

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

ТУШКОВ АНТОН МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 621.38.002

**МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗРЯДНИХ
ДЖЕРЕЛ СВІТЛА ПРИ ЇХ ВИСОКОЧАСТОТНОМУ ЖИВЛЕННІ**

141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Автореферат
дипломної роботи магістра

Тернопіль
2018

Роботу виконано на кафедрі світлотехніки та електротехніки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: доктор технічних наук, професор, професор кафедри електричної інженерії
Лупенко Анатолій Миколайович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій
Карташов Віталій Вікторович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 26 грудня 2018 р. о 9⁰⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії №39 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46006, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46а, навчальний корпус №7, ауд. 504.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність вибраного напрямку досліджень. Перетворення електричної енергії у енергію світлового випромінювання здійснюється джерелами світла, до найефективніших з яких на сьогодні, поряд із світлодіодними джерелами світла, належать також і розрядні джерела світла – люмінесцентні лампи, натрієві лампи високого тиску, металогалогенні лампи і т.п., які мають високу світлову віддачу, тривалий термін служби, добру кольоропередачу. На них припадає значна частина генерованої світлової енергії у світі. Однак безпосереднє живлення таких джерел світла від промислової мережі є неможливим через особливості їх фізичних процесів, зумовлених, у першу чергу, дуговим розрядом, який є основою їх робочого режиму роботи і характеризується від'ємним диференціальним опором, статичною і динамічною нелінійностями та інерційністю. Тому вони потребують специфічних технічних засобів, які забезпечують їх живлення та функціонування у всіх режимах роботи – підігрівання (підготовчому), запалювання, номінальному та регулювання.

Традиційно впродовж майже 80-річного використання розрядних джерел світла для цього застосовують електромагнітні пускорегульовальні апарати, основою яких є струмостабілізуючий дросель. Вони працюють на промисловій частоті і тому мають низьку енергоефективність, значні масогабаритні показники та у великих обсягах використовують гостродефіцитні матеріали.

Новітні досягнення сучасної силової та інформаційної електроніки створили умови для побудови якісно нових електротехнічних пристроїв високочастотного живлення (30-200 кГц), які виконують функції силових інтерфейсів мережі живлення та розрядного джерела світла. Такими пристроями є електронні пускорегульовальні апарати (ЕПРА). У порівнянні із електромагнітними апаратами вони мають значні переваги, основні з яких – це забезпечення високої якості споживання електроенергії, підвищення коефіцієнта корисної дії, додаткове енергозбереження за рахунок регулювання потужності джерел світла, здатність виконувати функції локальних систем керування освітлювальними установками у складі автоматизованих систем керування внутрішнім та зовнішнім освітленням, висока комфортність світлового середовища, збільшення терміну служби джерел світла, кращі масогабаритні показники і ін.

Тому в останні два десятиліття спостерігається висока активність науковців багатьох країн у питаннях дослідження та розробки нових підходів до побудови таких ЕПРА.

Незважаючи на значні здобутки у сфері створення ЕПРА, має місце низка проблем та нерозв'язаних задач, які потребують свого вирішення. Однією із таких задач є розробка математичних та імітаційних моделей розрядних джерел світла як навантаження ЕПРА, моделей, які дають змогу інтенсифікувати процес пошуку ефективних варіантів побудови ЕПРА за допомогою сучасних комп'ютерних систем імітаційного моделювання таких як Microcap 9, 10, 11, OrCad 9, 16 Multisim 11 , і інших.

Тому тематика даної дипломної роботи, в якій виконано спробу дослідження вольт-амперних характеристик люмінесцентних ламп при їх високочастотному

живленні та побудови імітаційних моделей люмінесцентних ламп на основі такого дослідження, є актуальною науково-практичною задачею.

Мета роботи: дослідження вольт-амперних характеристик люмінесцентних ламп при їх високочастотному живленні та побудова апроксимаційних математичних та імітаційних моделей люмінесцентних ламп.

Об'єкт дослідження: процеси перетворення параметрів електричної енергії в колах живлення та керування розрядними джерелами світла.

