

УДК 621.327

**А. М. Лупенко**, канд. техн. наук,  
**С. А. Лупенко**, докт. техн. наук  
 Тернопільський національний  
 університет імені Івана Пулюя  
 E-mail: [kaf\\_et@tu.edu.te.ua](mailto:kaf_et@tu.edu.te.ua)

## **ПІДТРИМАННЯ ПОТУЖНОСТІ НАТРІЄВОЇ ЛАМПИ ВИСОКОГО ТИСКУ В ОБЛАСТІ ДОПУСТИМИХ ЗНАЧЕНЬ**

**Постановка проблеми.** Натрієві лампи високого тиску НЛВТ знаходять широке застосування в зовнішньому освітленні у зв'язку із високою світловою віддачею та тривалим строком служби. НЛВТ, як і інші розрядні лампи, для забезпечення їх запалювання та робочого режиму потребують додаткового обладнання – пускорегулювальних апаратів, які виконують функцію силового інтерфейсу між промисловою мережею і лампою. В даний час відбувається перехід від традиційних електромагнітних до високочастотних електронних пускорегулювальних апаратів (ЕПРА), які мають значні переваги (кращі масогабаритні показники, високу енергоефективність, підвищують світлову віддачу лампи, забезпечують високу якість електроенергії, дозволяють регулювати потужність лампи легко інтегруються в системи керування освітленням, покращують якість освітлення і т.п.). Основною задачею ЕПРА є забезпечення потужності, споживаної лампою, в заданих межах.

Робоча потужність НЛВТ відповідно до експлуатаційних вимог ГОСТ Р53073-2008 (МЕК 60662) регламентується характеристичними кривими пускорегулювальних апаратів [1]. Ці криві повинні розташовуватись в межах трапецієвидної області допустимих значень в координатах «напруга – потужність». У цій області лампа може працювати з прийнятними характеристиками впродовж усього терміну її експлуатації. Перевищення допустимої потужності лампи скорочує термін її служби. Перевищення допустимої напруги на ній призводить до циклічного погасання, наступного охолодження та перезапалювання лампи, що також прискорює процес її старіння.

Більшість ЕПРА виконуються на основі резонансних напівмостових чи мостових інверторів з послідовним коливним контуром, навантаження (лампа) в якому підключено паралельно до конденсатора. Така структура ЕПРА характеризується не тільки простотою реалізації, але й забезпечує резонансне запалювання лампи без додаткового пристрою запалювання [2].

Послідовний коливальний контур при його роботі на резонансній частоті має властивості генератора струму, внаслідок чого вирішується проблема забезпечення стійкості роботи розрядної лампи, але водночас потужність в навантаженні коливного контуру є пропорційною до опору навантаження. Еквівалентний опір лампи в процесі її експлуатації зазнає значних змін, зростаючи майже в 2 рази відносно номінального опору нової лампи. Це пов'язано з фізико-хімічними процесами в лампі, в результаті яких склад Na – Hg –амальгами модифікується внаслідок втрат натрію за рахунок реакцій з домішками, матеріалом розрядної трубки, втеч і т.п. [2,3]. Відносне зростання

концентрації парів ртуті призводить до зростання робочої напруги лампи, а отже і її еквівалентного опору, а при сталому струмі – до зростання потужності в лампі. В результаті потужність, споживана лампою, може вийти за межі області допустимих значень, що суттєво зменшить термін її служби. Тому постає проблема забезпечення робочої потужності НЛВТ в межах допустимих значень за допомогою ЕПРА.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [4-6], присвячених забезпеченню підтриманню потужності в НЛВТ в заданих межах, переважно розглядаються замкнені структури ЕПРА з керуванням по потужності. Їх перевагою є висока точність підтримання заданої потужності лампи, що гарантує її роботу в області допустимих значень потужності. Однак практична реалізація таких замкнених структур є досить складною, що обумовлено додатковими апаратними витратами на формування сигналу зворотного зв'язку, пропорційного потужності лампи, побудовою регулятора, вирішенням проблеми стійкості системи з таким нелінійним, інерційним та нестационарним об'єктом регулювання, яким є розрядна лампа. Тому ЕПРА, побудовані за замкненою структурою мають високу вартість, що є їх основним недоліком. Оскільки нормативні матеріали [1] дозволяють варіацію потужності НЛВТ в досить широких межах, актуальним є питання побудови простіших і дешевших ЕПРА з розімкненою структурою.

