

СИНТЕЗ КОМП'ЮТЕРНО-ОРІЄНТОВАНОЇ МОДЕЛІ КОМПЛЕКТУ "РОЗРЯДНА ЛАМПА – ПУСКОРЕГУЛЮЮЧИЙ АПАРАТ"

Харченко В. Ф., Якунін О. А.

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова

Обґрунтовано вибір перспективної базової моделі комплекту "розрядна лампа – пускорегулюючий апарат" та розглянуто реалізацію її модифікації в програмі Simulink середовища MATLAB.

Постановка проблеми. Останнім часом загострюється питання підвищення рівня енергозбереження в усіх сферах економіки України. Його вирішенню сприяють заходи по забезпеченню ефективності функціонування систем електричного освітлення, що включають в себе заміну існуючих елементів на більш прогресивні аналоги та впровадження локального автоматичного регулювання і складних систем дистанційного автоматизованого керування. Застосування мікропроцесорних систем регулювання та керування є найперспективнішим, оскільки за оцінкою фахівців [1] це може зекономити до 50 % електроенергії. При створенні пристроїв регулювання потужності джерел світла і керуючих систем необхідно враховувати особливості сумісної експлуатації елементів освітлювальних мереж, зокрема найпоширеніших комплектів "розрядна лампа – пускорегулюючий апарат" ("РЛ – ПРА"). Важливим інструментом досліджень є методи розрахунку РЛ і схем ПРА на основі математичних моделей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням застосування математичного моделювання при дослідженнях освітлювальних систем з урахуванням їх модернізації в напрямку підвищення енергоефективності присвячено низку праць, зокрема [1–5]. Пропонується впроваджувати сучасні економічні освітлювальні установки, застосовувати керування рівнем випромінювання [1], покращувати структуру й елементну базу мереж, використовувати більш складні ПРА з компенсуючими ємностями та симетруючі трансформатори [2], перерозподіляти навантаження по фазам [3], активно впроваджувати різноманітні контролюючі пристрої та мікропроцесорні модулі для організації багаторівневого керування освітлювальними системами, що потребує розробки досить точних комп'ютерно-орієнтованих математичних моделей окремих елементів, стандартизованих комплектів і систем у цілому [4,5].

Мета статті. Робота присвячена обґрунтуванню вибору базової моделі та її комп'ютерно-орієнтованій модернізації з наступною реалізацією в програмі Simulink середовища MATLAB. Результуюча комп'ютерна модель спрямована на проведення багатоваріантних обчислювальних експериментів з метою створення складних ПРА.

Основні матеріали дослідження. Складність процесів у комплекті "РЛ – ПРА", їх недостатня вивченість, необхідність збереження і розвитку наукових здобутків спонукають до цілеспрямованого вибору перспективної моделі комплекту і подальшої всеохоплюючої модернізації вибраного базового подання

з орієнтацією на можливості задіяного програмного середовища і потреби кінцевих користувачів. Одним з перших підходів до математичного опису РЛ, зокрема її вольт-амперної характеристики, є метод Г. Штрауха [4]. Створені та широко використовуються методи, засновані на різних апроксимаціях вольт-амперної характеристики. Також спостерігаються спроби моделювання РЛ і ПРА з використанням гармонічного аналізу, специфічних прийомів припасовування, еквівалентних синусоїд і операторного методу. Спільним недоліком більшості методів апроксимації вольт-амперних характеристик є алгебраїчний характер відповідних співвідношень, які зв'язують значення характерних величин лише у поточний момент часу. Тому вони не дозволяють враховувати передісторію процесів у лампі та їх інерційність [4]. Розглянуте в роботі [4] застосування операторного методу до високочастотних ПРА при живленні напругою прямокутної чи трикутної форми показує, що він досить добре працює лише при розрахунку ланцюгів, диференціальний опис яких має порядок не більший за другий. Для опису схем зі складними електронними ПРА використання операторного методу потребує його суттєвої модифікації [4]. Розроблені Краснопольським А. Е. диференціально-алгебраїчні математичні моделі електричних параметрів розрядних ламп [4] долають указані недоліки. Загальний вигляд запропонованих систем:

$$dO_i / dt = F_i(O_1, O_2, \dots, O_k, B_1, \dots, B_m), \quad i = \overline{1, k};$$

$$u_a = R(O_1, O_2, \dots, O_k) i_a,$$

де O_i , $i = \overline{1, k}$ – визначальні параметри лампи;

