

УДК 621.327

МЕТОД ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ РОЗРЯДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

А.Лупенко¹, канд.техн.наук, Л.Мовчан², канд.техн.наук, В.Натяга³, І.Сисак⁴
^{1,2,3,4} – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
 вул. Руська, 56, Тернопіль, Україна

Проаналізовано вихідний каскад високочастотного електронного пускорегулювального апарата (ЕПРА) з широтно-імпульсним регулюванням потужності розрядних ламп, який виконано за схемою резонансного напівмостового інвертора з асиметричним керуванням. У послідовному коливальному контурі лампа під'єднана паралельно до конденсатора. Встановлено залежності миттєвих значень струму індуктивності та напруги на лампі від коефіцієнта заповнення імпульсів інвертора в усталеному режимі. Розраховано регулювальні характеристики ЕПРА при різних значеннях характеристичних опорів. Показано суттєвий вплив характеристичного опору контуру на діапазон зміни коефіцієнту заповнення. Відзначено, що при проектуванні вихідного каскаду ЕПРА необхідно узгоджувати характеристичний опір з напругою живлення каскаду, забезпечуючи коефіцієнт заповнення близьким до 0,5 при номінальній потужності лампи. Для верифікації запропонованого підходу знято експериментальну характеристику "коефіцієнт заповнення – потужність" для лампи ЛД-40. Результати розрахунків добре узгоджуються з результатами експерименту. Бібл. 7, рис. 5.

Ключові слова: широтно-імпульсне регулювання, розрядна лампа, електронний пускорегулювальний апарат, математична модель, вихідний каскад.

Постановка проблеми. Проблемі економії електроенергії в освітленні приділяється все більше уваги у передових країнах світу. Одним із основних шляхів підвищення енергоефективності в світлотехнічній галузі є широке впровадження розрядних ламп (РЛ) як джерел світла в системах та пристроях внутрішнього та зовнішнього освітлення. Енергозбереження при освітленні приміщень можливе за умови використання систем керування локальною освітленістю, які реагують на присутність людей у приміщеннях та на зміну зовнішнього освітлення. Створення таких систем на базі РЛ можливе лише при використанні електронних пускорегулювальних апаратів (ЕПРА), які забезпечують регулювання потужності, споживаної розрядною лампою, а отже, її світлового потоку, який практично прямо пропорційний до цієї потужності. Метод регулювання потужності РЛ суттєво впливає на техніко-економічні показники систем освітлення. Для раціонального вибору методу регулювання потужності необхідно виконати попередній аналіз можливих методів та провести їхнє порівняння між собою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Детальному дослідженню основних методів регулювання потужності РЛ присвячено ряд робіт. Регулювання потужності РЛ шляхом зміни частоти комутації напівмостового або мостового інвертора напруги розглянуто в роботах [2,3,5,7], фазовий та амплітудний методи регулювання потужності – у [3,4]. Дослідження всіх цих методів регулювання виконано за допомогою наближеного методу основної гармоніки [1]. Однак аналіз методу широтно-імпульсного регулювання (ШІР) [5] розкрито в недостатньо повній мірі. Недосконалістю наближеного підходу є також неможливість оцінити на стадії проектування такий важливий параметр ЕПРА як коефіцієнт амплітуди струму РЛ (відношення амплітудного значення струму лампи до його діючого значення), від якого суттєво залежить термін служби лампи (нормативні документи регламентують його значення не більше 1,7), а також неможливість визначити пікові значення напруг і струмів у компонентах вихідного каскаду ЕПРА. ШІР потужності знаходить широке застосування в силовій електроніці, проте особливості його використання в ЕПРА спонукають до більш повного їхнього дослідження і, в першу чергу, регулювальної характеристики як залежності потужності лампи від коефіцієнта заповнення імпульсів інвертора при різних значеннях параметрів вихідного каскаду ЕПРА (характеристичного опору, робочої частоти, напруги живлення і т.п.).

Тому актуальною є задача аналізу методу ШІР споживаної потужності РЛ за допомогою досконалішого методу, ніж метод основної гармоніки.

