

УДК 621.327 : 621.316.71

М.Г.Тарасенко¹, С.С.Овчинников², О.Ю.Волкова², М.В. Хворост²¹ Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль² Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова

ВИКОРИСТАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗРЯДНИХ ЛАМП ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ІЗ ПУСКОРЕГУЛЮВАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ ДОВІЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

У статті розглянуті особливості формування рівнянь стану при застосуванні диференціальних математичних моделей розрядних ламп для аналізу електричних кіл із пускорегулювальними апаратами довільної конфігурації. Це дає можливість скоротити терміни розроблення енергоощадних як електромагнітних, так і електронних пускорегулювальних апаратів для розрядних ламп низького й високого тиску.

Ключові слова: ПРА, розрядна лампа, дросель, енергетична ефективність, диференціальна, математична модель.

Постановка проблеми

Одним зі шляхів успішного вирішення питання економії електроенергії на освітлення є збільшення долі високоефективних розрядних ламп низького (лінійних і компактних люмінесцентних ламп) та високого (ДНАТ, ДРІ, СДМ) тиску, які не можуть функціонувати без спеціальної пускорегулювальної апаратури (ПРА). Тип застосовуваного ПРА (електромагнітний ЕмПРА чи електронний ЕПРА) у значній мірі визначає енергоефективність освітлювальної установки. У теперішній час, коли боротьба між прихильниками ЕмПРА та ЕПРА загострилася, необхідно проводити подальше вдосконалення параметрів ПРА на основі поглиблення теоретичних досліджень схем увімкнення розрядних ламп із метою підвищення їх енергоефективності. В Директиві ЕС 2000/55/EU була прописана поетапна заборона щодо застосування електромагнітних пускорегулювальних апаратів з високими втратами (класу D – з 21.05.2002 р., класу C – з 21.11.2005 р.) з метою переходу до ЕПРА, доля яких в 2006 р. повинна б була зрости до 55%. Бажаних результатів досягнути не вдалося. Тому була прийнята друга Директива ЕС 2005/32/EU, у якій введено нове, більш м'яке ніж у першій Директиві, поняття щодо визначення граничного значення енергетичної ефективності баластів. Це відношення номінальної потужності ЛЛ до суми номінальної потужності лампи й втрат у баласті. Нова Директива розрахована на 8 років і не передбачає остаточної заборони електромагнітних баластів, якщо їх енергетична ефективність буде не меншою ніж для ЕПРА. Наприклад, для ЛЛ із номінальною

потужністю $P_{\text{ЛЛ}} = 36$ Вт у схемі з електромагнітним баластним дроселем цей показник повинен бути не менше 0,878 (загальна споживана потужність комплектом $P_{\text{ЛЛ}} + P_{\text{БД}} = 36 + 5 = 41$ Вт), а для ЕПРА – 0,873, ($P_{\text{ЛЛ}} + P_{\text{ЕПРА}} = 32 + 4,7 = 36,7$ Вт).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

показав [1,2,3,4], що алгебраїчні математичні моделі розрядних ламп (РЛ) зв'язують функціонально лише значення величин у певні моменти часу й не дозволяють урахувати їхню попередню історію, не враховують інерційність процесів, які відбуваються в ртутно-газовому розряді. Від цих недоліків вільні диференціальні математичні моделі РЛ, які дозволяють урахувати попередню історію процесу, на основі задавання початкових умов, та його інерційності, за рахунок введення відповідних похідних за часом. Для люмінесцентних ламп (ЛЛ) вона має наступний вигляд [1,2]

$$\begin{cases} dg_{\text{л}} / dt = g_{\text{л}} \cdot M_1(u_{\text{л}}) = F_1(u_{\text{л}}; g_{\text{л}}); \\ G_{\text{л}} = i_{\text{л}} / u_{\text{л}} / [1 + 0,35 \cdot (|u_{\text{л}}| / U_0 - 1)]; \\ U_0 / U_{0, \text{ном.}} = (g_{\text{л}} / g_{\text{л.н.}})^{0,93 \cdot p}, \end{cases} \quad (1)$$

де U_0 – усталена напруга на ЛЛ на постійному струмі ($U_0 \approx U_{\text{л}}$);