B_j , $j = \overline{1, m}$ – зовнішні впливи, що приводять до зміни накопиченої енергії;

$u_a = u_a(t)$, $i_a = i_a(t)$ – миттєві значення напруги на лампі та струму;

t – час;

$R(O_1, O_2, \dots, O_k)$ – електричний опір лампи, який може залежати від усіх визначальних параметрів;

$F_i(O_1, \dots, O_k, B_1, \dots, B_m)$, $i = \overline{1, k}$ – деякі функції.

Обмежуючись одним визначальним параметром – середня концентрація електронів $i_{\bar{n}}$, у [4] побудовані математичні моделі електричних параметрів люмінесцентних ламп. Такі подання містять три

рівняння, з яких одне – диференціальне і два – алгебраїчні:

$$\begin{cases} dg_n / dt = g_n M_1(u_n) = F_1(u_n, g_n); \\ G_n = i_n / u_n = g_n / [1 + k_1 (|u_n| / U_0 - 1)]; \\ U_0 / U_{ном} = (g_n / g_{ном})^{0,93p}. \end{cases}$$

Тут U_0 і $U_{ном}$ – усталена напруга і номінальна усталена напруга на лампі на постійному струмі;

g_n – приведена провідність лампи, пропорційна середній концентрації електронів i_n , яка дорівнює провідності лампи G_n при $u_n = U_0$;

k_1 – коефіцієнт, значення якого для більшості люмінесцентних ламп лежить у межах $0,3 \div 0,4$;

M_1 – коефіцієнт іонізації, що залежить від миттєвої напруги на лампі u_n і визначає швидкість іонізації – деіонізації плазми стовпа розряду;

ρ – коефіцієнт, що враховує нахил статичної характеристики лампи, зокрема для люмінесцентних ламп 40 Вт його значення $\rho = -0,2 \div -0,3$.

Для ламп типу ДРЛ у [4] пропонується модель, що включає в себе двоє нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку і двоє алгебраїчних рівнянь зв'язку:

$$\begin{cases} dg_n / dt = g_n^2 M_1(u_n) = F_1(u_n, g_n); \\ d\beta / dt = M_2(u_n) (\beta_{ycm}(u_n) - \beta) = F_2(u_n, \beta); \\ G_n = \beta g_n = i_n / u_n, \end{cases} \quad (1)$$

де $\beta_{ycm}(u_n)$ – усталене значення β при $u_n = const$.

Залежності $M_1(u_n)$, $M_2(u_n)$ і $\beta_{ycm}(u_n)$ задаються виразами:

$$M_1(u_n) = A_n U_o^2 [(u_n / U_o)^2 - 1] / [0,4 + 0,6(|u_n| / U_o)]; \quad (2)$$

$$M_2(u_n) = [1,5 + 3(|u_n| / U_o)^{1,5}] \cdot 10^4; \quad (3)$$

$$\beta_{ycm}(u_n) = 0,4 + 0,6(|u_n| / U_o). \quad (4)$$

де A_n – сталий коефіцієнт, що залежить від потужності лампи, $A_n = 2,5 \div 27,0$.

