

УДК 621.311.25

В.В. БОГАЧУК, Ю.О. ДМІТРІЄВ, В.В. КУХАРЧУК, В.В. ПРИСЯЖНЮК

ТЕМПЕРАТУРНА МОДЕЛЬ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА ОПТИЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ

*Вінницький національний технічний університет,
95, Хмельницьке шосе, Вінниця, 21021, Україна
Тел.: (+380)(432)598 259*

Анотація. Досліджено вплив температури джерела випромінювання на параметри оптоелектронних схем. Виконано розрахунки температури електричних ламп в залежності від напруги живлення. Досліджено експериментальні та теоретичні залежності світлових потоків від напруги живлення електроламп.

Abstract. The paper researches the radiation source temperature influence on the parameters of the optical electronic circuits. There had been executed the calculations of the electric lamp temperature depending on voltage supplied. There had been researched the experimental and theoretical dependences of the light streams on the electric lamp voltage supplied.

Аннотация. Исследовано влияние температуры источника излучения на параметры оптоэлектронных схем. Проведено расчеты температуры электрических ламп в зависимости от напряжения питания. Исследовано экспериментальные и теоретические зависимости световых потоков от напряжения питания электроламп.

Ключові слова: джерело випромінювання, температура, напруга живлення, світловий потік.

ВСТУП

Для побудови оптоелектронних схем у залежності від галузі застосування найчастіше використовують методи прохідної та відбитої хвилі. Основним елементом в них є лампи розжарювання як джерело світлового випромінювання. Вони живляться від номінальної напруги, якій відповідає певне значення температури. Якщо лампи застосовують при номінальній напрузі живлення, то температура, що випромінюється лампою, суттєво впливає на параметри електронної схеми. Для зменшення цього впливу необхідно забезпечити нормальний температурний режим роботи електронної схеми шляхом збільшення габаритних розмірів оптичних приладів або застосування примусової вентиляції. Такі заходи призводять до значних матеріальних втрат і технічно ускладнюють сам пристрій.

Метою роботи є розробка температурної математичної моделі, яка дозволить на стадії проектування розрахувати температурний режим оптичної системи при значеннях напруги живлення, менших значення номінальної напруги, та забезпеченні необхідної інтенсивності світлового потоку.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

Отримаємо залежність температури нагрітого тіла електричної лампи від напруги її живлення. Потужність електричної лампи P_l дорівнює потоку випромінювання Φ у випадку ідеальної нитки, що знаходиться у вакуумі [1]:

$$\Phi = P_l \quad (1)$$

$$P_l = \frac{U^2}{R_n}, \quad (2)$$

де U - напруга живлення лампи; R_n - опір нитки.

Опір прямо пропорційно залежить від довжини нитки l_n і обернено пропорційно від площі перерізу нитки S_n :

$$R_n = \rho_m \cdot \frac{4 \cdot l_n}{\pi \cdot d_n^2} = \rho_m \cdot \frac{l_n}{S_n} \quad (3)$$

Позначимо $\frac{l_n}{S_n} = V_n$ і подамо (3) у вигляді

$$R_n = \rho_m \cdot V_n \quad (4)$$

Із [2] відомо, що

$$\rho_m = \rho_{20^0 C} \cdot (1 - \gamma \cdot t), \quad (5)$$

де $\rho_{20^0 C}$ – питомий опір нитки при $20^0 C$ – const; γ – температурний коефіцієнт, що залежить від роду металу.

$$R_n = V_n \cdot \rho_0 \cdot (1 - \gamma \cdot t). \quad (6)$$

Тоді із (2) маємо:

$$P_n = \frac{U^2}{V_n \cdot \rho_0 \cdot (1 - \gamma \cdot t)} \quad (7)$$

і

$$U^2 = P_n \cdot V_n \cdot \rho_0 \cdot (1 - \gamma \cdot t) \quad (8)$$

або

$$U = I \cdot V_n \cdot \rho_0 \cdot (1 - \gamma \cdot t) \quad (9)$$

Виходячи з умов ідеальної нитки і умови, що авіаційні та автомобільні лампи працюють при температурі $2400^0 C$, та скориставшись результатами табл. 6.7 “Параметри ідеальної вольфрамової нитки” [1], можна знайти параметр V_n для кожної з досліджуваних ламп.

Для цього визначимо більш точно величини γ і $\rho_{20^0 C}$ для кожного типу ламп $\gamma = 9,2 \cdot 10^{-3}$ (град.) і $\rho_{20^0 C} = 3,85 \cdot 10^{-8}$ (Ом·м).