Метою роботи є дослідження регулювання потужності в розрядних лампах шляхом зміни коефіцієнта заповнення імпульсів високочастотного інвертора напруги.

Найбільш поширеною схемою вихідного каскаду є напівмостовий резонансний інвертор з послідовним коливальним контуром $LCC_{\text{роз}}$, де РЛ під'єднана паралельно до конденсатора C (рис. 1, а) [7]. Ключі (транзистори $VT1$ і $VT2$) комутуються під дією керуючих напруг U_1 і U_2 , які формуються драйвером. В інверторі використано асиметричне керування ключами [6]. Коефіцієнти заповнення імпульсів (відношення тривалості імпульсів до періоду їхнього повторення) керування транзисторами $VT1$ і $VT2$ становлять відповідно D і $(1-D)$. Асиметричне керування забезпечує широкий діапазон регулювання потужності в РЛ та комутацію транзисторів при нульовій напрузі. Мінімальне значення потужності в РЛ обумовлене, з одного боку, типом РЛ, а з іншого – мінімальним значенням коефіцієнта заповнення, при якому ще виконується умова комутації транзисторів при нульовій напрузі. Роздільний конденсатор $C_{\text{роз}}$ усуває постійну складову прямокутних імпульсів інвертора. Тому форма напруги безпосередньо на вході LC -контур має вигляд, показаний на рис. 2, де D – коефіцієнт заповнення імпульсів, зміною якого можна регулювати потужність, що підводиться до лампи, U_0 – постійна напруга живлення вихідного каскаду.

Аналіз виконаємо за допомогою операторного методу. Замінімо схему вихідного каскаду його еквівалентною схемою (рис. 1, б), взявши до уваги наступні міркування: роздільна ємність є досить великою, пульсації напруги на ній відсутні; елементи коливальної системи є ідеальними; кондуктивні та комутаційні втрати в транзисторах дорівнюють нулю. На еквівалентній схемі позначено: $u(t)$ – напруга на вході коливального контуру, часова діаграма якої показана на рис. 2, а $R(P)$ – опір РЛ при потужності P , яка споживається лампою в усталеному режимі. Оскільки в перехідному режимі опір лампи змінюється від початкового значення до значення в усталеному режимі за складним законом завдяки інерційності та нелінійності процесів у газовому розряді, в подальшому для встановлення математичних співвідношень будемо позначати його як R , а вже в усталеному режимі – як $R(P)$, підкреслюючи, що значення опору лампи в усталеному режимі залежить лише від потужності, споживаної лампою, причому цю залежність будемо вважати відомою.

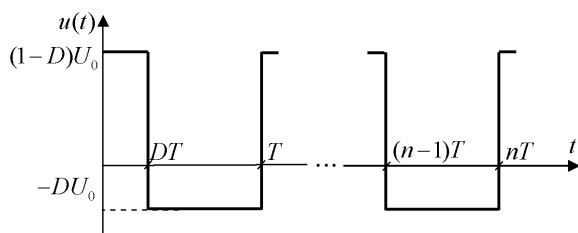


Рис. 2

$$p_1 = -\alpha + j\omega_0\sqrt{1-\xi^2} = -\alpha + j\omega_{\text{вн}}, \quad p_2 = -\alpha - j\omega_0\sqrt{1-\xi^2} = -\alpha - j\omega_{\text{вн}},$$

де $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ – резонансна частота; $\xi = \sqrt{L/C}/2R$ – параметр згасання; $\omega_{\text{вн}} = \omega_0\sqrt{1-\xi^2}$ – частота вільних згасаючих коливань; $\alpha = \xi\omega_0 = 1/2RC$ – коефіцієнт згасання.