**Метою роботи** є дослідження можливості підтримання потужності НЛВТ в заданих межах в процесі експлуатації за допомогою ЕПРА, побудованого за розімкненою структурою.

**Постановка завдання** – шляхом аналізу вихідного каскаду ЕПРА з коливальним контуром встановити аналітичні залежності, необхідні для розробки методики розрахунку його параметрів за умови підтримання потужності НЛВТ в заданих межах.

**Виклад основного матеріалу.** Найбільш поширеною схемою вихідного каскаду є напівмостовий резонансний інвертор напруги з послідовним коливальним контуром, в якому НЛВТ під'єднана паралельно до конденсатора, як показано на рис. 1, а.

До складу вихідного каскаду ЕПРА входять напівмостовий інвертор, в якому роль ключів виконують польові МДН-транзистори VT1 і VT2, та коливальний контур з індуктивністю  $L$  та ємностями  $C_s$  та  $C_p$ , а навантаженням контура є лампа  $HL$ . Ключі по черговою комутуються під дією протифазних керуючих напруг, які формуються драйвером високовольтних ключів.  $E$  – напруга живлення вихідного каскаду, яка формується коректором коефіцієнта потужності або випрямлячем. Тому коливальний контур живиться додатними прямокутними імпульсами з амплітудою  $E$ . Робота схеми детально описана в [7].

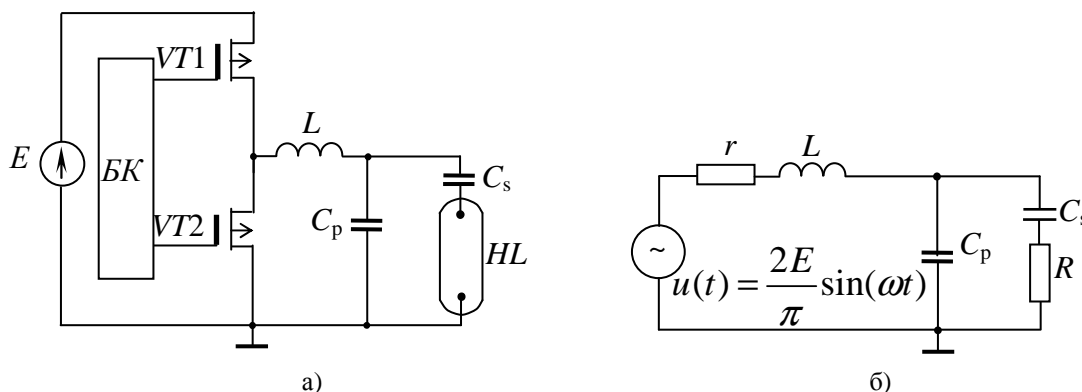


Рис. 1 - Схема вихідного каскаду ЕПРА (а) та його еквівалентна схема (б)

Зважаючи на те, що форма напруги і струму навантаження (НЛВТ) є близькою до синусоїдальної, оскільки схема резонансного інвертора має властивості фільтра низьких частот другого порядку, який відфільтровує вищі гармонічні складові, аналіз виконаємо методом основної гармоніки [8]. Для цього від схеми рис.1,а перейдемо до еквівалентної схеми рис.1,б, де  $r$  - еквівалентний опір втрат, який враховує втрати в транзисторах, в індуктивності та ємностях;  $u(t)$  - еквівалентний генератор змінної напруги першої гармоніки з амплітудою  $2E/\pi$ .

Для запису аналітичних виразів в компактній формі введемо додаткові позначення, які зведені в табл.1.