$U_{0, \text{ном.}}$ – номінальна усталена напруга на ЛЛ при номінальному струмі лампи;

$g_{\text{л}}$ – провідність ЛЛ, яка дорівнює провідності лампи $G_{\text{л}}$ при $u_{\text{л}} = U_0$;

u_l, i_l – миттєві значення напруги і струму ЛЛ;

ρ – безрозмірний коефіцієнт, який враховує крутизну статичної вольт-амперної характеристики ЛЛ. Для більшості розрядних ламп має від'ємне значення й знаходиться в діапазоні від $(-0,13)$ до $(-0,27)$;

$$M_1(u_l) = a_0 \cdot (u_l / U_0)^2 - a_1 \cdot |u_l| / U_0 - a_2,$$

при $|u_l| \leq U_0$;

$$M_1(u_l) = b_0 \{ |u_l| / U_0 - b_1 + b_2 \cdot \exp[-b_3 (|u_l| / U_0 - 1)] \}$$

при $|u_l| \geq U_0$;

$a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2$ – сталі коефіцієнти для ЛЛ заданої потужності.

Для розрядних ламп (РЛ) високого тиску типу ДРЛ.

$$dG_l / dt = A_0 \cdot (i_l^2 - U_0^2 \cdot G_l^2) \quad (2)$$

де A_0 – коефіцієнт для номінальної потужності РЛ, визначається експериментально [1]. Для періоду розгорання РЛ високого тиску його величина визначається за наступною формулою

$$A = A_0 \cdot \exp[0,01 \cdot U_{лн} \cdot (U_{лн} - U_{лр}) / U_{лр}] \quad (3)$$

де $U_{лн}, U_{лр}$ – номінальне й діюче значення напруги на РЛ в поточний момент часу при розгоранні відповідно, В.

Саме тому метою даної статті стало визначення ефективності використання сучасних методів аналізу електричних кіл із розрядними лампами для визначення енергоефективності комплексу РЛ+ПРА на етапі проектування.

Виклад основного матеріалу

Всебічний аналіз електричних нелінійних електричних кіл із РЛ зручно проводити методом змінних стану [5]. При цьому напруги на конденсаторах, струми в індуктивностях (баластних дроселях) і провідності РЛ слід розглядати як основні змінні, які характеризують стан електричного кола. При формуванні рівнянь стану необхідно:

1. Видалити стільки елементів, скільки необхідно для зведення розглядуваної схеми до лінійної резистивної.

2. Описати отриману в результаті перетворень схему гібридною матрицею, попередньо проробивши наступні операції:

- видалити всі незалежні джерела живлення;
- замінити котушки індуктивності джерелами струму, конденсатори – джерелами напруги, а РЛ

двополюсниками із заданою провідністю.

3. Замінити всі нелінійні двополюсні елементи (діоди, позистори і т.п.) джерелами струму або напруги, що визначається існуванням результуючої матриці. Не припустимо, щоб гілки з джерелами напруги утворювали замкнений контур, або джерела струму з'єднувалися в одній точці зіркою.

4. Для отриманої схеми скласти матрицю стану для електричного кола послідовно виключаючи всі джерела струму і напруги крім одного, струм або напруга якого розглядаються нами в якості основної змінної стану.

В результаті цих операцій отримаємо систему рівнянь стану (4), рівнянь для вихідного сигналу (5) та нелінійних рівнянь (6)

$$\vec{X} = A \cdot \vec{X} + B \cdot \vec{u}_m + B' \cdot \vec{u}_N, \quad (4)$$

$$\vec{Y} = C \cdot \vec{X} + D \cdot \vec{u}_m + D' \cdot \vec{u}_N, \quad (5)$$

$$\vec{W} = E \cdot \vec{X} + F \cdot \vec{u}_m + F' \cdot \vec{u}_N, \quad (6)$$

де \vec{X} – вектор змінних стану (напруг на конденсаторах, струмів в котушках індуктивності, провідностей РЛ);

