

ДІАПАЗОН НАСТРОЮВАННЯ УНІФІКОВАНИХ БАЛАСТНИХ ДРОСЕЛІВ ДЛЯ ІНДУКТИВНО-ЄМНІСНИХ СХЕМ ВКЛЮЧЕННЯ РОЗРЯДНИХ ЛАМП

В даній статті розглядається метод визначення діапазону струмів настроювання уніфікованих баластних дроселів для забезпечення можливості їх використання як в індуктивній, так і в індуктивно-ємнісній схемі включення розрядних ламп.

Умовні позначення

$\cos \varphi$	– коефіцієнт потужності схеми;
$\omega=2\cdot\pi\cdot f$	– кругова частота, рад/с;
f	– частота мережі, Гц;
C	– ємність баластного конденсатора, мкФ;
C_n	– номінальна ємність баластного конденсатора, мкФ;
C_{min}	– мінімальна ємність баластного конденсатора, мкФ;
C_{max}	– максимальна ємність баластного конденсатора, мкФ;
L	– індуктивність баластного дроселя, Гн;
Z_{LC}	– повний опір індуктивно-ємнісного баласту, Ом;
Z_L	– повний опір баластного дроселя, Ом;
X_b	– реактивний опір баласту, Ом;
X_C	– реактивний опір конденсатора, Ом;
$(X_C)_n$	– номінальний реактивний опір конденсатора, Ом;
$(X_C)_{min}$	– мінімальний реактивний опір конденсатора, Ом;
$(X_C)_{max}$	– максимальний реактивний опір конденсатора, Ом;
X_L	– реактивний опір баластного дроселя, Ом;
$(X_L)_n$	– номінальний реактивний опір баластного дроселя, Ом;
$(X_L)_{min}$	– мінімальний реактивний опір баластного дроселя, Ом;
$(X_L)_{max}$	– максимальний реактивний опір баластного дроселя, Ом;
U_m	– напруга живлення мережі, В;
U_l	– напруга на лампі, В;
m	– відносна напруга на лампі;
U_C	– напруга на конденсаторі, В;
U_{C1}	– напруга на конденсаторі в пусковому режимі при максимальній величині ємності конденсатора і мінімально допустимому пусковому струмі лампи, В;
U_{C2}	– напруга на конденсаторі в робочому режимі при мінімальній величині ємності конденсатора і максимально допустимому струмі лампи, В;
U_{Cp}	– можливі значення напруги на конденсаторі в робочому режимі, В;
U_{Cn}	– можливі значення напруги на конденсаторі в пусковому режимі, В;
U_L	– напруга на баластному дроселі, В;
U_{LC}	– напруга на індуктивно-ємнісному баласті, В;
U_{LC1}	– напруга на індуктивно-ємнісному баласті в пусковому режимі при максимальній величині ємності конденсатора і мінімально допустимому пусковому струмі лампи, В;
U_{LC2}	– напруга на індуктивно-ємнісному баласті в робочому режимі при мінімальній величині ємності конденсатора і максимально допустимому струмі лампи, В;
I_l	– струм лампи, А;
$I_{l,n}$	– номінальний струм лампи, А;
I_{l1}, I_{l2}	– відхилення струму лампи при настроюванні дроселя, А;
$I_{l,min}$	– мінімально допустимий струм лампи, А;
$I_{l,max}$	– максимально допустимий струм лампи, А;
P_l	– потужність лампи, Вт;
P_{dp}	– потужність втрат в дроселі, Вт

Постановка проблеми. За останні роки виключного значення набула проблема енергозбереження в освітлювальних установках (ОУ). При цьому від успіхів вирішення цієї проблеми в значній мірі залежить майбутнє людської цивілізації, що пов'язане не тільки з поступовим вичерпуванням горючих копалин, але і зі швидким забрудненням оточуючого середовища викидами в атмосферу продуктів згорання.

В зв'язку з цим у багатьох державах світу прийняті і реалізуються спеціальні програми енергозбереження. Прийнятий такий закон і в Україні [1].

Одним з основних факторів, який впливає на кількість спожитої електроенергії при заданих параметрах освітленості, є світлова віддача джерела світла. Найбільша вона у розрядних лампах, серед яких люмінесцентні лампи (ЛЛ) є найпоширенішими.

На відміну від ламп розжарення ЛЛ не можуть працювати в мережі промислової частоти без струмообмежувальних баластів, які в значній мірі визначають їх технічні і економічні параметри. Найчастіше для стабілізації розряду використовуються електромагнітні баластні дроселі. Вони дешеві і надійні, але коефіцієнт пульсації світлового потоку при їх застосуванні виходить високий, а коефіцієнт потужності – низький ($\cos \varphi \approx 0,5$). Тому ЛЛ прагнуть включати в схемах з розщепленою фазою, коли з одною з ЛЛ послідовно включають баластний дросель, а з другою – індуктивно-ємнісний баласт [2].