Напругу, прикладену до контуру, розглянемо як послідовність прямокутних додатних імпульсів u^+ тривалістю DT і від'ємних імпульсів u^- тривалістю $(1-D)T$, які чергуються між собою (рис. 2). Застосовуючи одиничні ступінчасті функції $1(t)$ з відповідним зміщенням, можна описати будь-який додатний u_i^+ та від'ємний u_i^- імпульси (тут i – номер імпульсу, $i = \overline{1, n}$) у вигляді

$$u_i^+ = (1 - DU_0) \cdot U_0 \cdot 1(t) = U_0 \cdot 1(t) - DU_0 \cdot 1(t),$$

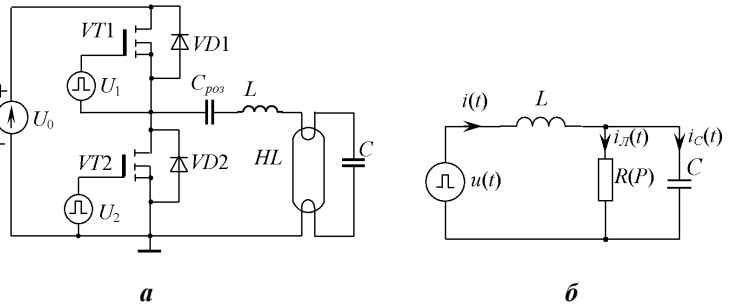


Рис. 1

Операторна вхідна провідність еквівалентної схеми (рис. 2) описується виразом

$$Y = (RCp + 1)(RLCp^2 + Lp + R)^{-1}. \quad (1)$$

За знаменником виразу (1) можна записати характеристичне рівняння схеми, корені якого визначають характер перехідних процесів – коливальний, аперіодичний чи критичний. В ЕІРА виористовується коливальний режим, який має місце, коли ці корені є комплексно-спряженими:

$$\begin{aligned}
u_1^- &= U_0 \cdot 1(t) - DU_0 \cdot 1(t) - U_0 \cdot 1(t - DT), \\
u_2^+ &= U_0 \cdot 1(t) - DU_0 \cdot 1(t) - U_0 \cdot 1(t - DT) + U_0 \cdot 1(t - T), \\
u_2^- &= U_0 \cdot 1(t) - DU_0 \cdot 1(t) - U_0 \cdot 1(t - DT) + U_0 \cdot 1(t - T) - U_0 \cdot 1[t - (T + DT)].
\end{aligned}$$

Або, в загальному, n -ий додатний та n -ий від'ємний імпульси описуються відповідно виразами:

$$u_n^+ = U_0 \cdot 1(t) - DU_0 \cdot 1(t) - U_0 \cdot 1(t - DT) + \dots - U_0 \cdot 1[t - ((n-2)T + DT)] + U_0 \cdot 1[t - (n-1)T], \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
u_n^- &= U_0 \cdot 1(t) - DU_0 \cdot 1(t) - U_0 \cdot 1(t - DT) + \dots - U_0 \cdot 1[t - ((n-2)T + DT)] + \\
&+ U_0 \cdot 1[t - (n-1)T] - U_0 \cdot 1[t - ((n-1)T + DT)].
\end{aligned} \quad (3)$$

Враховуючи, що зображення оригіналів $L\{1(t)\} = 1/p$ і $L\{1(t-\alpha)\} = e^{-\alpha p} \cdot 1/p$, представимо зображення n -них вхідних додатного і від'ємного імпульсів у вигляді

$$\begin{aligned}
U_n^+(p) &= \frac{1}{p}(-DU_0 + U_0 - U_0 e^{-DTp} + U_0 e^{-Tp} - U_0 e^{-(T+DT)p} + U_0 e^{-2Tp} - \dots - U_0 e^{-(n-2)T+DT)p} + U_0 e^{-(n-1)Tp}) = \\
&= \frac{1}{p}(-DU_0 + U_0((1 + e^{-Tp} + e^{-2Tp} + \dots + e^{-(n-1)Tp}) - e^{-DTp}(1 + e^{-Tp} + e^{-2Tp} + \dots + e^{-(n-2)Tp}))),
\end{aligned} \quad (4)$$

$$U_n^-(p) = \frac{1}{p}(-DU_0 + U_0((1 + e^{-Tp} + e^{-2Tp} + \dots + e^{-(n-1)Tp})(1 - e^{-DTp}))). \quad (5)$$