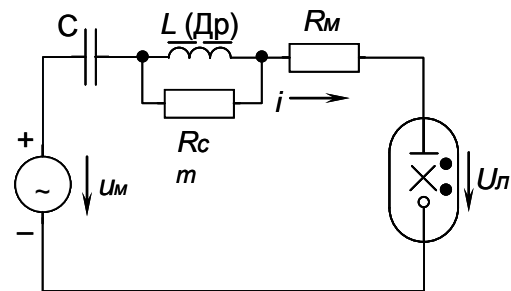
\vec{u}_m – вектор незалежних джерел;

\vec{u}_N – вектор джерел, які замінюють нелінійні елементи;

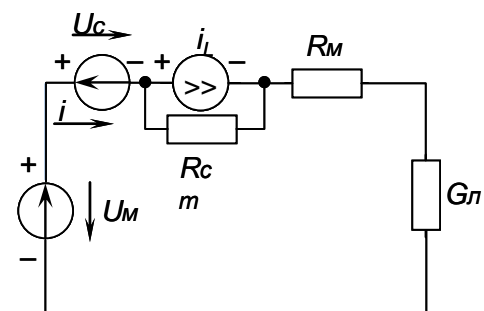
\vec{Y} – вектор вихідного сигналу;

\vec{W} – вихідний вектор керувань \vec{u}_N ,

A, B, B', C, D, D' та інші, визначають зв'язок між відповідними змінними в схемі.



а)



б)

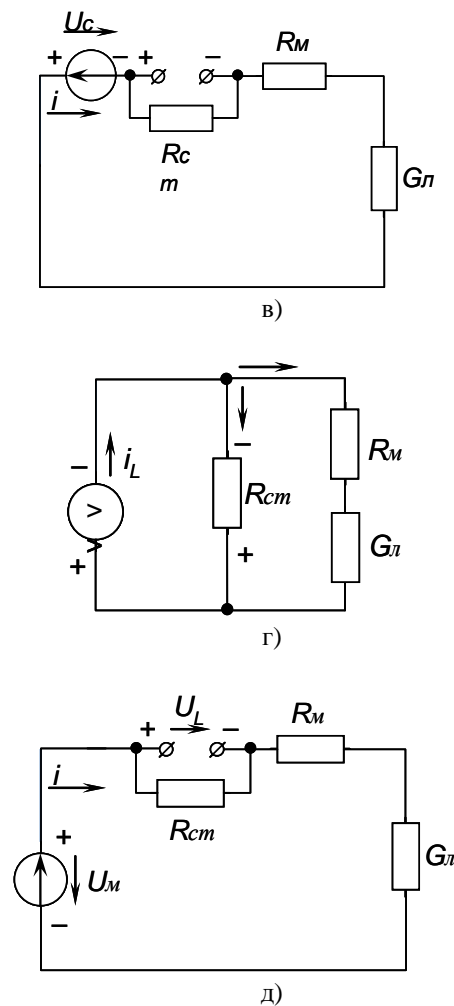


Рис. 1. Послідовність перетворення індуктивно-ємнісної схеми ввімкнення РЛ при формуванні рівнянь стану

1. Виділяємо незалежні джерела живлення. На рис. 1,а воно одне (джерело напруги $u_m = U_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t)$). Представляємо його у вигляді ЕРС із полярністю, вказаною на рис. 1,б.

2. Котушку індуктивності (електромагнітний баластний дросель, він у нас один) заміняємо джерелом струму (R_{cm}, R_m – опори, які враховують втрати в сталі магнітопроводу й міді обмотки баластного дроселя відповідно) i_L , ємність (конденсатор) – джерелом напруги u_C , розрядну лампу – двополюсником з провідністю G_L . У результаті вказаних замін схема рис. 1,а перетворюється до вигляду, представленому на рис. 1,б.

3. Виділяємо змінні стану: u_C – напругу на конденсаторі, i_L – струм в індуктивності, G_L – провідність РЛ.