При такому включенні ЛЛ сумарний коефіцієнт пульсації наближається до коефіцієнта пульсації ламп розжарення, а коефіцієнт потужності – до одиниці. Для того, щоб на практиці реалізувати ці переваги, необхідно певним чином розрахувати ємність баластного конденсатора. Тільки в цьому випадку ЛЛ в схемі з індуктивно-ємнісним баластом будуть надійно запалюватися, мати низький коефіцієнт амплітуди струму і високий строк служби. В іншому випадку струм попереднього підігріву буде мінімально допустимо можливим, що ускладнить запалювання ЛЛ і призведе до падіння її строку служби. Крім того, стане неможливою уніфікація баластних дроселів по струму, коли стає можливим використання одного і того ж баластного дроселя як в якості індуктивного, так і індуктивно-ємнісного баласту, а також для стабілізації двох послідовно включених ЛЛ [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Якщо конструктивний і електричний розрахунок баластних дроселів добре розроблені і висвітлені в спеціальній літературі [4], то питання розрахунку величини ємності баластного конденсатора для індуктивно-ємнісних схем включення залишалося без уваги. Тільки в [2] наведена єдина формула для розрахунку номінальної ємності баластного конденсатора без будь-якої прив'язки до струмів настроювання баластних дроселів, процентних відхилень ємності конденсатора, співвідношення ємнісного опору конденсатора до індуктивного опору баластного дроселя.

Постановка завдання. Саме тому метою даної роботи стала розробка методу розрахунку баластного конденсатора для LC – схем включення ЛЛ з врахуванням діапазону струмів настроювання баластного дроселя, який би забезпечував їхню уніфікацію та необхідні (передбачені в [5]) пускові та робочі характеристики ЛЛ.

Повний опір LC-баласту (при нехтуванні активним опором) для основної гармоніки буде:

$$Z_{LC} = X_{\phi} = X_L - X_C = \omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C}. \quad (1)$$

Індуктивно-ємнісні баласты – це послідовно з'єднані конденсатор з ємністю C і дросель з індуктивністю L (рис. 1, а), причому загальний опір кола має ємнісний характер, тобто $1/(\omega \cdot C) > \omega \cdot L$. Струм лампи в цьому випадку, якщо нехтувати активним опором дроселя (а він, як правило, на один порядок менше індуктивного) і втратами в конденсаторі, визначаються виразом:

$$I_{\lambda} = \frac{U_{LC}}{\omega \cdot L - 1/(\omega \cdot C)}. \quad (2)$$

Напруга на баласті U_{LC} (див. рис. 1, б) є геометричною сумою напруги на баластному конденсаторі U_C і напруги на дроселі U_L , а струм має ємнісний характер.

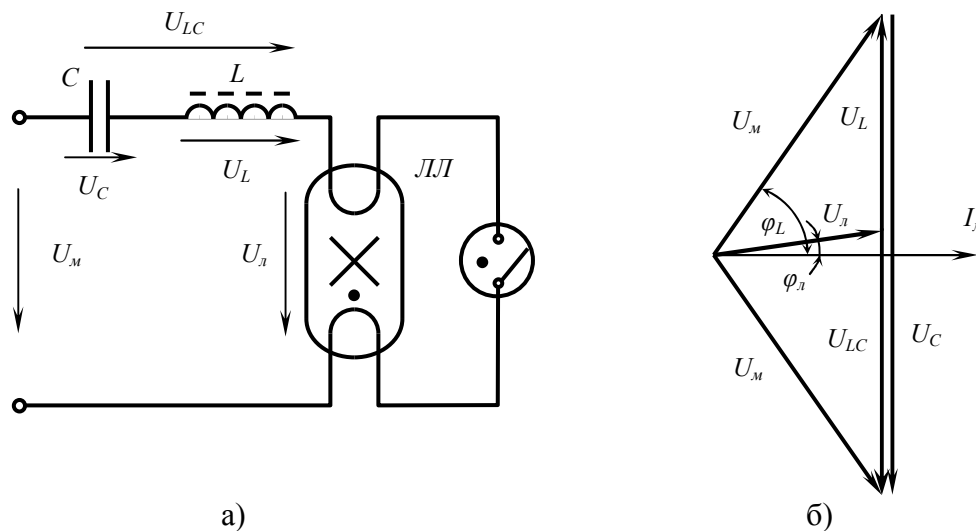


Рис. 1. Електрична схема і векторна діаграма роботи газорозрядної лампи з індуктивно-ємнісним баластом

Для заданої напруги живлення U_M , напруги на ЛЛ U_L і струму лампи I_L опір баласту визначається однозначно. Однак реалізувати визначений опір індуктивно-ємнісного баласту можна на основі використання безмежної кількості значень X_C і X_L , одержуючи при цьому різні за характеристиками баласта. Якщо опір X_L зменшувати, то розміри, втрати в баласті і напруги U_C і U_L також будуть зменшуватись, що, в принципі, економічно вигідно. Але співвідношення X_C / X_L при цьому буде збільшуватися, що призведе до більшого спотворення форми кривої струму зі всіма несприятливими наслідками для строку служби ЛЛ.