Таблиця 1

Резонансна частота ненавантаженого контуру	Характеристичний опір контуру	Параметр добротності контуру	Відносна робоча частота	Відносна ємність	Відносний опір
$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_p}}$	$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C_p}}$	$Q = \frac{R}{Z_0}$	$\Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$	$c = \frac{C_p}{C_s}$	$\alpha = \frac{r}{R}$

Комплексний вхідний опір коливального контуру:

$$Z_{ex} = r + j\omega L + \frac{1}{j\omega C_p + \frac{j\omega C_s R}{1 + j\omega C_s R}}. \quad (1)$$

Після перетворень з урахуванням позначень отримуємо:

$$Z_{ex} = R \frac{-\left[\Omega + c\left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right) + \alpha\Omega Q^2\right] + jQ[1 - \Omega^2 + \alpha(1+c)]}{-\Omega Q^2 + jQ(1+c)}. \quad (2)$$

Модуль вхідного опору коливального контуру:

$$Z_{ex} = Z_0 Q \sqrt{\frac{\frac{1}{Q^2} \left[\Omega + c\left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right) + \alpha\Omega Q^2\right]^2 + Q^2 [1 - \Omega^2 + \alpha(1+c)]}{(\Omega Q^2)^2 + (1+c)^2 \cdot Q_p^2}}. \quad (3)$$

Фазовий зсув між першими гармоніками вхідних напруги та струму:

$$\varphi = \arctg \frac{\left[\Omega + c\left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right)\right](1+c) - \Omega Q^2 (1 - \Omega^2)}{Q \left\{ \left[1 + \alpha \left[1 + \Omega^2 Q^2 + c(2+c)\right]\right] \right\}}. \quad (4)$$

З умови  $\varphi=0$  визначається відносна резонансна частота коливального контура:

$$\Omega_{pez} = \frac{\omega_{pez}}{\omega_0} = \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ 1 - \frac{1}{Q^2} (1+c)^2 + \sqrt{\left[1 - \frac{1}{Q^2} (1+c)^2\right]^2 + \frac{4}{Q^2} c(1+c)} \right\}}. \quad (5)$$

Для забезпечення малих комутаційних втрат в транзисторах необхідно, щоб відносна робоча частота  $\Omega$  була більшою від відносної резонансної частоти  $\Omega_{рез}$ . Тоді включення транзисторів відбувається при нульовій напрузі, і відпадає потреба в швидкодіючих діодах, включених паралельно до транзисторів.

Потужність в лампі описується виразом:

$$P_H = \frac{2E^2}{\pi^2 Z_0} \cdot \frac{Q}{\left[ \Omega + c \left( \Omega - \frac{1}{\Omega} \right) + \alpha \Omega Q \right]^2 + Q^2 [1 - \Omega^2 + \alpha(1+c)]^2}. \quad (6)$$

Визначивши потужність втрат як  $P_{втр} = \frac{I_{нех}^2 r}{2}$ , знаходимо вираз для коефіцієнта корисної дії вихідного каскаду:

$$\eta = \frac{P_H}{P_H + P_{втр}} = \frac{1}{1 + \alpha [\Omega^2 Q + (1+c)]^2}. \quad (7)$$

У зв'язку з тим, що на практиці виконується умова  $r \gg R$ , втратами можна знехтувати без суттєвого погіршення точності подальшого аналізу, прийнявши  $\alpha=0$ . Тоді потужність в навантаженні можна описати простішим виразом:

$$P_H = \frac{2E^2}{\pi^2 Z_0} \cdot \frac{Q}{\left[ \Omega + c \left( \Omega - \frac{1}{\Omega} \right) \right]^2 + Q^2 (1 - \Omega^2)^2}. \quad (8)$$

Для раціонального вибору параметрів коливального контуру за заданим відхиленням потужності в лампі від номінального в процесі її старіння врахуємо не лише зміну опору лампи, а й вплив розкиду параметрів контуру на потужність.

