

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКТИВНОГО МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНИХ ДРОСЕЛІВ ДЛЯ РОЗРЯДНИХ ЛАМП

В статті описано метод розрахунку оптимальних баластних дроселів для розрядних ламп низького та високого тиску з виведенням оригінальних формул, відтворенням характеристик, пов'язаних із температурними режимами дроселів (робочим і аварійним), і залежностей безрозмірних коефіцієнтів від заданого параметра мінімізації. Описано методику розрахунку при заданих розмірах пластин магнітопроводу та при наявності обмежень поперечного перерізу.

Умовні позначення

- a** – ширина осердя магнітопроводу, см;
 b – товщина набору пластин магнітопроводу, см;
 c – ширина вікна магнітопроводу, см;
 h – висота вікна магнітопроводу, см;
 L_1 – ширина дроселя, см;
 L_2 – висота дроселя, см;
 V – об'єм активних матеріалів, см³;
 X – параметр мінімізації;
 m, n, ε – безрозмірні геометричні коефіцієнти;
 K_m – коефіцієнт заповнення вікна магнітопроводу міддю;
 K_s – коефіцієнт заповнення пакета магнітопроводу сталлю;
 j – густина струму в обмотці, А/мм²;
 d, d_{iz} – діаметр проводу обмотки без ізоляції і з ізоляцією відповідно, мм;
 W – кількість витків обмотки;
 $B_m, B_{m\ av}$ – магнітна індукція в осерді магнітопроводу в робочому і аварійному режимах відповідно, Тл;
 $H_m, H_{m\ av}$ – напруженість магнітного поля в осерді магнітопроводу в робочому і аварійному режимах відповідно, А/м;
 H_{op} – напруженість магнітного поля в дроселі, А/м;
 G_{op} – маса активних матеріалів дроселя, кг;
 $G_{ст\ в} G_{об}$ – маса магнітопроводу та обмотки котушки дроселя відповідно, кг;
 P_{op} – потужність втрат у дроселі, Вт;
 $P_{ст\ в} P_{об}$ – втрати потужності в магнітопроводі та обмотці котушки дроселя відповідно, Вт;
 $P_{op\ доп}$ – допустима потужність втрат у дроселі, Вт;
 $P_{1,0f}$ – питомі втрати потужності в сталі при індуктивності 1 Тл і на заданій частоті f , Вт;
 $p_{об}$ – питомі втрати потужності в обмотці котушки дроселя, Вт;
 $p_{об\ роб}$ – питомі втрати потужності в обмотці котушки дроселя в робочому режимі, Вт;
 P_l – потужність лампи, Вт;
 Z_b – вартість активних матеріалів без урахування відходів при штампуванні, грн/кг;

"СВІТЛОТЕХНІКА Й ЕЛЕКТРОТЕХНІКА: ІСТОРІЯ, ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ"

Z_c	– вартість активних матеріалів з урахуванням відходів при штампуванні, грн/кг;
$Z_{ст}, Z_{об}$	– питома вартість сталі та матеріалу обмотки відповідно, грн/кг;
$l_{нов}$	– довжина повітряного зазору, см;
$l_{ст}$	– довжина середньої силової лінії магнітопроводу, см;
l_m	– довжина середнього витка обмотки котушки, см;
$S_{відкр}$	– величина площі відкритої поверхні, з якої відбувається охолодження дроселя, см ² ;
α_{ef}	– ефективний коефіцієнт тепловіддачі при вільній конвекції, Вт/(см ² ·°C);
K_T	– коефіцієнт, який характеризує перепад температури від внутрішніх шарів обмотки до поверхні котушки;
$\Delta T_{об}$	– температура перегрівання обмотки котушки, °C;
$\Delta T_{ст}$	– температура перегрівання сталі, °C;
$U_{др}$	– напруга на дроселі, В;
I	– струм дроселя, А;
K_I, K_U	– коефіцієнти кратності струму і напруги відповідно;
$K_{I ав}, K_{U ав}$	– коефіцієнти кратності струму і напруги відповідно в аварійному режимі;
K_ϕ	– коефіцієнт форми кривої напруги;
f	– частота живлення, Гц;
$g_{об}, g_{ст}$	– коефіцієнти, які залежать лише від безрозмірних коефіцієнтів m, n, ϵ ;
$\gamma_{ст}, \gamma_{об}$	– густина сталі і матеріалу обмотки, г/см ³ .

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Останнім часом однією з основних проблем у нашій країні і взагалі у світі є проблема економії енергетичних ресурсів, у тому числі й електроенергії [1]. З огляду на це, перед ученими постала задача створення енергоекономічних споживачів, зокрема освітлювальних установок, досягти чого можна, використовуючи високоефективні розрядні джерела світла. Для стабілізації роботи таких джерел необхідні пускорегулюючі апарати (ПРА), обов'язковою складовою яких є баластний дросель (БД).

Розробка методу розрахунку оптимальних БД є складною і на сьогоднішній день до кінця не вирішеною проблемою.

Постановка проблеми полягає в створенні економічних БД для розрядних ламп (освітлювальних установок). Проблема ця очевидна і в теперішній час її намагаються вирішити шляхом розробки електронних ПРА, невід'ємним елементом яких є знову ж таки баластний дросель, магнітопровід якого виготовляють не з електротехнічних сталей, а з феритів, пермалоїв і т.п.

Основні втрати потужності, які визначають ККД світлових приладів, в схемах з розрядними лампами зосереджені в баластних дроселях, тому створення оптимальних (енергоекономічних) БД – це складне теоретичне питання, яке безумовно потребує свого вирішення.