Таким чином, виникає задача про вибір оптимального співвідношення X_C / X_L . Вирішення такої задачі залежить від призначення і умов експлуатації баласту. Одним з критеріїв може бути, наприклад, коефіцієнт амплітуди кривої струму, який не повинен перевищувати 1,7. В [4] рекомендується вибирати відношення X_C / X_L з діапазону (1,5...3,0) в залежності від відносної напруги на лампі $m = U_L / U_M$. Це досить широкий діапазон.

Багаторічний досвід випуску індуктивно-ємнісних баластів на ВАТ „Ватра” показав, що з точки зору їх собівартості величезну роль відіграють і процентні відхилення ємності конденсаторів від номінальних значень. Застосування конденсаторів з 10 % відхиленням від номінальних значень ($C_n \pm 10 \%$) спонукає виробника проводити закупівлю конденсаторів і транспортування їх до місця виробництва баластних дроселів, сортування на групи ($C_n \pm 4 \%$); $[(C_n + 4 \%) + 6 \%]$; $[(C_n - 4 \%) - 6 \%]$; спеціальне настроювання баластних дроселів для кожної з виділених груп, комплектування і упакування індуктивно-ємнісних баластів по групах. В разі пробою конденсатора в схемі індуктивно-ємнісний баласт – ЛЛ робочий і пусковий струми (при $C = C_n + 10 \%$) будуть перевищувати гранично допустимі значення, обумовлені в [5], що може призвести до пожежі. Навіть проста заміна конденсатора, в разі виходу його з ладу, буде пов’язана з труднощами пошуку ємності з необхідної групи. В зв’язку з цим необхідно обмежуватися тільки однією групою конденсаторів ($C_n \pm 4 \%$). Тоді закупівля конденсаторів і баластних дроселів стане справою заводів, які випускають світильники.

В подальших своїх міркуваннях з розрахунку баластного конденсатора для індуктивно-ємнісних баластів ми будемо вважати, що допуск на ємність конденсатора не перевищує $\pm 4 \%$.

Розрахунок почнемо з визначення ємності конденсатора за формулою, наведеною в [2]:

$$C_n = \frac{I_{л.н}}{2 \cdot \omega \cdot U_m \cdot \sin\left(\arccos \frac{P_l + P_{dp}}{U_m \cdot I_{л.н}}\right)} \quad (3)$$

Напруга на конденсаторі:

- при номінальному значенні ємності і номінальному струмі лампи:

$$U_C = \frac{I_{л.н}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_n}; \quad (4)$$

- в пусковому режимі при максимальній величині ємності конденсатора і мінімально допустимому, згідно з [5], пусковому струмі лампи:

$$U_{C1} = I_{л.мин} \cdot (X_C)_{мин} \quad (\text{при } C = 1,04 \cdot C_n); \quad (5)$$

- в робочому режимі при мінімальній величині ємності конденсатора і максимально допустимому, згідно з [5], струмі лампи:

$$U_{C2} = I_{л.макс} \cdot (X_C)_{макс} \quad (\text{при } C = 0,96 \cdot C_n). \quad (7)$$

Розраховуємо ємнісний опір баластного конденсатора при номінальному значенні ємності

$$(X_C)_n = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_n} \quad (8)$$

Визначаємо номінальне значення індуктивного опору баластного дроселя:

$$(X_L)_n = (X_C)_n - \sqrt{\left(\frac{U_m}{I_{л.н}}\right)^2 - \left(\frac{P_l}{I_{л.н}^2}\right)^2} \quad (9)$$

Перевіряємо величину співвідношення ємнісного опору до його індуктивної складової, яке у відповідності з [4] для забезпечення стабільної роботи лампи повинно знаходитися в межах $1,5 < X_C / X_L < 3,0$.

Після розрахунку ємності конденсатора необхідно визначити діапазон струмів настроювання баластного дроселя. Покажемо, як це здійснюється на конкретному прикладі для індуктивно-ємнісної схеми включення ЛЛ потужністю 40 Вт.