Відносну чутливість потужності до параметра  $x$  визначатимемо так [9]:

$$S_x^P \Big|_{x=x_0} = \frac{\partial P_H(x)}{\partial x} \cdot \frac{x}{P(x)}. \quad (9)$$

Відносна чутливість потужності до опору лампи  $R$  дорівнює:

$$S_R^P = \frac{\left[ \Omega + c \left( \Omega - \frac{1}{\Omega} \right) \right]^2 - Q^2 \Omega^2 (1 - \Omega^2)^2}{\left[ \Omega + c \left( \Omega - \frac{1}{\Omega} \right) \right]^2 + Q^2 (1 - \Omega^2)^2}. \quad (10)$$

Відносну чутливість потужності до індуктивності  $L$  можна визначити так:

$$S_L^P = -\frac{2\left[\Omega^2 + c(\Omega^2 - 1)\right] - 2Q\Omega^2(1 - \Omega^2)}{\left[\Omega + c\left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right)\right]^2 + Q^2(1 - \Omega^2)^2}. \quad (11)$$

Як відмічено в [4], потужність лампи має найвищу чутливість до індуктивності порівняно з чутливістю до інших реактивних елементів коливального контура. Крім того, індуктивність  $L$  має найбільший технологічний розкид, тому її відхилення від

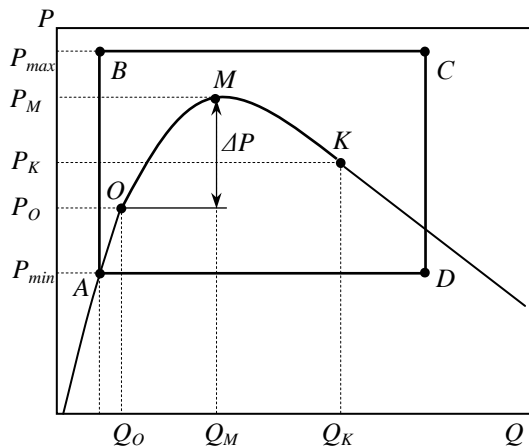


Рис.2 - Залежність відносної потужності резонансного інвертора від

номінального значення має найбільший вплив на потужність в лампі. У зв'язку з цим в подальшому розглядатимемо лише чутливість  $S_L^P$ , а інші чутливості приймати до уваги не будемо.

У процесі старіння лампи її опір зростає від початкового значення  $R_0$  до кінцевого  $R_K$ . Відповідно, добротність зростає від  $Q_0$  до  $Q_K$ . Типова залежність відносної потужності резонансного інвертора від добротності наведена на рис.2. ЕПРА повинен підтримувати потужність в лампі так, щоб вона залишалась в області її допустимих значень. Ставимо задачу досягти підтримання потужності без системи із

зворотним зв'язком, використовуючи властивості коливного контуру. Нехай прямокутник  $ABCD$  (рис. 2) входить в область допустимих значень потужності  $НЛВТ$  при зміні добротності  $Q$  контуру в заданих межах. При раціональному виборі параметрів коливного контуру потужність лампи в процесі її старіння повинна пробігати ділянку кривої  $OMK$ , де початкова точка  $O$  відповідає новій лампі, точка  $M$  відповідає максимальній потужності в лампі, а точка  $K$  – кінцева точка, відповідає потужності в лампі в кінці терміну її експлуатації, причому потужність може змінюватись в заданих межах не більше, ніж на  $\Delta P$ .

Знайдемо аналітичні вирази для параметрів добротності  $Q_0$ ,  $Q_M$  і  $Q_K$  (рис.2) для нової лампи, для максимальної потужності лампи та для лампи в кінці терміну експлуатації, відповідно. Значення добротності  $Q_0$  для нової лампи визначаємо із виразу (8) при номінальній потужності лампи і номінальному діючому значенні напруги лампи  $U_0$ :

$$Q_0 = \frac{\Omega + c\left(\Omega - \frac{1}{\Omega}\right)}{\sqrt{\left(\frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0}\right)^2 - (1 - \Omega^2)^2}}. \quad (12)$$

Значення добротності  $Q_M$  в точці максимальної потужності знайдемо за виразом (10), а саме:

$$Q_M = \pm \frac{\Omega + c \left( \Omega - \frac{1}{\Omega} \right)}{1 - \Omega^2}. \quad (13)$$