Це пов’язано з тим, що до вольфраму додаються різні присадки.

$$\text{Для лампи A12-21 } V_n = \frac{7,32}{-81,16 \cdot 10^{-8}} = -0,09 \cdot 10^8.$$

$$\text{Для лампи A12-15 } V_n = \frac{9,47}{-81,16 \cdot 10^{-8}} = -0,116 \cdot 10^8.$$

$$\text{Для лампи CM13-10 } V_n = \frac{17,65}{-81,16 \cdot 10^{-8}} = -0,217 \cdot 10^8.$$

$$\text{Для лампи A12-5 } V_n = \frac{37,5}{-81,16 \cdot 10^{-8}} = -0,462 \cdot 10^8.$$

Тоді температура вольфрамової нитки для цих типів ламп буде визначатись за формулою:

$$t = \frac{1}{\lambda} - \frac{U}{I \cdot V_n \cdot \rho_0 \cdot \gamma}. \quad (10)$$

$$\text{Для лампи A12-21 } t_1 = 108,7 - \frac{12000}{1,64 \cdot (-0,09 \cdot 10^8) \cdot 35,42 \cdot 10^{-8}} = 2404^{\circ} \text{C} .$$

$$\text{Для лампи A12-15 } t_2 = 108,7 - \frac{12000}{1,27 \cdot (-0,116 \cdot 10^8) \cdot 35,42 \cdot 10^{-8}} = 2408^{\circ} \text{C} .$$

$$\text{Для лампи CM13-10 } t_3 = 108,7 - \frac{12000}{0,68 \cdot (-0,217 \cdot 10^8) \cdot 35,42 \cdot 10^{-8}} = 2404^{\circ} \text{C} .$$

$$\text{Для лампи A12-5 } t_4 = 108,7 - \frac{12000}{0,32 \cdot (-0,462 \cdot 10^8) \cdot 35,42 \cdot 10^{-8}} = 2400^{\circ} \text{C} .$$

Струми I розраховано відповідно даних на кожен із типів ламп за їх паспортними параметрами [2]. Отримані результати показують, що значення γ і $\rho_{20^{\circ}\text{C}}$ вибрані правильно, зміну температури нитки в залежності від напруги живлення можна розраховувати по одній з ламп. Виберемо A12-21, тоді:

$$t_{12V} = 2408^{\circ} \text{C} \text{ (2681 K);} \quad t_{11V} = 2321^{\circ} \text{C} \text{ (2594 K);}$$

$$t_{10V} = 2225^{\circ} \text{C} \text{ (2498 K);} \quad t_{9V} = 2137^{\circ} \text{C} \text{ (2410 K);}$$

$$t_{8V} = 2036^{\circ} \text{C} \text{ (2309 K);} \quad t_{7V} = 1921^{\circ} \text{C} \text{ (2194 K);}$$

$$t_{6V} = 1806^{\circ} \text{C} \text{ (2079 K);} \quad t_{5V} = 1669^{\circ} \text{C} \text{ (1942 K);}$$

$$t_{4V} = 1500^{\circ} \text{C} \text{ (1773 K).}$$

Гранична напруга живлення для цих ламп рівна 13,5 V, що відповідає температурі нитки 2515⁰C або 2788 K.

Достовірність отриманих результатів підтверджується їхнім добрим збігом з результатами, які наведені в літературних джерелах. Наприклад, в [3] показано, що люксметр використовується для вимірювання освітленості, утвореної лампами розжарювання, кольорова температура яких не виходить за межі 2300÷3400 K. Або в [1] вказано, що така кольорова температура відповідає температурі розжарювання нитки (біля 2300 K) і відповідає 8 V напруги живлення.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Порівняємо отримані результати з експериментальними даними. Для експериментальних досліджень зміни світлового потоку в залежності від напруги живлення електроламп реалізовано макетний пристрій на базі люксметра (рис. 1)