Вихідні дані:

- номінальна частота мережі $f = 50 \text{ Гц}$;
- номінальна напруга мережі $U_m = 220 \text{ В}$;
- номінальний струм лампи $I_{л.н} = 0,43 \text{ А}$;
- номінальна напруга на лампі $U_l = 103 \text{ В}$;
- повний опір баластного дроселя $Z_L = 390 \text{ Ом}$ (згідно [5]);
- номінальна напруга на баластному дроселі $U_L = Z_L \cdot I_{л.н} = 167,7 \text{ В}$;
- потужність втрат в дроселі $P_{dp} = 9,2 \text{ Вт}$.

Розрахунок:

1. Визначаємо номінальну ємність баластного конденсатора:

$$C_n = \frac{I_{л.н}}{2 \cdot \omega \cdot U_m \cdot \sin\left(\arccos \frac{P_l + P_{dp}}{U_m \cdot I_{л.н}}\right)} = \frac{0,43}{2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 220 \cdot \sin\left(\arccos \frac{40 + 9,2}{220 \cdot 0,43}\right)} = 3,64 \text{ (мкФ)}.$$

Приймаємо конденсатор ємністю $(3,6 \pm 4 \%) \text{ мкФ}$:

$$C_{мин} = 0,96 \cdot C_n = 0,96 \cdot 3,6 = 3,456 \text{ мкФ}; \quad (X_C)_{макс} = \frac{10^6}{2 \cdot 50 \cdot 3,14 \cdot 3,456} = 921 \text{ Ом};$$

$$C_{макс} = 1,04 \cdot C_n = 1,04 \cdot 3,6 = 3,744 \text{ мкФ}; \quad (X_C)_{мин} = \frac{10^6}{2 \cdot 50 \cdot 3,14 \cdot 3,744} = 850,2 \text{ Ом}.$$

2. Визначаємо напругу на конденсаторі:

- при номінальному значенні ємності і номінальному струмі лампи:

$$U_C = \frac{I_{л.н.}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_n} = \frac{0,43 \cdot 10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 3,6} = 380,2 \text{ В};$$

- в пусковому режимі при максимальній величині ємності конденсатора і мінімально допустимому пусковому струмі лампи:

$$U_{C1} = I_{л.мин} \cdot (X_C)_{мин} = 0,9 \cdot 0,43 \cdot 850,2 = 329 \text{ В};$$

- в робочому режимі при мінімальній величині ємності конденсатора і максимально допустимому струмі лампи:

$$U_{C2} = I_{л.маx} \cdot (X_C)_{маx} = 1,1 \cdot 0,43 \cdot 921 = 435,6 \text{ В}.$$

3. Визначаємо ємнісний опір баластного конденсатора при номінальному значенні ємності

$$(X_C)_н = \frac{10^6}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_n} = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 3,6} = 884,2 \text{ Ом}.$$

4. Визначаємо індуктивний опір баласту з врахуванням відхилення струму при настроюванні $I_{л.н} \pm 0,01 \text{ А}$, ($I_{л1} = 0,44 \text{ А}$, $I_{л2} = 0,42 \text{ А}$):

$$(X_L)_н = (X_C)_н - \sqrt{\left(\frac{U_m}{I_{л.н}}\right)^2 - R_{л.н}^2} = 884,2 - \sqrt{\left(\frac{220}{0,43}\right)^2 - \left(\frac{40}{0,43^2}\right)^2} = 420,6 \text{ Ом};$$

$$(X_L)_{маx} = (X_C)_н - \sqrt{\left(\frac{U_m}{I_{л1}}\right)^2 - R_{л1}^2} = 884,2 - \sqrt{\left(\frac{220}{0,44}\right)^2 - \left(\frac{40}{0,44^2}\right)^2} = 428,9 \text{ Ом};$$

$$(X_L)_{мин} = (X_C)_н - \sqrt{\left(\frac{U_m}{I_{л2}}\right)^2 - R_{л2}^2} = 884,2 - \sqrt{\left(\frac{220}{0,42}\right)^2 - \left(\frac{40}{0,42^2}\right)^2} = 412 \text{ Ом}.$$

5. Перевіряємо величину співвідношення ємнісного опору LC – баласту до його індуктивної складової

$$\frac{X_C}{X_L} = \frac{884,2}{420,6} = 2,1.$$

Після цього визначаємо діапазон струмів настроювання баластних дроселів графоаналітичним методом (див. рис. 2).