Записуємо матрицю змінних стану (7).

$$\begin{bmatrix} i_C \\ u_L \\ f^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{1C} & \alpha_{1L} & \alpha_{1f} \\ \alpha_{2C} & \alpha_{2L} & \alpha_{2f} \\ \alpha_{3C} & \alpha_{3L} & \alpha_{3f} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_C \\ i_L \\ f_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_{1M} \\ \beta_{2M} \\ \beta_{3M} \end{bmatrix} \cdot [u_M] \quad (7)$$

Особливості цієї матриці, як і всіх матриць, які формуються для кіл із РЛ, такі: елементи останнього стрічки й останнього стовпця, крім головного діагонального елемента, який дорівнює 1, дорівнюють нулю. f^* – це оператор лівої частини, а f_L – правої частини диференційної математичної моделі РЛ, приведеній до нормальної форми Коші. Для РЛ типу ДРЛ $f^* = dG_L / dt$, а $f_L = A_0 \cdot (i_L^2 - U_0^2 \cdot G_L^2)$.

Значення провідності РЛ у початковий момент часу $G_L(0)$ при $t=0$ слід визначати за наступною формулою

$$G_L(0)/G_{L.n.} = 0,21 \cdot \bar{F} + 0,12 + (0,02 \cdot \bar{F} + 0,197)/(A/A_0) \quad (8)$$

де $G_{L.n.} = I_{L.n.} / U_{L.n.}$ – номінальна величина провідності РЛ;

$I_{L.n.}, U_{L.n.}$ – номінальні діючі значення струму і напруги на РЛ;

$\bar{F} = f_m / 50$ – нормована частота;

$f_m, 50$ – частота напруги живлення РЛ та промислова частота 50 Гц .

Послідовність дій при визначенні $G_L(0)$ за формулою (8) наступна: а) при заданих значеннях \bar{F}, A, A_0 визначаємо величину відношення $G_L(0)/G_{L.n.}$; б) якщо $G_L(0)/G_{L.n.} > 1$ вважаємо що її величина дорівнює номінальній провідності РЛ. В іншому випадку $G_L(0)$ визначаємо за виразом (8).

Початкове значення струму через індуктивність (РЛ) завжди слід приймати рівним нулю $i_L(0) = i_L(0) = 0$. Величину напруги на ємності, якщо вона ввімкнена послідовно з РЛ, визначати як $u_C(0) = -\sqrt{3} \cdot I_{L.n.} \cdot X_C$.

Елементи матриці (7) визначаються наступним чином. Припускаємо, що в колі діє лише одне джерело ЕРС u_C , а інші вимкнені (джерела ЕРС замкнені, джерела струму розімкнені). При розмиканні джерела струму i_L і замиканні джерела ЕРС U_m отримуємо схему рис. 1,в. Із цієї схеми знаходимо

$$\alpha_{1C} = -i_C / u_C = u_C / [(R_{cm} + R_m + 1/G_L) \cdot u_C] = -1 / (R_{cm} + R_m + 1/G_L) \quad (9)$$

$$\alpha_{2C} = -u_L / u_C = u_C \cdot R_{cm} / [(R_{cm} + R_M + 1/G_L) \cdot u_C] = -R_{cm} / (R_{cm} + R_M + 1/G_L) \quad (10)$$

Припускаємо, що в колі рис. 1,б діє лише джерело струму i_L , а інші вимкнені (джерела ЕРС замкнені). При замиканні джерел ЕРС U_M, U_C отримуємо схему рис. 1,з. Із цієї схеми знаходимо

$$\alpha_{1L} = R_{cm} \cdot (R_M + 1/G_L) \cdot i_L / [(R_{cm} + R_M + 1/G_L) \cdot (R_M + 1/G_L) \cdot i_L] = R_{cm} / (R_{cm} + R_M + 1/G_L), \quad (11)$$

$$\alpha_{2L} = -u_L / u = i_L = -R_{cm} \cdot (R_M + 1/G_L) \cdot i_L / [(R_{cm} + R_M + 1/G_L) \cdot i_L] = -R_{cm} \cdot (R_M + 1/G_L) / (R_{cm} + R_M + 1/G_L), \quad (12)$$

Припускаємо, що в колі рис. 1,б діє лише джерело ЕРС U_M , а інші вимкнені. При замиканні джерел ЕРС U_C і розмиканні джерела струму i_L отримуємо схему рис. 1,д. Із цієї схеми знаходимо

$$\beta_{1M} = i_C / U_M = U_M / [(R_{cm} + R_M + 1/G_L) \cdot U_M] = 1 / (R_{cm} + R_M + 1/G_L), \quad (13)$$

$$\beta_{2M} = u_L / U_M = U_M \cdot R_{cm} / [(R_{cm} + R_M + 1/G_L) \cdot U_M] = R_{cm} / (R_{cm} + R_M + 1/G_L), \quad (14)$$