Похибки розрахунків комплектів для ламп ДРЛ з електромагнітними ПРА при аналізі режимів з відсутністю паузи струму лампи не перевищують $\pm 3\%$. У режимах з паузами струму при різних баластах похибки не перевершують $\pm 7\%$. Такі

показники демонструють перспективність застосування розглянутої диференціально-алгебраїчної системи (1)–(4) для моделювання комплектів з лампами ДРЛ і дозволяє прийняти її за базу при розробці комп'ютерних моделей. При цьому необхідне її доопрацювання з метою налаштування до проведення багатоваріантних розрахунків, особливо в рамках обчислювальних експериментів. Крім того, спроби поширення моделі на інші типи РЛ високого тиску (РЛВТ) потребують її подальшого удосконалення, зокрема підвищення адаптаційних можливостей. На основі системи (1)–(4) шляхом послідовних модифікацій, основні кроки яких детально висвітлені в публікації [5], розроблено універсальну модель комплекту "РЛВТ – ПРА", що має вигляд [5]:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = A_n T_0 P_0 [(x_3 / x_2)^2 - x_1^2] / \left\{ 1 + k_1 \times \right. \\ \left. \times \left[\sqrt{x_3^2 + \delta} / (x_1 x_2 + \varepsilon) - 1 \right] \right\}; \\ \frac{dx_2}{dt} = \left\{ k_2 + k_3 \left[\sqrt{x_3^2 + \delta} / (x_1 x_2 + \varepsilon) \right]^{k_4} \right\} \times \\ \times \left\{ 1 + k_1 \left[\sqrt{x_3^2 + \delta} / (x_1 x_2 + \varepsilon) - 1 \right] - x_2 \right\}; \\ \frac{dx_3}{dt} = \frac{T_0}{LP_0} [U_0^2 w - P_0 R_{ном} x_3 - U_0^2 x_3 / (x_1 x_2 + \varepsilon)]; \end{cases} \quad (5)$$

$$y_1 = x_3; y_2 = \frac{x_3}{x_1 x_2 + \varepsilon}; y_3 = x_1 x_2; y_4 = \frac{x_3^2}{x_1 x_2 + \varepsilon}; \quad (6)$$

$$x_i(0) = x_{i0}, \quad i = \overline{1,3}. \quad (7)$$

Тут T – тривалість проміжку $[0; T]$ часу t , на якому вивчається об'єкт;

T_0 – період джерела живлення;

u_s – напруга джерела живлення;

L – індуктивність дроселя;

$R_{ном}$ – активний опір;

U_0 – номінальна напруга на лампі;

P_0 – номінальна потужність лампи;

A_n, k_1, k_2, k_3, k_4 – сталі коефіцієнти;

$x_i = x_i(t)$, $i = \overline{1,3}$ – безрозмірні фазові змінні;

$w = u_s / U_0$ – безрозмірний вхідний сигнал;

$y_j = y_j(t)$, $j = \overline{1,4}$ – вихідні змінні (струм, напруга, провідність і потужність лампи відповідно);

ε і δ – параметри регуляризації;

x_{i0} , $i = \overline{1,3}$ – початкові дані.

У програмі Simulink пакету комп'ютерних розрахунків MATLAB створена візуальна реалізація моделі

(5)–(7) комплекту "РЛВТ – ПРА" (рис. 1).

Розроблене комп'ютерне подання включає схему ввімкнення лампи (джерело живлення, дросель, активний опір) та безпосередньо блочну реалізацію моделі

лампи (кероване джерело напруги, та блок, з якого подається сигнал у залежності від результатів розрахунків за формулами модуля "DEE").

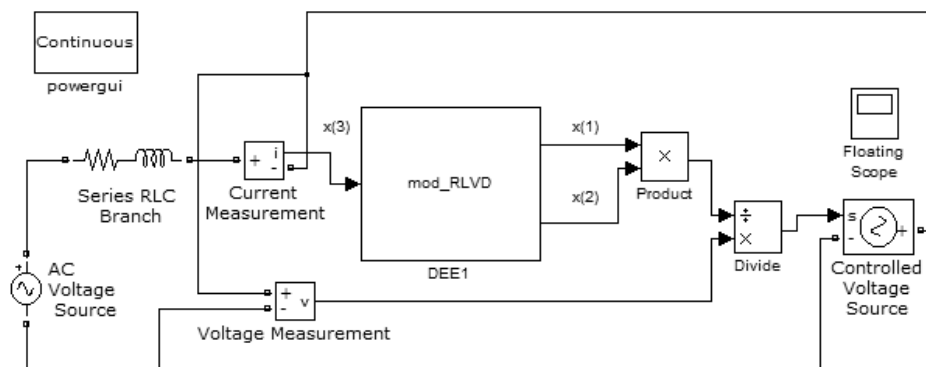


Рисунок 1 – Схема візуальної моделі комплекту "РЛВТ – ПРА"