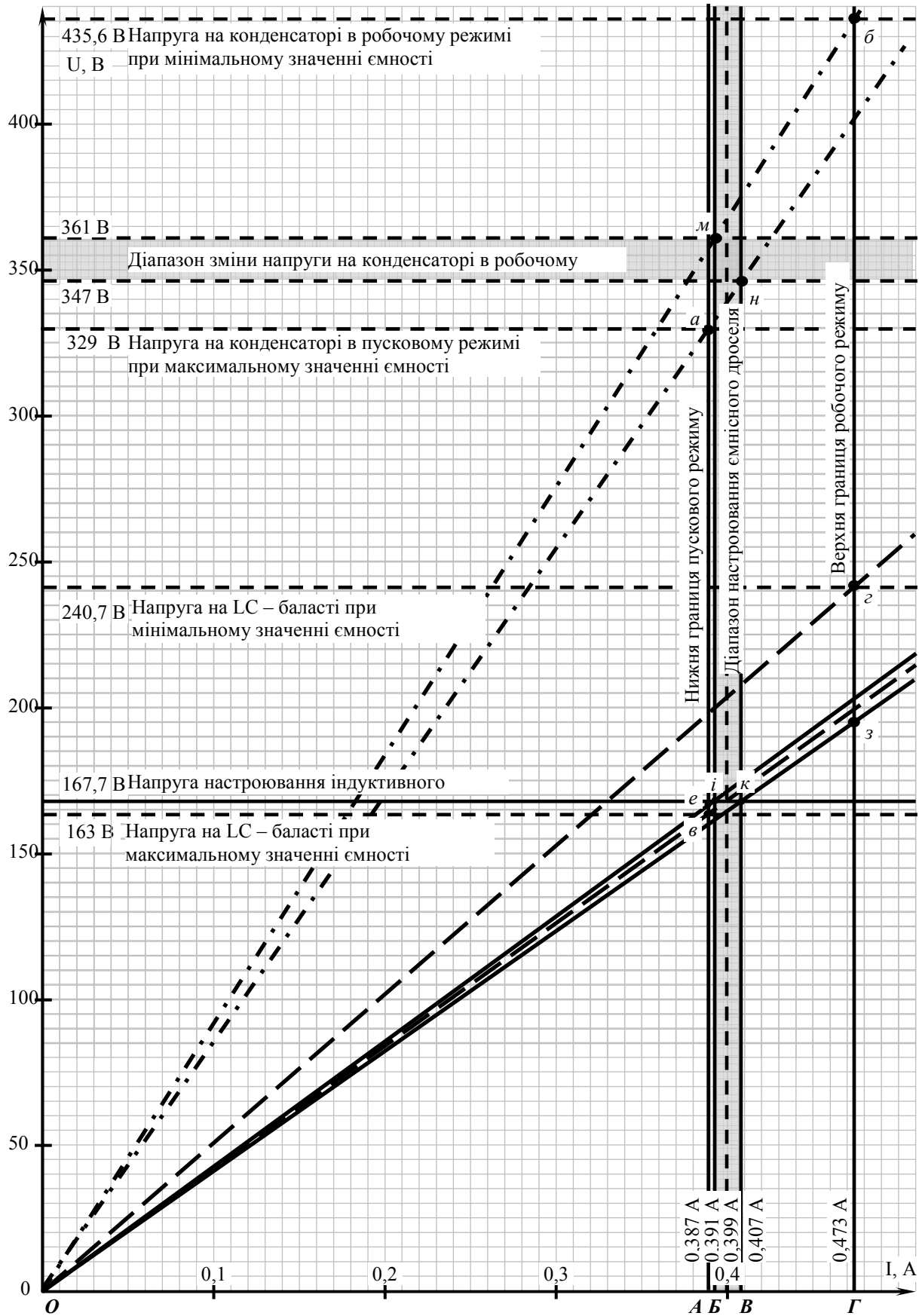


Рис. 2. Графічний метод визначення границь струмів настроювання уніфікованих баластних дроселів

6. По осі абсцис відкладаємо значення допустимих струмів.
– мінімально допустиме значення пускового струму згідно з [5]:

$$I_{л. \min} = 0,9 \cdot I_{л.н.} = 0,9 \cdot 0,43 = 0,387 \text{ А.}$$

– максимально допустиме значення робочого струму згідно з [5]:

$$I_{л. \max} = 1,1 \cdot I_{л.н.} = 1,1 \cdot 0,43 = 0,473 \text{ А.}$$

7. По осі ординат відкладаємо:

– напругу настроювання індуктивного баласту $U_L = 167,7 \text{ В}$;

– напругу на індуктивно-ємнісному баласті:

в пусковому режимі при максимальній величині ємності конденсатора і мінімально допустимому пусковому струмі лампи:

$$U_{LC1} = I_{л. \min} \cdot ((X_C)_{\min} - (X_L)_{\max}) = 0,387 \cdot (850,2 - 428,9) = 163 \text{ В};$$

в робочому режимі при мінімальній величині ємності конденсатора і максимально допустимому струмі лампи:

$$U_{LC2} = I_{л. \max} \cdot ((X_C)_{\max} - (X_L)_{\min}) = 0,473 \cdot (921 - 412) = 240,7 \text{ В};$$

– напругу на баластному конденсаторі:

в пусковому режимі при максимальній величині ємності конденсатора і мінімально допустимому пусковому струмі лампи $U_{C1} = 329 \text{ В}$;

в робочому режимі при мінімальній величині ємності конденсатора і максимальному струмі лампи $U_{C2} = 435,6 \text{ В}$.