Знайдемо вираз для струму індуктивності на інтервалі дії n -го додатного імпульсу. На цьому інтервалі виконується умова $0 \leq t' \leq DT$. Операторне зображення цього струму, враховуючи (1) і (4), має вигляд

$$I_n^+(p) = \frac{[-DU_0 + U_0[(1 + e^{-Tp} + \dots + e^{-(n-1)Tp}) - e^{-DTp}(1 + e^{-Tp} + \dots + e^{-(n-2)Tp})]](1 + RCp)}{p(RLCp^2 + Lp + R)}. \quad (6)$$

Позначивши чисельник виразу (6) як $A^+(p)$ та $B(p) = RLCp^2 + Lp + R$ і використовуючи теорему розкладу, знаходимо оригінал струму індуктивності протягом додатного n -го імпульсу (при $t = (n-1)T + t' (0 \leq t' \leq DT)$)

$$i_n^+(t) = \frac{A(0)}{B(0)} + 2\operatorname{Re} \frac{A^+(p_1)}{p_1 B'(p_1)} e^{p_1 t}, \quad (7)$$

де $B'(p_1) = 2RLCp_1 + L$.

Отже

$$\begin{aligned}
i_n^+(t) &= \frac{(1-D)U_0}{R} + 2\operatorname{Re} \left[\frac{-DU_0}{(-\alpha + j\omega_{\text{вн}})[2RLC(-\alpha + j\omega_{\text{вн}}) + L]} + \right. \\
&+ \left. \frac{U_0[(1 + e^{-T(-\alpha + j\omega_{\text{вн}})} + \dots + e^{-(n-1)T(-\alpha + j\omega_{\text{вн}})}) - e^{-DT(-\alpha + j\omega_{\text{вн}})}(1 + e^{-T(-\alpha + j\omega_{\text{вн}})} + \dots + e^{-(n-2)T(-\alpha + j\omega_{\text{вн}})})]}{(-\alpha + j\omega_{\text{вн}})[2RLC(-\alpha + j\omega_{\text{вн}}) + L]} \right] \times \\
&\times (1 + RC(-\alpha + j\omega_{\text{вн}}))e^{(-\alpha + j\omega_{\text{вн}})((n-1)T + t')} = \\
&= \frac{(1-D)U_0}{R} + \frac{1}{RLC\omega_{\text{вн}}} e^{-\alpha t'} \operatorname{Re} \frac{(-DU_0 e^{-\alpha(n-1)T} e^{j(n-1)T\omega_{\text{вн}}} (1 - e^{-T(\alpha - j\omega_{\text{вн}})}) + U_0(1 - e^{-Tn(\alpha - j\omega_{\text{вн}})} - e^{DT\alpha} e^{-jDT\omega_{\text{вн}}}))}{(-\omega_{\text{вн}} + j\alpha)(1 - e^{-\alpha T} \cos \omega_{\text{вн}} T) - je^{-\alpha T} \sin \omega_{\text{вн}} T} \times \\
&\times \frac{(e^{-(\alpha - j\omega_{\text{вн}})} - e^{-(\alpha - j\omega_{\text{вн}})Tn})(1 - RC\alpha) + jRC\omega_{\text{вн}}}{(-\omega_{\text{вн}} + j\alpha)(1 - e^{-\alpha T} \cos \omega_{\text{вн}} T) - je^{-\alpha T} \sin \omega_{\text{вн}} T} e^{j\omega_{\text{вн}} t'}.
\end{aligned}$$

Вираз струму індуктивності протягом додатного імпульсу в усталеному режимі при $n \rightarrow \infty$ має вигляд

$$i_\infty^+(t) = \frac{(1-D)U_0}{R(P)} - \frac{1}{R(P)LC\omega_{\text{вн}}} \frac{\sqrt{A_{12}^2 + B_{12}^2}}{\sqrt{A_0^2 + B_0^2}} e^{-\alpha t'} \cos(\omega_{\text{вн}} t' + \arctan\left(\frac{B_{12}}{A_{12}}\right) - \arctan\left(\frac{B_0}{A_0}\right)), \quad (8)$$