Кероване джерело напруги включене послідовно з основним джерелом і виконує роль змінного за часом опору лампи, характер якого визначається за формулами (5)–(7). Ця реалізація дозволяє досліджувати складні режими комплекту "РЛВТ – ПРА" і характеризується високою наочністю.

При створенні моделі використано наступні блоки: "C Voltage Source" – симулює генератор змінного струму; "Series RLC Branch" – моделює послідовно ввімкнені активний опір, індуктивність та ємність, де ємність С виключена з ланцюжка; "Voltage Measurement" – вольтметр, що на виході має безрозмірний сигнал; "DEE" – редактор диференціальних рівнянь, в якому задається і розв'язується система диференціальних рівнянь; "Product" – множення; "Divide" – комбінація операцій множення та ділення.

Висновки. При модернізації освітлювальних мереж з метою підвищення ефективності використання електроенергії одним з перспективних шляхів є впровадження керованих систем, що забезпечують адаптивну корекцію світлового потоку. Розроблена модель та її комп'ютерна реалізація дозволяють наочно моделювати складні режими функціонування комплекту "РЛ – ПРА", програвати різні сценарії та тестувати алгоритми керування. Надалі передбачено проведення багатопланових обчислювальних експериментів, розробку спеціалізованих процедур параметричної ідентифікації, розширення можливостей моделі шляхом введення елементів компенсації реактивної потужності лампи.

Список використаних джерел

1. Энергосбережение в освещении / [Ю. Б. Айзенберг, М. Ю. Березин, Л. П. Варфоломеев и др.]; под ред. проф. Ю. Б. Айзенберга – М. : "Знак", 1999, – 264 с.: ил.

2. Говоров Ф. П. Автоматизация управления режимами напряжения и реактивной мощности в осветительных электрических сетях / Говоров Ф. П., Говоров В. Ф. // Наукові праці ДонНТУ. Електротехніка і енергетика. – № 8(140), 2008 – С. 232–235.

3. Патент України № 97433 Система керування світильниками в трифазній мережі зовнішнього освітлення міст / В. Ф. Харченко, О. А. Якунін. Заявник та патентовласник Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – № u 2014 11599 заявл. 27.10.2014; опубл. 10.03.2015, Бюл. № 5.

4. Краснопольский А. Е. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп / А. Е. Краснопольский, В. Б. Соколов, А. М. Троицкий. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.

5. Харченко В. Ф. Модифицированная модель нестационарных режимов разрядной лампы высокого давления с индуктивным балластом / В. Ф. Харченко, А. А. Якунин // Світлотехніка та електроенергетика. – 2012. – № 2(30). – С. 4–12.

Аннотація

СИНТЕЗ КОМПЬЮТЕРНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИ КОМПЛЕКТА "РАЗРЯДНАЯ ЛАМПА – ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИЙ АППАРАТ"

Харченко В. Ф. Якунин А. А.

Обоснован выбор перспективной базовой модели комплекта "разрядная лампа – пускорегулирующий аппарат" и рассмотрена реализация ее модификации в программе Simulink среды MATLAB.

Abstract

SYNTHESIS OF COMPUTER-ORIENTED MODEL "DISCHARGE LAMP – STARTING AND CONTROLLING DEVICE"

V. Kharchenko, O. Yakunin

Sampling of perspective base model of a complete set "discharge lamp – starting and controlling device" is prove. Implementation of its modification in program Simulink of MATLAB environment is observed.