8. Через початок координат і точку перетину ліній границь струму пускового і робочого режимів з напругами проводимо лінії зміни напруг:

– на конденсаторі в пусковому режимі (через точку *a*, пряма *Oa*);

– на конденсаторі в робочому режимі (через точку *b*, пряма *Ob*);

– на LC – баласті в пусковому режимі (через точку *v*, пряма *Ov*);

– на LC – баласті в робочому режимі (через точку *z*, пряма *Oz*).

9. Віднімаємо від ординати напруги на конденсаторі в пусковому режимі (при $C=3,456 \text{ мкФ}$) ординату напруги на LC – баласті в пусковому режимі ($U_{Aa} - U_{Av}$), отримуємо ординату напруги на баластному дроселі U_{Ae} (відрізок *Ae*).

Через точку *e* і початок координат проводимо пряму *Oe*. Перетин цієї прямої з лінією напруги настроювання дроселя в точці *i* дає нижню границю струму настроювання баластного дроселя, яка складає $0,391 \text{ А}$ при $U_L = 167,7 \text{ В}$ (відрізок *OB*).

10. Віднімаємо від ординати напруги на конденсаторі в робочому режимі (при $C=3,744 \text{ мкФ}$) ординату напруги на LC – баласті в робочому режимі ($U_{Gb} - U_{Gz}$) і отримуємо ординату напруги на баласті U_{G3} (відрізок *G3*).

Через точку *z* і початок координат проводимо пряму *Oz*. Перетин цієї прямої з лінією напруги настроювання баластного дроселя в точці *k* дає верхню границю струму настроювання дроселя $0,407 \text{ А}$ при $U_L = 167,7 \text{ В}$ (відрізок *OB*). Діапазон струмів настроювання баластного дроселя складе $I_1=0,391 \text{ А}$, $I_2=0,407 \text{ А}$ при $U_L = 167,7 \text{ В}$, який буде забезпечувати електричні характеристики індуктивно-ємнісного баласту при застосуванні баластного конденсатора ємністю $C=(3,456...3,744) \text{ мкФ}$, тобто $C=3,6 \text{ мкФ} \pm 4 \%$.

11. Проводимо через точки *i* та *k* лінії *Bi* та *Bk*, паралельні осі ординат до перетину з лініями напруг на конденсаторі в пусковому і робочому режимах (точки *m* і *n*), і з цих точок лінії, паралельні осі абсцис. В результаті одержимо діапазон зміни напруги на конденсаторі в залежності від струму настроювання баластного дроселя і фактичної величини ємності конденсатора в діапазоні $(3,456...3,744) \text{ мкФ}$. Зміна напруги на конденсаторі в робочому режимі буде складати $U_{C.p}=(347...361) \text{ В}$, а в пусковому режимі $U_{C.n}=(329...435,6) \text{ В}$.

Результати експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків схем «індуктивно-ємнісний баласт – номінальна ЛЛ» наведені в таблиці 1. Аналіз результатів табл. 1 показує, що при граничних значеннях ємності конденсатора, струму настроювання дроселя та максимально допустимих коливаннях напруги мережі

значення пускового та робочого струмів дещо відрізняються від розрахункових, оскільки при розрахунках вважається, що струм та напруга на баласті є синусоїдними, насправді ж форма кривих струму та напруги відрізняються від синусоїди. Тому для надійної роботи та запалювання лампи необхідно зменшити діапазон настроювання баластного дроселя, а саме нижню границю підняти, а верхню опустити на 1% до значень $0,396 A < I_{настр} < 0,402 A$.

Результати розрахунків, проведені відповідно до запропонованої методики для ЛЛ різної потужності, наведені в таблиці 2.

Таблиця 1

Результати вимірювань струмів в колі „LC баласт – номінальна ЛЛ” потужністю 40 і 36 Вт при найгірших поєднаннях ємності конденсатора, струму настроювання баластного дроселя і напруги мережі*