При визначенні параметра добротності  $Q_K$  для лампи в кінці терміну служби приймемо до уваги, що в опір лампи  $R_K$  та параметр  $Q_K$  в точці  $K$  досягають своїх максимальних значень. Тому резонансна частота (5) в кінці терміну служби є максимально наближена до робочої частоти  $\Omega$ , але не повинна перевищувати останню для забезпечення комутації при нульовій напрузі на транзисторах. Приймаючи, що в граничному випадку  $\Omega_{рез} = \Omega$ , та розв'язуючи (5) відносно  $Q = Q_K$ , знаходимо:

$$Q_K = \sqrt{\frac{(1+c)(c-\Omega^2)}{\Omega^2(1-\Omega^2)}}. \quad (14)$$

Визначимо відносну частоту комутації  $\Omega$ , виходячи із умови забезпечення заданої зміни  $\Delta P$  потужності лампи впродовж терміну експлуатації. Для цього спочатку знайдемо максимальну потужність  $P_M$ , підставляючи (13) у (8):

$$P_M = \pm \frac{E^2}{\pi^2 Z_0 (1 - \Omega^2) \left[ \Omega + c \left( \Omega - \frac{1}{\Omega} \right) \right]}. \quad (15)$$

Використовуючи (15), запишемо відносну зміну потужності  $\delta P$ :

$$\delta P = \frac{\Delta P}{P_0} = \frac{P_M - P_0}{P_0} = \frac{\left[ \Omega + c \left( \Omega - \frac{1}{\Omega} \right) \right]^2 + Q_0^2 (1 - \Omega^2)^2}{2Q_0 (1 - \Omega^2) \left[ \Omega + c \left( \Omega - \frac{1}{\Omega} \right) \right]} - 1. \quad (16)$$

де  $P_0$  – потужність нової лампи (вираз (8) при  $Q = Q_0$ ).

Поєднуючи вирази (8), (15) та (16), отримуємо наступне рівняння:

$$1 + \delta P = \frac{1 - \Omega^2}{2 \sqrt{\left( \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} \right)^2 - (1 - \Omega^2)^2}} + \frac{\sqrt{\left( \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} \right)^2 - (1 - \Omega^2)^2}}{2(1 - \Omega^2)}, \quad (17)$$

яке зводиться до біквadratного рівняння:

$$(1 - \Omega^2)^4 - \left( \frac{\pi U_0}{\sqrt{2}E} \right)^2 (1 - \Omega^2)^2 + \frac{\left( \frac{\pi U_0}{\sqrt{2}E} \right)^4}{4(1 + \delta P)^2} = 0. \quad (18)$$

Розв'язок цього рівняння дає вираз для відносної робочої частоти, яка забезпечує задану відносну зміну потужності  $\delta P$  лампи:

$$\Omega = \sqrt{1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} \sqrt{\frac{1 - \sqrt{1 + \frac{2}{\delta P}}}{2 + \frac{2}{\delta P}}}}. \quad (19)$$

Таким чином, робоча частота визначається через задану відносну зміну потужності  $\delta P$ , початкову напругу на лампі  $U_0$  та напругу живлення  $E$  вихідного каскаду.

Для компактності запису наступних виразів введемо узагальнений параметр  $F$  відносної потужності:

$$F = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{1 + \frac{2}{\delta P}}}{2 + \frac{2}{\delta P}}}. \quad (20)$$

Вирази (11)–(13) для параметрів добротності  $Q_0$ ,  $Q_M$  та  $Q_K$  тоді представимо у вигляді:

$$Q_0 = \frac{1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} \cdot F(1+c)}{\frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} \sqrt{(1-F^2) \left(1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} \cdot F\right)}}; \quad (21)$$

$$Q_M = \frac{1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F(1+c)}{\frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F \sqrt{1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F}}; \quad (22)$$

$$Q_K = \sqrt{\frac{(1+c) \left(1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F - c\right)}{\frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F \left(1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F\right)}}. \quad (23)$$

Потужність для нової лампи можна записати через вирази (8) і (21):

$$P_0 = N \frac{\sqrt{1-F^2} \sqrt{1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F}}{\frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} \left[1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F(1+c)\right]}. \quad (24)$$

