

УДК 621.327:629.7(075.8)

0562,0-02+3294.2-523

В.О. Повстень, д-р техн. наук
Л.І. Селіх

УДОСКОНАЛЕННЯ АВІАЦІЙНИХ ІМПУЛЬСНИХ СВІЛОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Інститут електроніки та систем управління НАУ, <http://www.fsu@nau.edu.ua>*Розглянуто можливості модернізації авіаційних імпульсних маяків для суттєвого підвищення їхньої ефективності.***Аналіз стану розглядуваної проблеми**

В імпульсних маяках, які встановлюють на літаках цивільної авіації для попередження зіткнень літаків і спостереження за ними, застосовують імпульсні ксенонові розрядні лампи високого тиску і, зокрема, лампи типу ІФК-2000 [1].

Лампи цього типу здатні утворювати яскраві світлові імпульси з енергією розряду до 2000 Дж, мінімальними інтервалами часу між спалахами 15 с, тривалістю імпульсів сили світла 4 с і освітлювання $\theta = 6000$ кд·с :

$$\theta = \int_0^{t_{\text{сн}}} I_{\alpha}(t) dt,$$

де $I_{\alpha}(t)$ – змінювання миттєвих значень сили світла під час спалаху в інтервалі часу $t_{\text{сн}}$, коли

$$I_{\alpha} \geq \frac{1}{e} I_{\text{п}} \approx 0,35 I_{\text{п}}; I_{\text{п}} - \text{пікове значення сили світла.}$$

На літаках лампи ІФК-2000 працюють у режимі спалахів, що повторюються з заданими інтервалами часу. Максимальну допустиму енергію спалахів вибирають у цьому випадку виходячи із забезпечення розсіювання середньої споживаної потужності лампи при неперервному її горінні.

За спектральним складом випромінювання ксенонових ламп високого тиску наближається до сонячного світла з незначним жовтуватим відтінком. Проте порівняно з іншими розрядними лампами високої інтенсивності, зокрема, ртутними, натрієвими і металевогалогенними, ксенонові розрядні лампи мають значно меншу світлову віддачу і коротший строк служби [2]. Поряд з цим для запалювання ксенонових розрядних ламп потрібні значно більші імпульси напруги, оскільки і в холодному стані тиск ксенону в їхніх пальниках залишається високим.

Широке застосування ксенонових розрядних ламп в імпульсних світлотехнічних системах перш за все зумовлене майже повною відсутністю в них періодів розгоряння, оскільки при роботі імпульсних систем між спалахами світла витримуються певні паузи, протягом яких при використанні розрядних ламп із випромінюючими

парами металів відбувається швидка конденсація цих парів. Для утворення необхідної їх кількості при повторних запалюваннях ламп потрібний деякий час.

Найбільш ефективними з усіх розрядних джерел світла є натрієві розрядні лампи, які мають найвищі значення світлової віддачі, але для утворення в пальниках таких ламп необхідного тиску пари натрію в робочому режимі вони мають значну температуру. Це істотно збільшує тривалість розгоряння ламп. Залишається досить тривалим розгоряння натрієвих ламп і при застосуванні в них для полегшення запалювання суміші неону і аргону (суміші Пенінга), а також ксенону як буферного газу замість пари ртуті, оскільки світлове випромінювання при цьому також визначається збудженими атомами натрію.

Постановка завдання

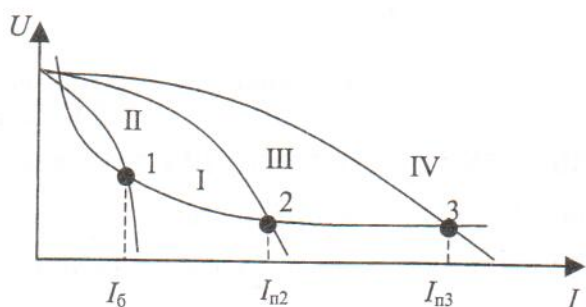
Завданням даної роботи є забезпечення умов для застосування високоінтенсивних розрядних ламп із випромінюючими парами металів в авіаційних імпульсних світлотехнічних системах з метою поліпшення техніко-економічних показників цих систем.

Варіанти розв'язання проблеми

Позбутися від періодів розгоряння розрядних ламп із випромінюючими парами металів і підвищити ефективність авіаційних імпульсних маяків через застосування в них більш ефективних розрядних ламп можна підтриманням у них при роботі в імпульсних режимах неперервного (чергового) малопотужного дугового розряду з порівняно малим струмом I_6 [3]. Тоді в пальниках цих ламп буде постійно підтримуватися достатній тиск парів випромінюючих металів і достатня для швидкого утворення потужних спалахів світла іонізація цих парів.