P _л =40 Вт (36 Вт)	I _{настр} =0,407 А; C=3,456 мкФ (3,6-4%); U _м =198 В (220-10%)		I _{настр} =0,391 А; C=3,744 мкФ (3,6+4%); U _м =220	
	Робочий режим	Пусковий режим	Робочий режим	Пусковий режим
I _л , А	0,382 (0,410)	0,392 (0,389)	0,489 (0,514)	0,499 (0,497)
U _{LC} , В	195 (211)	197 (194)	218 (233)	219 (216)
U _л , В	168 (181)	163 (161)	209 (217)	207 (205)
P _л =36 Вт (40 Вт)	I _{настр} =0,407 А; C=3,36 мкФ (3,5-4%); U _м =198 В (220-10%)		I _{настр} =0,391 А; C=3,64 мкФ (3,5+4%); U _м =220В	
	Робочий режим	Пусковий режим	Робочий режим	Пусковий режим
I _л , А	0,395 (0,366)	0,372 (0,375)	0,493 (0,469)	0,476 (0,479)
U _{LC} , В	212 (196)	195 (197)	232 (219)	220 (219)
U _л , В	177 (164)	155 (157)	212 (204)	199 (201)
P _л =40 Вт (36 Вт)	I _{настр} =0,407 А; C=3,528 мкФ (3,6-2%); U _м =198 В (220-10%)		I _{настр} =0,391 А; C=3,672 мкФ (3,6+2%); U _м =220 В	
	Робочий режим	Пусковий режим	Робочий режим	Пусковий режим
I _л , А	0,393 (0,420)	0,407 (0,403)	0,477 (0,500)	0,486 (0,481)
U _{LC} , В	195 (210)	195 (194)	219 (235)	219 (216)
U _л , В	172 (185)	167 (165)	206 (215)	203 (201)
P _л =36 Вт (40 Вт)	I _{настр} =0,407 А; C=3,43 мкФ (3,5-2%); U _м =198 В (220-10%)		I _{настр} =0,391 А; C=3,57 мкФ (3,5+2%); U _м =220 В	
	Робочий режим	Пусковий режим	Робочий режим	Пусковий режим
I _л , А	0,405 (0,378)	0,385 (0,390)	0,481 (0,459)	0,460 (0,467)
U _{LC} , В	211 (195)	195 (197)	234 (220)	217 (219)
U _л , В	180 (167)	160 (161)	210 (201)	195 (197)
P _л =40 Вт (36 Вт)	I _{настр} =0,407 А; C=3,456 мкФ (3,6-4%); U _м =209 В (220-5%)		I _{настр} =0,407 А; C=3,528 мкФ (3,6-2%); U _м =209 В (220-5%)	
	Робочий режим	Пусковий режим	Робочий режим	Пусковий режим
I _л , А	0,407 (0,431)	413 (0,409)	0,418 (0,442)	0,427 (0,421)
U _{LC} , В	208 (222)	208 (205)	207 (221)	206 (204)
U _л , В	177 (188)	171 (168)	182 (192)	174 (172)
P _л =36 Вт (40 Вт)	I _{настр} =0,407 А; C=3,36 мкФ (3,5-4%); U _м =209 В (220-5%)		I _{настр} =0,407 А; C=3,43 мкФ (3,6-2%); U _м =209 В (220-5%)	
	Робочий режим	Пусковий режим	Робочий режим	Пусковий режим
I _л , А	0,413 (0,390)	0,391 (0,398)	0,425 (0,402)	0,403 (0,408)
U _{LC} , В	223 (209)	205 (208)	223 (208)	205 (207)
U _л , В	183 (171)	162 (165)	187 (175)	166 (167)

* Струм в колі „дросель зразковий вимірювальний – номінальна ЛЛ” складає 0,43 А. Всі вимірювання проведені в лабораторії ПРА ОСП „Корпорація Ватра”.

Таблиця 2

Результати розрахунків відповідно до запропонованої методики
для ЛЛ різної потужності

Вихідні дані						Результати розрахунку						
№ п/п	$P_{лб}$, Вт	$P_{др}$, Вт	$U_{лб}$, В	$I_{лб}$, А	Z_L^* , Ом згідно [5]	U_L , В	U_{Cmax}^{**} , В, розрах.	$\varphi_{сх}$, °	X_C , Ом	X_L , Ом	X_C / X_L	C^{***} , мкФ, згідно [2]
1	2*10	4,6	64	0,19	1047	198,93	459,0	53,95	1872,4	855,6	2,19	1,7
2	13	4,8	91	0,175	1070	187,25	475,4	62,46	2273,6	1090,3	2,08	1,43
3	2*18	8,9	57	0,37	538	199,06	450,0	56,52	994,7	461,4	2,16	3,2
4	2*22 С	8,9	62	0,37	518	191,66	441,4	49,47	909,5	409,3	2,22	3,52
5	30	8,9	96	0,365	480	175,2	456,5	61,11	1061,0	501,9	2,11	3,02
6	32 С	9,0	81	0,425	478	203,15	473,3	63,99	964,6	478,2	2,02	3,42
7	36 (40)	9,2	103	0,43	390	167,7	457,0	61,46 (58,66)	884,2	420,4	2,10	3,54 (3,64)
8	58 (65)	13,5	110	0,67	240	160,8	454,9 (450,3)	60,98 (57,82)	578,7 (558,4)	276,8 (263,7)	2,12	5,54 (5,73)
9	80	16,0	102	0,865	223	192,9	447,2	59,7	4436,0	205,2	2,12	7,25