Потужність лампи в кінці терміну служби запишемо, поєднуючи вирази (8), (23) і (24):

$$P_K = N \frac{F^2 \sqrt{\left(1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F\right)(1+c) \left(1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F - c\right)}}{\sqrt{\frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F \left[1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F(1+c)\right]^2}}. \quad (25)$$

Прирівнюючи вирази (24) і (25) отримуємо перше рівняння:

$$F^2 \sqrt{\frac{\frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} (1+c) \left(1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F - c\right)}{F(1-F^2)}} = 1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F(1+c). \quad (26)$$

Друге рівняння запишемо, врахувавши вираз (11) для відносної чутливості потужності до індуктивності та вирази (20) і (21):

$$S_L^P = 2 \left(1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F\right) \left[ \frac{\pi U_0 F}{\sqrt{2}E} - \frac{1-F^2}{1 - \frac{\sqrt{2}E}{\pi U_0} F(1+c)} \right]. \quad (27)$$

Рівняння (26) і (27) утворюють систему двох рівнянь стосовно напруги живлення  $E$  і відносної ємності  $c$ , результат розв'язку якої служить для розрахунку параметрів коливного контуру вихідного каскаду ЕПРА. Ця система не має аналітичного розв'язку, тому для її розв'язання можна використати чисельні методи.

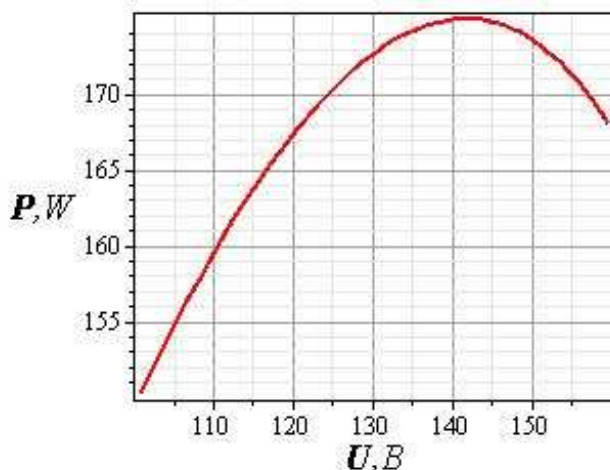


Рис. 3 - Характеристична крива розрахованого ЕПРА

Методика розрахунку параметрів коливного контуру ЕПРА базується на результатах проведеного аналізу. Початковими даними для розрахунку є: а) номінальні параметри лампи: її потужність  $P$ , діюче значення напруги  $U_0$  лампи, діюче значення струму лампи  $I$ , а, отже, і її еквівалентний опір  $R_0$ ; б) відносна зміна потужності  $\delta P$  лампи в) відносна чутливість потужності до індуктивності  $S_L^P$ . Послідовність розрахунку є наступною.

- 1) За заданою відносною зміною потужності  $\delta P$  визначаємо узагальнений параметр потужності  $F$  з виразу (27).
- 2) Розв'язавши чисельним методом систему рівнянь (26) і (27), визначаємо напругу живлення та відношення  $c$  ємностей коливального контуру.
- 3) Визначаємо відносну частоту комутації вихідного каскаду за виразом (19).
- 4) Визначаємо параметри добротності  $Q_0$ ,  $Q_m$  та  $Q_K$  за виразами (12), (13) та (14).