де $A_{12} = (1 - R(P)C\alpha)k_{12} - R(P)C\omega_{\text{вн}}d_{12}$, $B_{12} = R(P)C\omega_{\text{вн}}k_{12} + (1 - R(P)C\alpha)d_{12}$,

$$k_{12} = U_0 \left[1 - e^{\alpha(DT-T)} \cos[\omega_{\text{вн}}(DT-T)] \right], \quad d_{12} = U_0 e^{\alpha(DT-T)} \sin[\omega_{\text{вн}}(DT-T)].$$

Аналогічно, визначивши струм індуктивності на інтервалі дії n -го від'ємного імпульсу, де виконується умова $DT \leq t' \leq T$, можна записати вираз для цього струму в усталеному режимі при $n \rightarrow \infty$

$$i_{\infty}^{-}(t) = -\frac{DU_0}{R(P)} - \frac{1}{R(P)LC\omega_{\text{вн}}} \frac{\sqrt{A_{14}^2 + B_{14}^2}}{\sqrt{A_0^2 + B_0^2}} e^{-\alpha t'} \cos(\omega_{\text{вн}} t' + \arctan(\frac{B_{14}}{A_{14}}) - \arctan(\frac{B_0}{A_0})), \quad (9)$$

де $A_{14} = (1 - R(P)C\alpha)k_{14} - R(P)C\omega_{\text{вн}}d_{14}, \quad B_{14} = R(P)C\omega_{\text{вн}}k_{14} + (1 - R(P)C\alpha)d_{14},$
 $k_{14} = U_0 \left[1 - e^{\alpha DT} \cos(\omega_{\text{вн}} DT) \right], \quad d_{14} = U_0 e^{\alpha DT} \sin(\omega_{\text{вн}} DT).$

Знайдемо напругу $u(t)$ на паралельному з'єднанні для усталеного режиму.

Для цього запишемо її зображення на інтервалі дії додатного вхідного імпульсу при $t = nT + t' (0 < t' < DT)$ і після перетворень при $n \rightarrow \infty$ отримаємо

$$u_{\infty}^{+}(t) = (1 - D)U_0 - \frac{1}{LC\omega_{\text{вн}}} \frac{\sqrt{k_{12}^2 + d_{12}^2}}{\sqrt{A_0^2 + B_0^2}} e^{-\alpha t'} \cos(\omega_{\text{вн}} t' + \arctan(\frac{d_{12}}{k_{12}}) - \arctan(\frac{B_0}{A_0})). \quad (10)$$

Аналогічно для випадку від'ємного імпульсу

$$u_{\infty}^{-}(t) = -DU_0 - \frac{1}{LC\omega_{\text{вн}}} \frac{\sqrt{k_{14}^2 + d_{14}^2}}{\sqrt{A_0^2 + B_0^2}} e^{-\alpha t'} \cos(\omega_{\text{вн}} t' + \arctan(\frac{d_{14}}{k_{14}}) - \arctan(\frac{B_0}{A_0})). \quad (11)$$

Діюче значення напруги на лампі, використовуючи вирази (10) і (11), можна записати у вигляді

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_0^{DT} u_{\infty}^{+}(t)^2 dt + \int_{DT}^T u_{\infty}^{-}(t)^2 dt \right)}, \quad (12)$$

а потужність лампи –

$$P = U^2 / R(P). \quad (13)$$

Регульовальну характеристику як залежність потужності лампи P від коефіцієнта заповнення D можна отримати шляхом розв'язку рівняння, отриманого за виразами (12) і (13),

$$p = \frac{1}{T \cdot R(P)} \left(\int_0^{DT} u_{\infty}^{+}(t)^2 dt + \int_{DT}^T u_{\infty}^{-}(t)^2 dt \right). \quad (14)$$

$R(P)$ – опір лампи при заданій споживаній потужності лампи можна визначити за її вольт-потужнісною характеристикою.