Підставляємо значення знайдених елементів матриці в (7)

$$\begin{bmatrix} i_C \\ u_L \\ f^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & R_{cm} & 0 \\ R_{cm} + R_M + 1/G_L & (R_{cm} + R_M + 1/G_L) & \\ -R_{cm} & -R_{cm} \cdot (R_M + 1/G_L) & \\ R_{cm} + R_M + 1/G_L & (R_{cm} + R_M + 1/G_L) & \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_C \\ i_L \\ f_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ R_{cm} + R_M + 1/G_L \\ R_{cm} \\ R_{cm} + R_M + 1/G_L \\ 0 \end{bmatrix} \cdot [u_M]$$

Після підстановки у вектор стовбець матриці змінних стану виразів для струму в ємності $i_C = C \cdot du_C / dt$, напруги на індуктивності $u_L = L \cdot di_L / dt$, диференціального оператора лівої частини $f^* = dG_L / dt$ і $f_L = A_0 \cdot (i_L^2 - U_0^2 \cdot G_L^2)$ отримаємо систему рівнянь (15), яка безпосередньо придатна для аналізу кола на персональному комп'ютері [6,7].

$$\begin{cases} \frac{du_C}{dt} = \frac{u_M - u_C + R_{cm} \cdot i_L}{C \cdot (R_M + R_{cm} + 1/G_L)} \\ \frac{di_L}{dt} = \frac{R_{cm} \cdot (u_M - u_C - (R_M + 1/G_L) \cdot i_L)}{L \cdot (R_M + R_{cm} + 1/G_L)} \\ \frac{dG_L}{dt} = A \cdot (i^2 - U_0^2 \cdot G_L^2) \end{cases} \quad (15)$$

У зв'язку з тим, що вольт-амперні характеристики електромагнітних баластних дроселів принципово нелінійні при розрахунках завжди необхідно враховувати нелінійність їх характеристик. Для цього необхідно використовувати вирази, які описують сімейство вольт-амперних характеристик при різних варіаціях величини повітряного зазору. Наприклад, лінійно-гіперболічну апроксимацію, яка дозволяє достатньо точно (із похибкою <5 %) описувати хід основної кривої намагнічування як при наявності, так і при відсутності немагнітного зазору в магнітному колі дроселя.

Вираз, який описує сімейство вольт-амперних характеристик баластних дроселів при різних варіаціях величини повітряного зазору має наступний вигляд

$$H_{max} = \begin{cases} \frac{1 + \mu_H \cdot \sigma}{\mu_H} \cdot \left\{ B_m + \frac{\mu_H \cdot a \cdot b}{(\mu_H^2 \cdot b^2 - a^2) \cdot (1 + \mu_H \cdot \sigma)} \cdot \left[\frac{a}{\mu_H \cdot b} \cdot B_m + \sqrt{(B_m - B_u - a)^2 + \mu_H^2 \cdot b^2 - a^2} - (\mu_H \cdot b + \frac{a \cdot B_u}{\mu_H \cdot b}) \right] \right\}, \\ \text{при } B_m > B_u, \frac{1 + \mu_H \cdot \sigma}{\mu_H} \cdot B_m, \text{ при } B_m \leq B_u, \end{cases}$$

де μ_H – початкова магнітна проникність;

H_u, B_u – значення напруженості магнітного поля і магнітної індукції в точці згину основної кривої намагнічування (рис. 2);