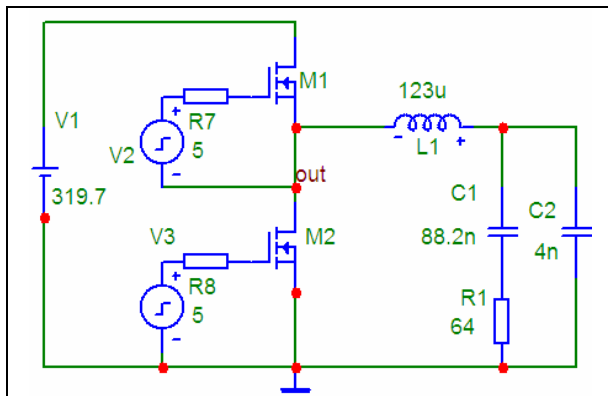
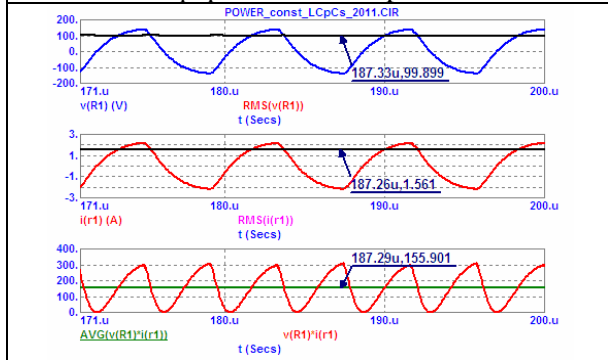
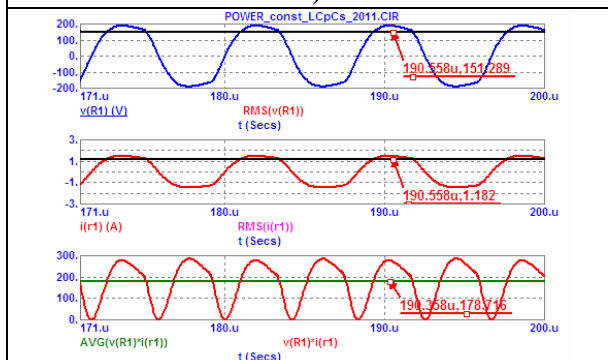


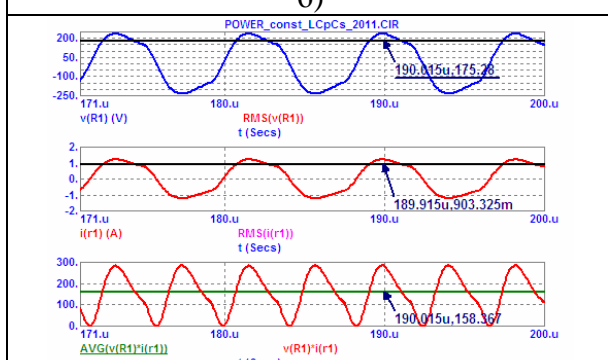
Рис.4 - Схема вихідного каскаду ЕПРА в форматі MicroCap-8.0



а)



б)



в)

Рис.5 - Результати моделювання каскаду: а) з новою лампою; б) при максимальній потужності; в) з старою лампою

5) Визначаємо характеристичний опір  $Z_0$  як відношення  $R_0/Q_0$ . 6) Вибираємо робочу частоту  $\omega$  комутації вихідного каскаду ЕПРА, виходячи із можливостей елементної бази, яка входить до складу каскаду, та враховуючи частотні вікна НЛВТ, у яких явище акустичного резонансу в лампі є відсутнім [11]. 7) Визначаємо частоту паралельного резонансу  $\omega_0 = \omega/\Omega$ . 8) За виразами таблиці 1 визначаємо параметри коливального контуру  $L, C_p, C_s$ .

Для верифікації запропонованого підходу проведено розрахунок каскаду ЕПРА за вищевказаною методикою та його моделювання для натрієвої лампи SON-T 150W PHILIPS при наступних вихідних даних для розрахунку:  $P=150\text{Вт}$ ;  $U=98\text{В}$ ;  $R_0=64\text{Ом}$ ;  $S_L^P=-1,5$ . Згідно нормативних даних макси-мальна та мінімальна допустимі потужності складають відповідно 185 та 105 Вт. Тому відносну зміну потужності прийемо рівною 0,15.

В результаті розрахунку отримано наступні значення параметрів каскаду:  $E=319,7\text{В}$ ;  $\Omega=0,525$ ;  $Q_0=0,363$ ;  $Q_M=0,699$ ;  $Q_K=0,98$ ;  $Z_0=176,5\text{Ом}$ ; частоту комутації вибрано рівною 120кГц; Тоді параметри коливного контуру будуть наступними:  $L=123\text{мкГн}$ ;  $C_p=3,95\text{нФ}$ ;  $C_s=88,2\text{нФ}$ . Потужності в точках  $O, M$  і  $K$  дорівнюють 151,5 Вт, 174,2 Вт і 151,6 Вт. Розрахована характеристична крива наведена на рис.3. Для моделювання каскаду використано систему схемотехнічного моделювання MicroCap-8.0. Схема каскаду та осцилограми миттєвих значень напруги, струму та їх діючих значень, миттєвої та середньої потужності лампи, отримані в результаті моделювання наведено на рис.4 і 5.