Потужні спалахи світла з необхідною частотою при цьому утворюються шляхом різкого короткочасного збільшення струму до певних пікових значень $I_{\text{п}}$ (див. рисунок).

Як видно з рисунка, стійким горінням дугового розряду в лампі відповідають точки 1, 2, 3 на вольт-амперній характеристиці лампи, оскільки



Вольт-амперна характеристика розрядної лампи (I) і зовнішні характеристики системи живлення лампи (II, III, IV):

I_6 – базове значення струму лампи; I_{n2} , I_{n3} – можливі пікові значення струму лампи

вони є точками перетину цієї характеристики з зовнішніми характеристиками системи живлення і відповідають критерію стійкості горіння.

При цьому $I_6 \ll I_{n2}$, $I_6 \ll I_{n3}$.

Саме так утворюються потужні короточасні імпульси енергії у зварювальній дузі при імпульсно-дуговому зварюванні [4]. Для того, щоб значення базового струму, який забезпечує неперервне стійке горіння чергового дугового розряду при імпульсно-дуговому зварюванні чи в імпульсній розрядній лампі, було мінімальним, зовнішня характеристика систем живлення (електричного кола підживлення) у режимі утворення цього струму повинна бути крутоспадною (штиковою), як це видно з рисунка. При цьому базовий струм може змінюватися в певних межах і бути явно невизначеним. Чергова малопотужна електрична дуга застосовується в плазмотронах і збуджується у них між катодом і соплом, що охолоджується [5].

Для застосування імпульсно-дугового способу зварювання вже створені високоефективні автоматизовані апарати. Оскільки при створенні цих апаратів вирішувалися подібні проблеми, то накопиченим у зварювальній техніці досвідом доцільно скористатися для вирішення проблеми підвищення ефективності імпульсних світлотехнічних систем, у тому числі і авіаційних імпульсних маяків.

Базовий постійний струм I_6 і імпульси струму з піковими значеннями I_n створюється при імпульсно-дуговому зварюванні незалежно паралельним увімкненням відповідного джерела постійного струму і генератора імпульсів, або застосовується одне джерело живлення з шунтуванням згладжувального дроселя для створення імпульсних струмів.

У світлотехнічних системах із розрядними лампами також використовується одночасне

вмикання ламп до двох джерел енергії (силового джерела та імпульсного високочастотного генератора) [6]. Лампи при цьому працюють у неперервному режимі світлового випромінювання, яке створюється в них силовим джерелом енергії, а високовольтні короточасні імпульси напруги, які створює високочастотний імпульсний генератор, іонізують міжелектродний проміжок ламп і забезпечують стабільне в ньому горіння дугового розряду.

В авіаційних імпульсних маяках, що застосовуються [1], потужні короточасні спалахи світла створюються за рахунок енергії, яка за час паузи t_n між спалахами світла накопичується в робочому конденсаторі маяка.

Для накопичення енергії, достатньої для утворення спалахів світла відповідної потужності, робочий конденсатор авіаційного імпульсного маяка протягом паузи заряджається до напруги майже 1000 В.

Напруга, яка необхідна для запалення ксенонівих розрядних ламп, є ще більшою і досягає декількох кіловольт. Вона створюється за допомогою окремого конденсатора, який швидко розряджається через обмотку підвищувального трансформатора, створюючи у вторинній обмотці цього трансформатора високовольтний імпульс напруги, який іонізує міжелектродний простір у пальнику лампи, завдяки чому вона швидко запалюється.

Для зменшення напруги запалення на зовнішній поверхні колб ксенонівих розрядних ламп розміщений додатковий металевий електрод, на який подається запалювальний імпульс напруги. Черговість запалення ламп для утворення ними спалахів світла забезпечується системою керування з мультивібратором і тиристорами.

Імпульсний авіаційний маяк типу ЛМІ-2КМ, зокрема, забезпечує почергову роботу імпульсних розрядних ламп із частотою спалахів кожної лампи близько 45 за 1 хв тривалістю біля 0,6 с, енергією спалахів не менше 120 Дж, максимальною силою світла приблизно 10^6 кд і видимістю до 60 км.