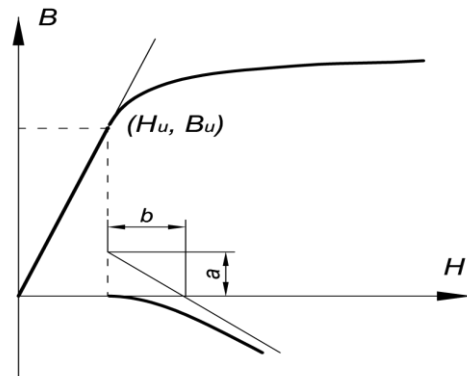


Рис. 2. Лінійно-гіперболічна апроксимація основної кривої намагнічування сталі

H_m, B_m – значення максимальних напруженості магнітного поля і магнітної індукції;
 a, b – параметри гіперболи (рис. 2);
 σ – приведена довжина повітряного зазору,
 $\sigma = l_{ne} / (l_{ne} + l_{cm}) \cdot 0,7958 \cdot 10^6 / \gamma$,
 l_{ne} – розрахункова довжина повітряного зазору;
 l_{cm} – середня довжина магнітних силових ліній осердя магнітопроводу;
 γ – коефіцієнт, який враховує розсіяння і випучування магнітного потоку в немагнітному зазорі.

Порівняльна оцінка результатів розрахунку електричних кіл довільної конфігурації з розрядними лампами на промисловій і високих частотах із джерелами живлення синусоїдної й прямокутної форми показала, що похибка розрахунків миттєвих і діючих значень електричних величин та безрозмірних коефіцієнтів (пульсацій світлового потоку, потужності, амплітуди струму) не перевищує 5 %.

Висновки

1. Сформульовані основні особливості формування рівнянь стану електричних кіл довільної конфігурації із РЛ. Визначено, що до основних змінних стану необхідно відносити провідність РЛ.

2. Отримано вираз для визначення початкової провідності РЛ (в момент проходження струму лампи через нуль), що дозволило обмежити тривалість розрахунку стаціонарних усталених режимів двома періодами.

3. Встановлено, що відношення екстремальних значень провідності РЛ на періоді $G_{л.макс} / G_{л.мін}$ можна використовувати для визначення коефіцієнта пульсацій світлового потоку. Це дає можливість на стадії проектування електромагнітних та електронних ПРА для РЛ проводити оцінку якісних показників освітлення.

4. Доведено, що застосування диференціальних математичних моделей ПЛ дає можливість: а) поглибити теоретичні дослідження перехідних процесів та усталених режимів роботи ламп в електричних колах довільної конфігурації; б) оцінювати вплив втрат потужності в дроселі на електричні параметри контуру; в) здійснювати аналіз електричних кіл із паузами струму, широких варіаціях частоти, кіл, у яких розряд носить характер імпульсу, визначати процентний склад вищих гармонік у струмі РЛ. Це спрощує процес створення високоякісних електромагнітних баластних дроселів із низькими та наднизькими втратами, відзначеними в Директиві 2005/32/EU.

Література

1. Краснопольский А.Е. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп / А.Е. Краснопольский, В.Б. Соколов, А.М. Троицкий, под общ. ред. Краснопольского А.Е. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
2. Бамдас А.М. Дроссели переменного тока радиоэлектронной аппаратуры / А.М. Бамдас, Ю.А. Савиновский – М.: Советское радио, 1969. – 248 с.
3. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света – 2-е изд. Перераб. и доп. / Г.Н. Рохлин. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
4. Фугенфиров М.И. Электрические схемы с газоразрядными лампами / М.И. Фугенфиров – М.: Энергия, 1974 – 363 с.
5. Теоретические основы электротехники. Том. II. Нелинейные цепи и основы электромагнитного поля / [Ионкин П.А., Даревский А.И., Миронов В.Г. и др.]; под. ред. П.А. Ионкина. – [2-е изд.]. – М.: Высш. школа, 1976. – 386 с.
6. Гурский Д.А. Вычисления в MathCAD / Д.А. Гурский – Мн.: Новое знание, 2003. – 814 с.
7. Чазмахсазян Е.Н. Машинный анализ интегральных схем. / Е.Н. Чазмахсазян, Ю.И. Бармаоков, А.Э. Гольденберг. – М.: Советское радио, 1974. – 270 с.