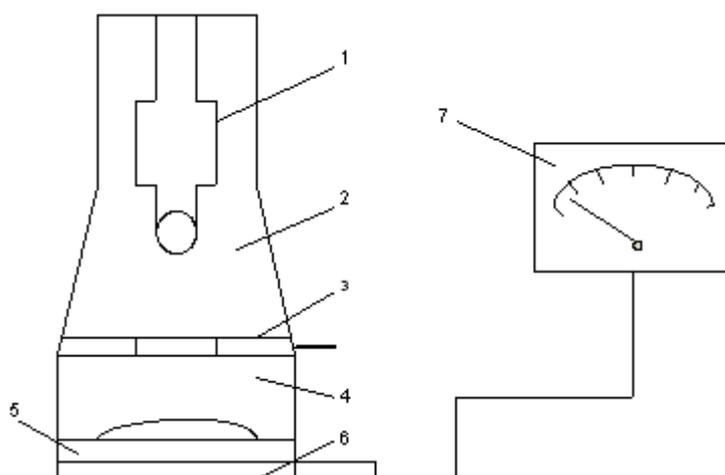


Рис. 1. Конструкція макетного пристрою

Він складається з джерела світла 1, конусного дзеркального параболоїда 2, у верхній частині якого розміщено діафрагму 3. Під діафрагмою розташовано світлонепроникний циліндр 4, який встановлено на світлофільтр 5 фотодетектора 6 люксметра 7.

Люксметр відградуваний в люксах ($1 \text{ лк} = 1 \text{ лм} \cdot 1 \text{ м}^2$), тобто, приведений до площі освітлення в 1 м^2 . За допомогою діафрагми 3 прилад налаштовують на початковий світловий потік, що випромінюється однією з ламп при напрузі живлення 12 В. Люксметр відградуваний по лампі А12-21. Після цього визначались світлові потоки цієї та інших ламп при різних напругах живлення. Розрахункові значення світлового потоку отримано за формулою

$$\Phi = I^4 \cdot (R_n^{\kappa_1} + \kappa_2), \quad (11)$$

де

$$\kappa_1 = \frac{\ln R_n}{\ln U + (\ln W \cdot U + \ln \frac{R_n}{I \cdot \ln(W + U)}) \cdot 0,1} \quad (12)$$

$$\kappa_2 = \ln \frac{R_n}{\ln U + \frac{1}{\ln W + \ln R}} \quad (13)$$

I – сила струму живлення лампи; R_n – опір вольфрамової нитки.

Розрахункові та експериментальні дані зведено в табл. 1.

Таблиця 1.

Експериментальні та теоретичні залежності світлових потоків від напруги живлення електричних ламп

U_n		12	11	10	9	8	7	6	5	4
А12-21	Φ_P	246,6	193,53	149,5	112,7	81,8	56,4	37,3	23,3	13
	Φ_E	247	192	147	111	79	53	30	10	2,0
А12-15	Φ_P	156,9	124,1	96,4	72,4	52,9	37,33	24,9	15,7	9,22
	Φ_E	157	126	97	72	51	35	19	7	1,5
СМ13-10	Φ_P	58,36	46,1	35,52	27,40	20,44	14,86	10,46	7,11	4,53
	Φ_E	58	45	35	26,5	19,5	13	7,5	2,5	0,7
А12-5	Φ_P	23,6	19,17	16,07	12,75	10,05	7,76	5,97	4,5	3,4
	Φ_E	24	20	16	12,5	9,5	6,5	4	1,5	0,5

ВИСНОВКИ

З табл. 1 видно, що до 8 В теоретичні (розрахункові) та експериментальні дані відрізняються не більше, ніж на 3 – 3,5 %. Після 8 В зростає відмінність між теоретичними даними та експериментальними дослідженнями. Це пояснюється тим, що люксметр обмежений кольоровою температурою, що створюється лампами розжарювання в межах 2300 ÷ 3400 К, що відповідає близько 2300 ÷ 3300 К нитки розжарювання [1, 3].

Розрахунки показують, що напруга 8 В створює на нитці розжарювання температуру приблизно 2300 К. Отже, запропонована модель адекватно описує температурні процеси, що протікають у лампі розжарювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуторов М.М. Основы светотехники и источники света: Учебное пособие для вузов, 2-е изд. , доп. и перераб. – М: Энергоатомиздат, 1983. – 384 с.

2. Згурский В.С., Лисицын Б.Л. Элементы индикации. М, «Энергия», 1974, 224 с.
3. Гуревич М.М. Фотометрия. 2-е изд. , доп. и перераб. – Л: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.

Надійшла до редакції 05.04.2008р.

БОГАЧУК В.В. – к.т.н., доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ДМІТРІЄВ Ю.О. – с.н.с. кафедри метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

КУХАРЧУК В.В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ПРИСЯЖНЮК В.В. – ст. викладач кафедри метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.