Система керування спалахами світла та система попереднього накопичування енергії для утворення спалахів світла при застосуванні в авіаційних маяках розрядних ламп з випромінюючими парами металів принципово можуть залишатися тими самими, що і при використанні ксенонівих розрядних ламп, але ємність робочого конденсатора і напруга, до якої він заряджається, можуть бути значно зменшені, оскільки світлова видатність імпульсних ламп у цьому випадку визначається співвідношенням

$$\eta = \frac{\int_0^{t_{\text{сп}}} \Phi(t) dt}{CU_0^2},$$

де $\int_0^{t_{\text{сп}}} \Phi(t) dt = W_{\text{сп}}$ – світлова енергія спалаху;

$t_{\text{сп}}$ – тривалість спалаху; $\Phi(t)$ – закономірність змінювання світлового потоку Φ у часі t при створенні спалаху світла; C – ємність робочого конденсатора; U_0 – напруга на конденсаторі безпосередньо перед створенням лампою спалахів світла.

Відповідно

$$CU_0^2 = \frac{2 \int_0^{t_{\text{сп}}} \Phi(t) dt}{\eta} = \frac{2W_{\text{сп}}}{\eta}.$$

Номінальну активну (середня) потужність розрядної лампи при неперервному її горінні визначають за формулою

$$P_{\text{л}} = U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{л}},$$

де $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$ – відповідно номінальні діючі значення напруги на лампі і струму в ній при неперервному її горінні; $\cos \varphi_{\text{л}} = 0,85 \dots 0,95$ – коефіцієнт потужності лампи.

Під час роботи в імпульсному режимі зі збудженням спалахів світла один за одним з інтервалами часу $t_{\text{п}}$ і з попереднім накопичуванням енергії в робочому конденсаторі з ємністю C номінальну активну потужність розрядної лампи визначають за формулою

$$P_{\text{ім}} = \frac{CU_0^2}{2(t_{\text{сп}} + t_{\text{п}})}.$$

Для забезпечення аналогічного теплового стану лампи при неперервному її горінні і в імпульсному режимі роботи зі спалахами світла, що повторюються через певні проміжки часу, достатньо, щоб

$$U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{л}} = \frac{CU_0^2}{2(t_{\text{сп}} + t_{\text{п}})} = \frac{\int_0^{t_{\text{сп}}} \Phi(t) dt}{\eta(t_{\text{сп}} + t_{\text{п}})} = \frac{W_{\text{сп}}}{\eta(t_{\text{сп}} + t_{\text{п}})}.$$

Відповідно світлова енергія спалаху світла дорівнює

$$W_{\text{сп}} = U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{л}} (t_{\text{сп}} + t_{\text{п}}) \eta,$$

а середній світловий потік спалаху:

$$\Phi_{\text{сп,сп}} = \frac{U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{л}} (t_{\text{сп}} + t_{\text{п}}) \eta}{t_{\text{сп}}}.$$

За наявності в лампі чергового (базового) постійного струму I_6

$$U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{л}} = \frac{CU_0^2 / 2 + U_6 I_6 (t_{\text{сп}} + t_{\text{п}})}{t_{\text{сп}} + t_{\text{п}}},$$

де U_6 – напруга на лампі, при якій струм розряду в ній $I = I_6$.

Середній світловий потік самого спалаху світла визначають за формулою

$$\Phi_{\text{сп,сп}} = \frac{(U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{л}} - U_6 I_6) (t_{\text{сп}} + t_{\text{п}}) \eta}{t_{\text{сп}}}. \quad (1)$$

У разі застосування в авіаційних маяках способу збудження потужних спалахів світла за рахунок енергії, що накопичується в магнітному полі дроселя з базовим струмом, і періодичного шунтування цього дроселя постійний і імпульсний розряди утворюються в лампі при живленні від спільного джерела енергії, а утворення імпульсів забезпечує тиристор, який періодично з частотою спалахів світла шунтує згладжувальний дросель [3].

Накопичена в дроселі енергія при цьому дорівнює

$$W_{\text{др}} = \frac{L_{\text{др}} I_6^2}{2},$$

а світлова видатність спалахів:

$$\eta = \frac{\int_0^{t_{\text{сп}}} \Phi(t) dt}{\frac{L_{\text{др}} I_6^2}{2}} = \frac{2W_{\text{сп}}}{L_{\text{др}} I_6^2},$$

де $L_{\text{др}}$ – індуктивність дроселя.