* Розрахунок повного опору баластних дроселів Z_L розрядних ламп, для яких не відомі параметри дроселів зразкових вимірювальних, можна провести за формулою

$$Z_L = \frac{1}{I_{л.н} \cdot k_l} \left(\sqrt{U_m^2 - (U_l \cdot k_l)^2} - U_l \cdot \sin(\arccos k_l) \right) \cdot k$$

де k – поправочний коефіцієнт:

$k=0,975$ для люмінесцентних ламп;

$k=1,025$ для розрядних ламп високого тиску;

$k_l = \frac{P_l}{I_{л.н} \cdot U_l}$ – коефіцієнт потужності лампи.

** U_{Cmax} – максимально можлива напруга на конденсаторі, виходячи з якої вибирається конденсатор згідно з існуючим сортаментом. Її можна визначити за формулою:

$$U_{Cmax} = \frac{1,1 \cdot U_m}{(X_C)_{max} - (X_L)_{max}} \cdot (X_C)_{max}$$

*** Ємності конденсаторів закордонних ПРА дещо відрізняються від вітчизняних, оскільки там ЛЛ включаються в мережу з напругою 230 В, тому напруга на баласті виходить більша, а ємність конденсатора – менша.

Висновки

1. При зазначенні в державних стандартах [5] конкретних значень повного опору індуктивного баластного дроселя для розрядних ламп вести мову про такий широкий діапазон відношення $1,5 \leq X_C / X_L \leq 3,0$, як це вказано в [4], немає сенсу. Для кожного типу і потужності лампи це відношення визначається однозначно розрахунком ємності конденсатора (див. вираз (3)).
2. Для широкого діапазону потужностей і типів ЛЛ співвідношення X_C / X_L не виходить за межі $2,0 \leq X_C / X_L \leq 2,25$, коли струм лампи в схемі близький до синусоїдного.

3. Для надійного запалювання та роботи ЛЛ потужністю 40 Вт (36 Вт) в колі з індуктивно-ємнісним баластом в мережі з 10 % відхиленням напруги необхідно застосовувати баластні дроселі зі струмом настроювання $0,396 \text{ A} < I_{настр} < 0,402 \text{ A}$ та конденсатори з 2 % відхиленням по ємності. У разі використання конденсаторів з 4 % відхиленням по ємності настроювання баластного дроселя зводиться до струму $I_{настр} = (0,391 + 0,407) / 2 = 0,399 \text{ A}$, тобто повинно бути абсолютно точним.
4. У разі використання енергоекономічних ЛЛ (наприклад 36 Вт ЛЛ в колбі діаметром 26 мм замість 40 Вт ЛЛ в колбі діаметром 40 мм) номінальна ємність конденсатора, згідно з розрахунками, повинна бути зменшена з 3,6 мкФ до 3,5 мкФ.
5. В зв'язку з тим, що робочий струм при номінальній напрузі мережі в колі з індуктивно-ємнісним баластом завжди перевищує номінальні значення, а пусковий виходить близьким до граничного мінімально допустимого (рис. 2), можна однозначно стверджувати, що строк служби ЛЛ буде завжди нижчим, ніж в колі з індуктивним баластом.
6. Для реалізації можливості випуску підприємствами уніфікованих баластних дроселів наведений метод визначення їх струмів настроювання дозволяє забезпечити надійне запалювання і горіння ЛЛ.

Перспективою подальших досліджень в даному напрямку є визначення впливу ємності баластного конденсатора індуктивно-ємнісного баласту на надійність запалювання і стабільність горіння ЛЛ при плавному зниженні напруги мережі до згасання лампи.

In the given article the method of definition of ballast throttles adjustment currents range for a possibility of their use both in inductive, and in inductive - capacity circuit of luminescent lamps turning is watched. Recommendations concerning sampling an optimum relationship of the capacitive and inductive components of resistance in inductive - capacity ballast are instanced also.

Література

1. Закон України про енергозбереження. Енергозбереження: законодавство та норми. Збірник №1. – Николаев: Издательство „ЮИКК”, 1998. – С. 9–14.
2. Е. И. Афанасьева, В. М. Скоблев. Источники света и ПРА. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
3. Боос В. Г., Лазаревич С. Б., Сморгонский В. И. Об унифицированных ПРА для люминесцентных ламп // Светотехника. – 1990, № 11. – С. 8 – 9.
4. Пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп/ А. Е. Краснопольский, В. Б. Соколов, А. М. Троицкий; Под общ. ред. А. Е. Краснопольского. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.
5. ГОСТ 16809–88. Аппараты пускорегулирующие для разрядных ламп. Общие технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1989. – 27 с.

Одержано 30.03.2004 р.