Предмет дослідження: вольт-амперні характеристик люмінесцентних ламп при їх високочастотному живленні та апроксимаційні моделі люмінесцентних ламп.

Методи дослідження: аналітичні та чисельні методи аналізу електричних кіл, спектрального аналізу, імітаційне моделювання пристроїв силової електроніки, методи натурного експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Розглянуто апроксимаційні математичні моделі розрядних джерел світла як навантаження електронного пускорегулювального апарата, які базуються на поєднанні нелінійних статичних та динамічних вольт-амперних характеристиках джерел світла при їх високочастотному живленні, що дало змогу підвищити точність аналізу електричних кіл із такими джерелами світла.

2. На базі математичних моделей люмінесцентних ламп створено імітаційні моделі розрядних джерел світла в системах схмотехнічного моделювання Microcap-9 та OrCad-9, які можуть бути включеними до складу їх бібліотек компонентів з метою проведення імітаційного моделювання електричних процесів в пристроях із такими лампами.

3. Виконано імітаційне моделювання однокаскадної структури електронного пускорегулювального апарата з коректором коефіцієнта потужності, результати якого показують, що такий ЕБ забезпечує вимоги стандарту МЕК ІЕС 1000-3-2 щодо коефіцієнта потужності;

4. Розглянуто питання застосування інформаційних технологій при проектуванні ЕБ, охорони праці, безпеки в надзвичайних ситуаціях та екології.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблені імітаційні моделі розрядних джерел застосовано в системах схмотехнічного моделювання OrCAD-9.2 та MicroCap-9 шляхом включення до складу бібліотек їх компонентів, що дало можливість підняти якість та зменшити терміни проектування таких електротехнічних систем.

Апробація. Окремі результати роботи публікувалися у збірнику тез VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 2018 р.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 105 арк. формату А4, графічна частина – 14 аркушів формату А4.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розглянуто актуальність вибраного напрямку досліджень, мету та методи дослідження, об'єкт та предмет дослідження, новизну та практичну цінність результатів дослідження.

У **аналітичній частині** на основі проведеного огляду літературних джерел розглянуто основні математичні та імітаційні моделі розрядних джерел світла як специфічного нелінійного інерційного навантаження систем високочастотного живлення, що дозволило провести їх порівняльний аналіз з точки зору адекватності моделювання електричних процесів при сумісній роботі комплекту «система високочастотного живлення – розрядне джерело світла» у широкому діапазоні потужностей.

У **науково-дослідній частині** на основі експериментальних досліджень статичних, динамічних та модуляційних характеристик люмінесцентної лампи встановлено, що люмінесцентна лампа при роботі на високих частотах поводить себе в електричному колі як нелінійний, інерційний двополюсник, еквівалентний опір якого залежить від потужності (струму) лампи, а її модуляційний опір має комплексний характер, його модуль і фаза залежать від частоти модулюючого сигналу.

У **спеціальній частині** розглянуто апроксимаційні математичні люмінесцентних ламп при їх роботі на високих частотах. Моделі поєднують нелінійну апроксимацію високочастотних динамічних вольт-амперних характеристик та лінійну або ж нелінійну апроксимацію її статичної вольт-амперної характеристики. Моделі характеризуються простотою визначення їх параметрів за експериментальними даними.

У **технологічній частині** розглянуто імітаційні моделі люмінесцентних ламп при їх роботі на високих частотах. Для реалізації імітаційної моделі вибрано середовище PSpice і використано функціональні джерела напруги та струму. Моделі поєднують нелінійну апроксимацію високочастотних динамічних вольт-амперних характеристик та лінійну або ж нелінійну апроксимацію її статичної вольт-амперної характеристики. Моделі мають високий ступінь адекватності в широкому діапазоні регулювання потужності, високу швидкодію і дають змогу проводити моделювання схемотехнічних рішень електротехнічних систем високочастотного живлення і керування для розрядних джерел світла.