Індуктивність накопичувального дроселя $L_{\text{др}}$ з базовим струмом I_6 і номінальна активна потужність $P_{\text{ім}}$ визначаються за формулами:

$$L_{\text{др}} = \frac{2 \int_0^{t_{\text{сп}}} \Phi(t) dt}{\eta I_6^2} = \frac{2W_{\text{сп}}}{\eta I_6^2};$$

$$P_{\text{ім}} = \frac{L_{\text{др}} I_6^2}{2(t_{\text{сп}} + t_{\text{п}})} + U_6 I_6,$$

Напруга U_{λ} і струм $I_{\text{л}}$ визначають з урахуванням співвідношення

$$U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi = \frac{L_{\text{др}} I_6^2 / 2 + U_6 I_6 (t_{\text{сп}} + t_{\text{п}})}{t_{\text{сп}} + t_{\text{п}}}.$$

Середній світловий потік самого спалаху світла також визначається співвідношенням (1).

Зовнішня характеристика джерела живлення для обмеження базового струму повинна мати і збільшенням струму якомога більшу крутість.

Щодо підвищення ефективності безпосередньо самих розрядних ламп, як і ламп розжарювання, передбачається, зокрема, найближчим часом широке застосування на поверхні колб ламп селективного покриття, яке є прозорим для видимого випромінювання і характеризується високим значенням коефіцієнта відбиття для ін-

фрачервоного випромінювання. Цим вимогам відповідає танталово-кремнієва діелектрична оксидна плівка, яка водночас характеризується високою термостійкістю.

Висновки

Завдяки тому, що світлова видатність натрієвих, а також металогалогенних розрядних ламп, як і їхній строк служби, у декілька разів перебільшують світлову видатність і строк служби ксенонових розрядних ламп, позитивний ефект від створення імпульсних маяків із застосування таких ламп може бути досить вагомим.

Холодні розрядні лампи високого тиску з парами металів на відміну від ксенонових розрядних ламп мають низький тиск у пальниках. Тому напруга, яка необхідна для початкового запалення цих ламп, є також значно меншою, ніж при запаленні відповідних ксенонових розрядних ламп. Це дає можливість при застосуванні їх в авіаційних імпульсних маяках істотно зменшити і масу, і розміри високовольтних запалювальних трансформаторів.

За наявності в імпульсних розрядних лампах неперервного базового розряду немає необхідності у високовольтних запалювальних імпульсах напруги, які повинні збуджуватися один за одним з частотою спалахів світла.

Початкове запалення імпульсних розрядних ламп на реактивних літаках може здійснюватися і від системи запалювання паливної суміші авіаційних двигунів, яка також створює високовольтні імпульси напруги, або вона для підвищення надійності дії авіаційних маяків може бути дублю-

ючою системою початкового запалювання імпульсних розрядних ламп.

Маса, розміри і вартість імпульсного маяка при збудженні спалахів світла за рахунок енергії магнітного поля дроселя і шунтування останнього можуть бути зменшені ще більшою мірою, оскільки застосовується лише одне джерело живлення з дроселем і тиристором. Перевагою такого збудження спалахів світла є і відсутність комутації базового струму, оскільки дросель під час спалахів світла знаходиться в зашунтованому стані.

Список літератури

1. *Основы электрооборудования летательных аппаратов.* Ч. 2 / Под ред. Д.Э. Брускина. – М.: Высш. шк. 1978. – 280 с.
2. *Справочная книга по светотехнике* / Под ред. Ю.В. Айзенберга. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.
3. *Повстенъ В.О., Селих Л.И.* Застосування імпульсних систем із неперервним малопотужним розрядом для живлення імпульсних розрядних ламп // Вісн. НАУ. – 2002. – №2. – С. 118 – 121.
4. *Оборудование для дуговой сварки: Справ. пособие* / Под ред. В.В. Смирнова. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 656 с.
5. *Теория сварочных процессов* / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др. / Под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.
6. *Краснопольский А.Е., Троицкий А.М.* Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп / Под общ. ред. А.Е. Краснополяского. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.

Стаття надійшла до редакції 22.04.03.

В.А. Повстенъ, Л.И. Селих

Усовершенствование авиационных импульсных светотехнических систем

Рассмотрены возможности модернизации авиационных импульсных маяков для существенного повышения их эффективности.

V.A. Povsten, L.I. Selikh

Improvement of aviation pulse lighting systems

The modernization of aircraft pulse beacons for the essential increase of their effectiveness has been analyzed.