З рисунків видно, що впродовж терміну експлуатації потужність лампи змінюється практично в заданих межах, тобто запропонований підхід дозволяє підтримувати потужність НЛВТ в області її допустимих значень.

**Висновки.** В процесі експлуатації комплекту ЕПРА-НЛВТ найбільших змін зазнає еквівалентний опір лампи, що може призвести до виходу її потужності за межі

області допустимих значень. На основі аналізу вихідного каскаду ЕПРА встановлено аналітичні залежності, які пов'язують значення параметрів коливного контуру та заданої відносної зміни потужності НЛВТ впродовж терміну її служби. Запропонована методика розрахунку параметрів коливального контуру ЕПРА, які забезпечують підтримання потужності в лампі в заданих межах за допомогою ЕПРА, побудованого за розімкненою структурою.

### Література

1. Лампы натриевые высокого давления. Эксплуатационные требования. ГОСТ Р 53073-2008 (МЭК 60662:2002) / Москва: Стандартинформ, 2009.- 53с.
2. C.Branas. Contributions to the Design and Control of LCsCp Resonant Inverters to Drive High-Power HPS Lamps./ C.Branas, F.I.Azcondo, S.Bracho.//IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 52, No. 1, 2003.- P.56÷65.
3. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света./ Рохлин Г.Н - М.: Энергоатомиздат, 1991.- 720 с.
4. F.J. Azcondo,. Power-Mode-Controlled Power-Factor-Corrector for Electronic Ballast./ F.J. Azcondo, C. Branas, R. Casanueva, S. Bracho. // IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 47, No. 4, 2000.- P.796÷808.
5. W. Kaiser. Hibrid Electronic Ballast Operating the HPS Lamp at Constant Power./ W. Kaiser.//IEEE Transactions on Industry Applications Vol.34, No.2, 1998.- P.319-324.
6. MHL-TD 70W Driver with UBA2030. Applicatoin Note AN10178.//Philips Semicoductor, 1999.- 39р.[Електронний ресурс]. – Режим доступу: [www.nxp.com/documents/application\\_note/AN10178.pdf](http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10178.pdf)
7. R.L.Steigerwald. A Comparison of High-Bridge Converter Topologies. / R.L.Steigerwald //IEEE on Power Electronics, vol. 3, No.2, 1988.- P.174÷182.
8. Руденко В.С. Преобразовательная техника./ Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М – Киев: Вища школа, 1983.- 432с.
9. Гехер. Теория чувствительности и допусков электронных цепей. / Гехер. М., „Сов. Радио”, 1973, 200с.
10. S. Epron. Acoustic resonance phenomena in high pressure discharge lamps/ S. Epron, M. Aubes, J.J. Damelincourt, A.P. Cojocar. //High Temperature Material Processes, vol.3, 1999.- P. 141-155.

## ПОДДЕРЖАНИЕ МОЩНОСТИ НАТРИЕВОЙ ЛАМПЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Лупенко А.Н., Лупенко С.А.

*Проведен анализ колебательного контура резонансного инвертора напряжения как выходного каскада электронного пускорегулирующего аппарата. Рассмотрены возможности поддержания мощности натриевой лампы высокого давления в области допустимых значений электронным пускорегулирующим аппаратом, выполненным по разомкнутой структуре.*

## MAINTENANCE OF HIGH PRESSURE SODIUM LAMP POWER IN OPERATION AREA

Lupenko A.M., Lupenko S.A

*The resonant tank of voltage inverter as an output stage of electronic ballast for high-pressure sodium lamps operation is analyzed. The possibilities of high pressure sodium lamp power maintenance in operation area by electronic ballast with open-loop structure is considered.*