84f2c0670184f4fccf88140c 2: https://www.st.com/en/space-products/rad-hard-gate-drivers.html). Хоча такі драйвери малодоступні, згадка про них була б доцільною, та загалом доповнила б матеріали представлені в дисертаційній роботі.

4. В дисертаційній роботі стверджується, що «Для підвищення радіаційної стійкості системи рекомендується замінити оптрон в складі драйвера на радіаційно нечутливі пристрої гальванічної розв'язки та передачі сигналів, наприклад, сигнальними трансформаторами, які не містять напівпровідникових компонентів і складаються із магнітопроводу та металевих обмоток.» Однак драйвери побудовані на індуктивній чи ємнісній технології все одно містять в своєму складі напівпровідникові пристрої, хоча і безпосередньо не задіяні для гальванічної передачі даних. Як загалом вплив іонізуючого випромінювання позначиться на роботі цих драйверів не зрозуміло. Якщо ж мова йде про використання виключно трансформаторів для забезпечення гальванічної розв'язки, тоді не зрозуміло чи є така заміна доцільною/рівнозначною з точки зору забезпечення бажаних струмів ланцюга затвору транзисторів (величина струму, та швидкість його наростання).
5. У тексті роботи наявні стилістичні та граматичні помилки.

Зокрема, часто використовується слово «управління» в контексті «керування», наприклад: «драйвери управління», «принцип управління біполярним силовим ключем», «сигнал управління драйвера», та подібні. Однак, під «управлінням» розуміється безпосередня учать людини в процесі, натомість при «керуванні» – ні. Тому доцільно писати «драйвери керування», «сигнали керування», «система керування», тощо. Замість вживання «передатчик» доцільним є вживання «передавач».

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 Мугенова Даніїла Джалільовича на тему «Частотно-регульований електропривод підвищеної радіаційної стійкості для вантажопідйомних машин сховища радіоактивних відходів» 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 Електрична інженерія. 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 Мугенов Даніїл Джалільович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії (Ph.D.) в галузі знань «Електрична інженерія» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Офіційний опонент:

Старший науковий співробітник
Інституту електродинаміки НАНУ,
к.т.н., старший дослідник /_____/ Павло ГЕРАСИМЕНКО

М.П. «28» серпня 2023 року

підпис Герасименка П. засвідчую:
Інституту електродинаміки
Нац. Академії наук України

Національна Академія Наук України
Інститут Електродинаміки
Ідентифікаційний № 05417236
м. Київ