З експериментальної вольт-амперної характеристики РЛ, отриманої для широкого діапазону потужностей, використовуючи метод найменших квадратів, знайдено вираз (на прикладі РЛ ЛД-40) для її характеристики в координатах напруга-потужність [2]

$$U(P) = a_0 + a_1 P + a_2 \exp(a_3 P), \quad (15)$$

де $U(P)$ – діюче значення напруги РЛ при її потужності P ; $a_0=126, a_1=-0,603, a_2=-38,94, a_3=-0,383$ – апроксимаційні коефіцієнти.

Шляхом чисельного розв'язку рівняння (14) з врахуванням виразу (15) розраховано регульовальні характеристики ЕПРА з люмінесцентною лампою ЛД-40 для трьох значень характеристичних опорів коливального контуру. Ці характеристики показані на рис. 3 (зверху вниз відповідно для характеристичних опорів 450, 350 та 250 Ом) при $U_0=415$ В та робочій частоті 38 кГц. Блок-схему алгоритму розрахунку регульовальних характеристик представлено на рис. 4.

Як видно з рис. 3, регульовальна характеристика має невелику плавну нелінійність, що вказує на добру ре-

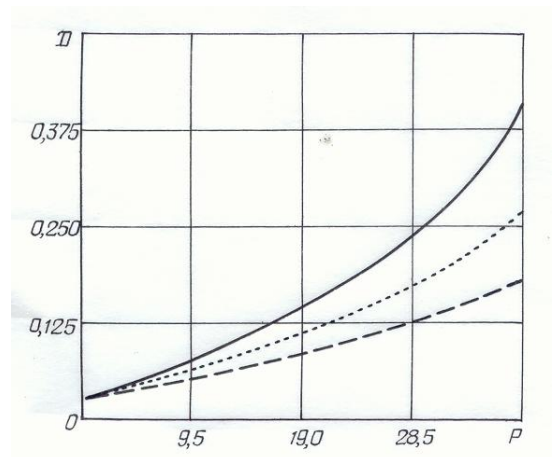


Рис. 3

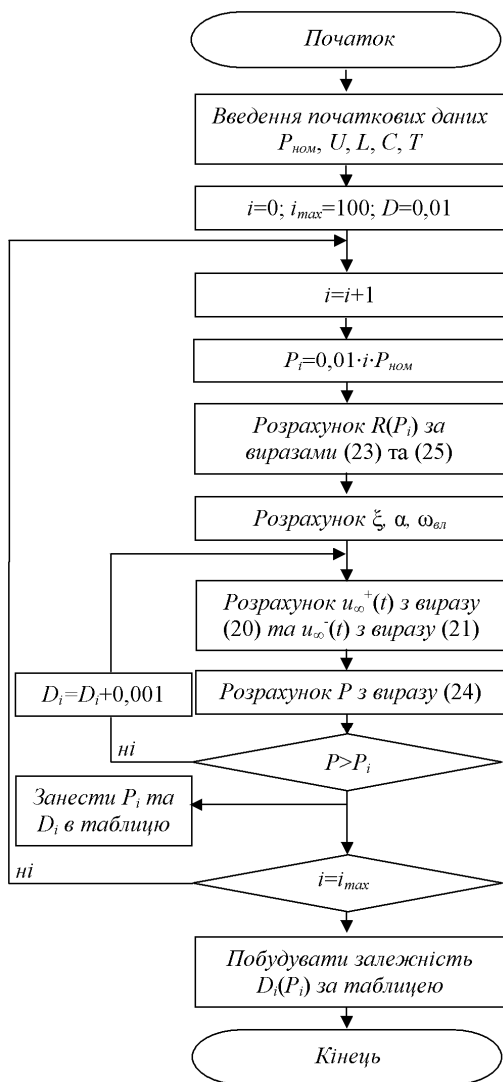


Рис. 4

Висновки. Метод широтно-імпульсного регулювання потужності в розрядній лампі забезпечує плавне регулювання потужності в розрядній лампі в широкому діапазоні і може бути застосований в димінгових ЕПРА завдяки простоті реалізації. Величина характеристичного опору коливального контуру вихідного каскаду ЕПРА суттєво впливає на діапазон зміни коефіцієнта заповнення та чутливості регулювання потужності. При розрахунку параметрів вихідного каскаду ЕПРА необхідно узгоджувати характеристичний опір коливального контуру з напругою живлення каскаду таким чином, щоб коефіцієнт заповнення при максимальній потужності в лампі наближався до 0,5, що за рівних інших умов дозволяє досягти максимального коефіцієнта корисної дії ЕПРА.

1. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.:Высшая школа, 1982. – 496 с. Zabrodin Yu.S. Industrial electronics. – Moskva: Vysshaya shkola, 1982. – 496 p. (Rus.)
2. Лупенко А.М. Дослідження частотного методу регулювання потужності люмінесцентних ламп // Світло-LUX. – 2007. – №5. – С. 92–97. Lupenko A.M. Research of frequency method of voltage control of fluorescent lamps // Svitlo-LUX. – 2007. – №5. – P. 92–97. (Ukr.)

гульовальну властивість за методом ШПР. Але величина характеристичного опору суттєво впливає на діапазон зміни коефіцієнта заповнення в процесі регулювання потужності. При зменшенні характеристичного опору зменшується максимальне значення коефіцієнта заповнення при максимальній потужності, що споживається лампою, тобто, зростає чутливість цієї потужності до керуючого впливу. При меншому коефіцієнті заповнення будуть погіршуватися енергетичні характеристики каскаду, оскільки в цьому випадку при заданій вищезгаданій потужності відповідно будуть зростати максимальні струми комутуючих елементів, а отже і втрати в них. Тому при розрахунку параметрів вихідного каскаду необхідно узгоджувати характеристичний опір коливального контуру з напругою живлення каскаду таким чином, щоб коефіцієнт заповнення при номінальній потужності в лампі наближався до 0,5.

З метою верифікації запропонованого підходу знято експериментальну характеристику "коефіцієнт заповнення–потужність" для лампи ЛД-40 та ЕПРА з параметрами: $C = 9,8$ нФ, $L = 2,1$ мГн, $R = 280$ Ом, робоча частота $f = 38$ кГц, напруга живлення каскаду $U_0 = 415$ В. Експериментальна характеристика показана на рис. 5 точками, а розрахункова залежність – суцільною лінією. Рис. 5 демонструє високий ступінь відповідності між теоретичними та експериментальними результатами.

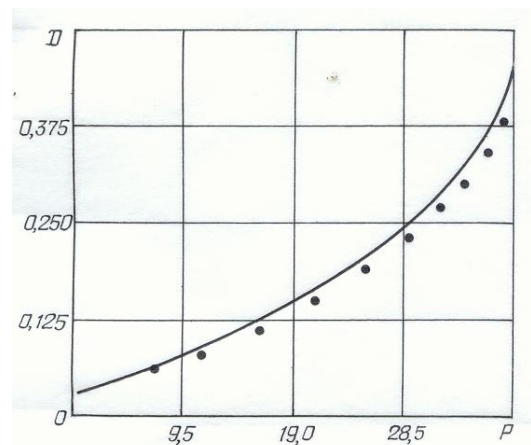


Рис. 5

3. Лупенко А., Великий В., Натяга В. Порівняльний аналіз методів регулювання потужності люмінесцентних ламп електронними пускорегулювальними апаратами // Матеріали всеукраїнської наукової конференції ТДТУ. – Тернопіль, 2009. – 222 с.

Lupenko A., Velykyi V., Natiaga V. Comparative analysis of the methods of voltage control of fluorescent lamps by electronic ballast // Materialy vseukrainskoi naukovoї konferentsii TNTU, Ternopil, 2009. – 222 p. (Ukr.)

4. Лупенко А., Натяга В. Амплітудне регулювання потужності люмінесцентних ламп електронними пускорегулювальними апаратами // Вісник ТДТУ. – 2008. – №4. – С. 138–146.