References

1. Krasnopol'skij A.E. Puskoregulirujushhie apparaty dlja razrjadnyh lamp / A.E. Krasnopol'skij, V.B. Sokolov, A.M. Troickij, pod obshh. red. Krasnopol'skogo A.E. – М.: Jenergoatomizdat, 1988. – 208 s.
2. Bamdas A.M. Drosseli peremennogo toka radiojelektroonnoj apparatury / A.M. Bamdas, Ju.A. Savinovskij – М.: Sovetskoe radio, 1969. – 248 s.
3. Rohlin G.N. Razrjadnye istochniki sveta – 2-e izd. Pererab. i dop. / G.N. Rohlin. – М.: Jenergoatomizdat, 1991. – 720 s.
4. Fugenfirov M.I. Jelektricheskie shemy s gazorazrjadnymi lampami / M.I. Fugenfirov – М.: Jenergija, 1974 – 363 s.
5. Teoreticheskie osnovy jelektrotehniki. Tom. II. Nelinejnye cepi i osnovy jelektromagnitnogo polja / [Ionkin P.A., Darevskij A.I., Mironov V.G. i dr.]; pod. red. P.A. Ionkina. – [2-e izd.]. – М.: Vyssh. shkola, 1976. – 386 s.
6. Gurskij D.A. Vychislenija v MathCAD / D.A. Gurskij – Мн.: Novoe znanie, 2003. – 814 s.
7. Chazmahsazjan E.N. Mashinnyj analiz integral'nyh shem. / E.N. Chazmahsazjan, Ju.I. Barmaokov, A.Je. Gol'denberg. – М.: Sovetskoe radio, 1974. – 270 s.

Автор: ТАРАСЕНКО Микола Григорович

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри енергозбереження та енергетичного менеджменту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

E-mail – tarasenko_mykola@ukr.net

Автор: ОБЧИННИКОВ Станіслав Степанович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри світлотехніки і джерел світла

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова.

E-mail – harsum@mail.ru

Автор: ВОЛКОВА Оксана Юрїївна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри електропостачання міст
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – kasya_polish@mail.ru

Автор: ХВОРОСТ Микола Васильович

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри безпека життєдіяльності
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – zn@kname.edu.ua

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАЗРЯДНЫХ ЛАМП ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С ПУСКОРЕГУЛИРУЮЩИМИ АППАРАТАМИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

М.Г.Тарасенко, С.С.Овчинников, О.Ю.Волкова, Н.В. Хворост

В статье рассмотрены особенности формирования уравнений состояния при использовании дифференциальных математических моделей разрядных ламп для анализа электрических цепей с пускорегулирующими аппаратами произвольной конфигурации. Это дает возможность сократить сроки разработки энергоэкономичных как электромагнитных, так и электронных пускорегулирующих аппаратов для разрядных ламп низкого и высокого давления.

Ключевые слова: ПРА, разрядная лампа, дроссель, энергетическая эффективность, дифференциальная, математическая модель

THE DIFFERENTIAL MATHEMATICAL MODELS USE OF DISCHARGE LAMPS FOR THE ANALYSIS OF ELECTRICAL CIRCUIT WITH CONTROL GEAR OF ARBITRARY CONFIGURATION

M. Tarasenko, S.Ovchynnykov, O. Volkova, N. Khvorost

The increase in a share of high performance digit lamps of low and high pressure which cannot work without express Start-up the regulating equipment is one of paths of the successful solution of a question of economy of the electric power on irradiating.

The analysis of the last researches and publications (1,2,3,4) showed that algebraic mathematical models of digit lamps connect functionally only values of sizes at a given time and do not allow to consider their previous history, do not consider an inertance of processes which happen in a mercury discharge through gases. These shortcomings differential mathematical models of digit lamps which allow considering the previous history of processes are deprived. Determination of effectiveness of use of the modern methods of the analysis of electric circuits with digit lamps for determination of energy efficiency of a set of Start-up the regulating equipment at a design stage became the purpose of this article. In work features of formation of an equation of state of electric circuits of the arbitriest configuration with digit lamps are formulated. It is proved that use of differential mathematical models gives the chance to estimate influence by a power loss on electric parameters of a contour, to conduct the analysis of electric circuits with current pauses, wide variations of frequency that simplifies process of creation of high-intensity electromagnetic ballast throttles, noted in the Directive 2005 / 32/EU.

Keywords: Start-up the regulating equipment ЕПРА, Electronic Start-up the regulating equipment, discharge lamp, throttle, power effectiveness, the differential, mathematical model