У **проектно-конструкторській частині** досліджено однокаскадний електронний баласт із знижувально-підвищувальним коректором форми споживаного струму, встановлено аналітичні співвідношення, які дають змогу проектувати такий ЕБ. Проведено його імітаційне моделювання та експериментальне дослідження.

У **частині «Обґрунтування економічної ефективності»** проведено розрахунки техніко-економічної ефективності прийнятих рішень із впровадження описаної розробки.

У **частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** розглянуто питання впливу умов освітленості на зорову функцію людини, проаналізовано негативні виробничі фактори, що знижують продуктивність праці та

здійснено аналіз питань актуальності електробезпеки та електротравматизму.

У частині «Екологія» здійснено аналіз екологічності сучасних джерел освітлення та описано тенденції розвитку сучасних джерел освітлення.

У загальних висновках щодо дипломної роботи описано результати роботи по розробці моделей розрядних джерел світла та моделюванню однокаскадної структури ЕБ.

У графічній частині приведено результати експериментальних досліджень вольт-амперних характеристик люмінесцентних ламп, їх математичні моделі та схеми імітаційних моделей, а також графіки результатів моделювання та обчислень, отриманих у результаті моделювання.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто математичні та імітаційні моделі розрядних ламп при їх високочастотному живленні, параметри яких визначаються за лінеаризованою або нелінійною статичною і нелінійними динамічними вольт-амперними характеристиками розрядних джерел світла, які використовуються як навантаження системи високочастотного живлення. Моделі дають змогу проводити аналіз роботи системи, отримувати та оцінювати характеристики комплексу «система високочастотного живлення і керування – розрядна лампа».

2. Прийняті в дипломній роботі інженерні рішення дали змогу удосконалити структуру ЕБ, зокрема коректор коефіцієнта потужності на основі знижувально-підвищувального перетворювача забезпечив значення коефіцієнту потужності 0.98.

3. Поєднання в однокаскадній структурі ЕПРА синхронно працюючих на високій частоті коректора коефіцієнта потужності та резонансного інвертора напруги дало змогу зменшити обсяг електронних компонентів, знизити вартісні показники ЕПРА при одночасному забезпеченні вимог електромагнітної сумісності.

4. Застосування системи схемотехнічного моделювання дає змогу дослідити імітаційну модель ЕПРА та отримати графіки основних залежностей напруг, струмів та спектру струму мережі, на базі яких проведено обчислення коефіцієнту гармонік та коефіцієнту потужності.

5. Розрахунки економічної ефективності показують доцільність впровадження технічних рішень у виробництво.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ

1. А. М. Тупіков. МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗРЯДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА ПРИ ЇХ ВИСОКОЧАСТОТНОМУ ЖИВЛЕННІ

Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей VII міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2018. – Том III. – С. 88.

АНОТАЦІЯ

А. М. Тупіков. МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗРЯДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА ПРИ ЇХ ВИСОКОЧАСТОТНОМУ ЖИВЛЕННІ

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» –

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2018.

У дипломній роботі виконано експериментальні дослідження високочастотних вольт-амперних характеристик люмінесцентних ламп, розробку їх математичних та імітаційних моделей. Виконано аналіз та моделювання електронного баласта із корекцією коефіцієнта потужності для люмінесцентних ламп, який забезпечує коефіцієнт потужності близький до 1, покращує якість електроенергії в мережі та підвищують термін служби люмінесцентних ламп.

Ключові слова: люмінесцентна лампа, високочастотне живлення, математична модель, імітаційна модель, електронний баласт.

ANNOTATION

A. M. Turikov, MODELING OF VOLT-AMPERE CHARACTERISTICS OF DISCHARGE LIGHT SOURCES WITH HIGH-FREQUENCY OPERATION

141 «Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics». – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University. – Ternopil, 2018.

The experimental study of high-frequency volt-ampere characteristics of fluorescent lamps, the elaboration of mathematical and simulation models of this lamps was produced, The analysis and simulation of single-stage electronic ballast were considered. Electronic ballast provides power factor close to 1, improve the quality of electrical grid and increase the lifetime of fluorescent lamps.

Key words: power factor corrector, electronic ballast, fluorescent lamp, resonant inverter.