Lupenko A., Natiaga V. Voltage control of fluorescent lamps dimming by electronic ballast // Visnyk Ternopil'skogo natsionalnogo tekhnichnogo universytetu. – 2008. – №4. – P. 138–146. (Ukr.)

5. Обжерин Е.А., Панфилов Д.И., Поляков В.Д. Сравнительный анализ способов регулирования светового потока люминесцентных ламп // Светотехника. – 2003. – №3. – С. 21–23.

Obzherin E.A., Panfilov D.I., Poliakov V.D. Comparative analysis of methods to control the light flux of fluorescent lamps // Svetotekhnika. – 2003. – №3. – P. 21–23. (Rus.)

6. Cavalcante F.S., Barbi I. A New Dimmable 70W Electronic Ballast for High Pressure Sodium Lamps // Conf. Rec. of IEEE Industry Applications Conference, Pittsburgh (Pennsylvania), USA. – 2002. – Vol. 3. – P. 1856–1862.

7. Moo C.S., Cheng L.C., Chen H.N., Yen H.C. Designing Dimmable Electronic Ballast with Frequency Control // Proc. of IEEE Appl. Power Electronics Conf., APEC'99. – 1999. – P. 727–733.

А.Лупенко¹, канд.техн.наук, Л.Мовчан², канд.техн.наук, В.Натяга³, И.Сысак⁴
^{1,2,3,4} – Тернопольский национальный технический университет им. Ивана Пулюя
ул. Русская, 56, г.Тернополь, Украина

Метод широтно-импульсного регулирования мощности разрядных источников света

Проанализирован выходной каскад высокочастотного электронного пускорегулирующего аппарата (ЭПРА) с широтно-импульсным регулированием мощности разрядных ламп, выполненный по схеме резонансного полумостового инвертора с асимметричным управлением. В последовательном колебательном контуре лампа подключена параллельно с конденсатором. Установлены зависимости мгновенных значений тока индуктивности и напряжения на лампе от коэффициента заполнения импульсов инвертора в установившемся режиме. Рассчитаны регулировочные характеристики ЭПРА для различных характеристических сопротивлений. Показано существенное влияние характеристического сопротивления контура на диапазон изменения коэффициента заполнения. Отмечено, что при проектировании выходного каскада ЭПРА необходимо согласовывать характеристическое сопротивление с напряжением питания каскада, обеспечивая коэффициент заполнения близким к 0,5 при номинальной мощности лампы. Для верификации предложенного подхода снята экспериментальная характеристика "коэффициент заполнения-мощность" для лампы ЛД-40. Результаты расчетов хорошо согласуются с результатами эксперимента. Библ. 7, рис. 5.

Ключевые слова: широтно-импульсное регулирование, разрядная лампа, электронный пускорегулирующий аппарат, математическая модель, выходной каскад.

A.Lupenko¹, L.Movchan², V.Natiaga³, I.Sysak⁴
^{1,2,3,4} – Ternopil Ivan Puliuia National Technical University,
Ruska, 56, Ternopil, Ukraina

Method of time-proportional control of discharge light power

An output stage of high-frequency electric motor-starting device (EMSD) with time-proportional control of discharge lamps performed after the diagram of resonance half-bridge inverter with asymmetric control has been analyzed. In series oscillatory circuit a lamp is connected parallel to capacitor. Dependences of instantaneous current of lamp inductance and voltage on duty cycle of inverter pulses in steady-state have been established. Controlled characteristics of EMSD under different values of characteristic impedances were calculated. Material effect of loop characteristic impedance on duty cycle range is shown. In this article it has been mentioned that when designing initial stage of EMSD the characteristic impedance should be coordinated with the stage supply voltage secured the duty cycle approximate to 0,5 at lamp rating. To verify the proposed approach an experimental characteristic "duty cycle – power" for the lamp DF-40 was taken. Calculation results conform well to experimental results. References 7, figures 5.

Keywords: pulse-width control, discharge lamp, electronic ballast, mathematical model, output stage.

Надійшла 26.04.2010
Received 26.04.2010