Проектування дроселів з оптимальними конструктивними параметрами, які б задовольняли вимогам [2, 3], дозволить заощадити магнітні і провідникові матеріали, електроенергію та скоротити час на

II міжнародна науково-технічна конференція

розробку й впровадження виробу у виробництво, що допоможе динамічно реагувати на потреби ринку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогодні існує два основних методи конструктивного розрахунку БД, які дозволяють проектувати як оптимальні дроселі, так і дроселі з певними обмеженнями геометричних розмірів. Ці методи детально описані в [4,5].

Метод, запропонований в [4], не дозволяє врахувати специфічні умови роботи дроселів в колах з розрядними лампами, які є нелінійними елементами і характеризуються не тільки робочим режимом, але і пусковим, БД також повинні витримувати тривалий час такі аварійні режими, як тривалий пусковий та випрямляючий.

В [5] описана методика розрахунку БД, яка розроблена з врахуванням всіх можливих режимів роботи розрядних ламп. Однак похибки при використанні цього методу розрахунку досить значні і в окремих випадках сягають 20 %. Тому розраховані дроселі мають помітно збільшену масу і невідповідні розміри, що добре видно з табл. 1, де наведені результати розрахунків при заданих розмірах пластин магнітопроводу a , c , h (пояснення до позначень див. рис. 1–3). Це, в свою чергу, збільшує трудомісткість експериментального доведення параметрів БД до вимог [2, 3] перед впровадженням їх у серійне виробництво.

Таблиця 1

Конструктивні параметри дроселя для люмінесцентної лампи потужністю 40 Вт, розрахованого при заданих розмірах пластин магнітопроводу

Параметр	a, см	b, см	c, см	h, см	K_m	$j, A/m^2$	d, м	W, шт	$V_m, Tл$	$G_{др}, кг$	$P_{др}, Вт$
Випускається на ВАТ «Ватра»	1,28	5,4	0,66	1,7	0,53	5,94	0,30	835	1,397	0,4459	9,50
Отриманий у результаті розрахунку за [4]	1,33	12,27	0,68	1,76	0,53	2,64	0,45	399	1,24	1,061	7,46
Розрахований за новою методикою	1,28	5,63	0,66	1,7	0,53	5,94	0,30	835	1,34	0,464	9,47

Постановка завдання. Розробити більш досконалий метод розрахунку оптимальних БД з виводом оригінальних формул, відтворенням характеристик, пов'язаних з температурними режимами дроселів, і залежностей безрозмірних коефіцієнтів від заданого параметра мінімізації, створити методику розрахунку при заданих розмірах пластин магнітопроводу та при наявності обмеження поперечного перерізу, які б з більш високою точністю дозволяли

розраховувати конструктивні параметри БД. На основі розробленого методу створити алгоритм розрахунку та відповідне програмне забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Оскільки для виготовлення дроселів останнім часом використовуються матеріали з покращеним ефективним коефіцієнтом тепловіддачі при вільній конвекції α_{ef} , то його слід розраховувати в залежності від потужності лампи P_d і допустимої температури перегрівання ΔT у робочому й аварійному режимах за такими формулами:

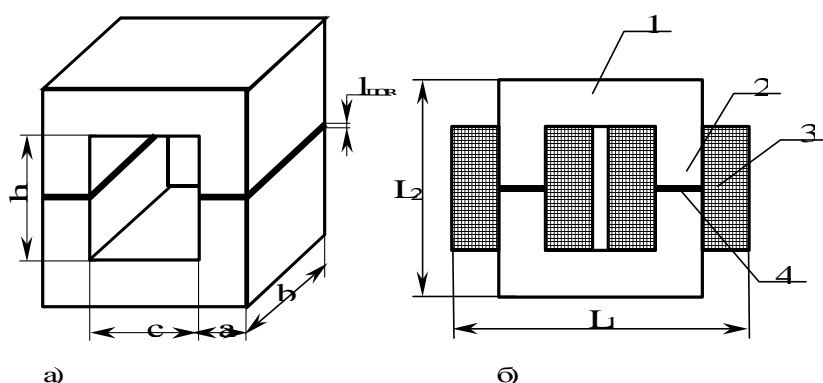


Рис. 1. Магнітопровід (а) і поперечний переріз дроселя серцевої магнітної системи з двома колушками (б): 1—ядро магнітопроводу; 2—серця магнітопроводу; 3—колушка; 4—повітряний зазор

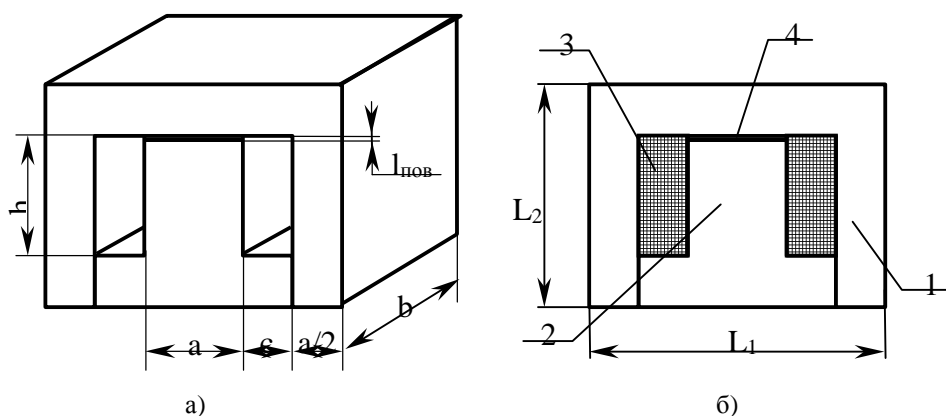


Рис. 2. Магнітопровід (а) і поперечний переріз дроселя броньової магнітної системи (б)

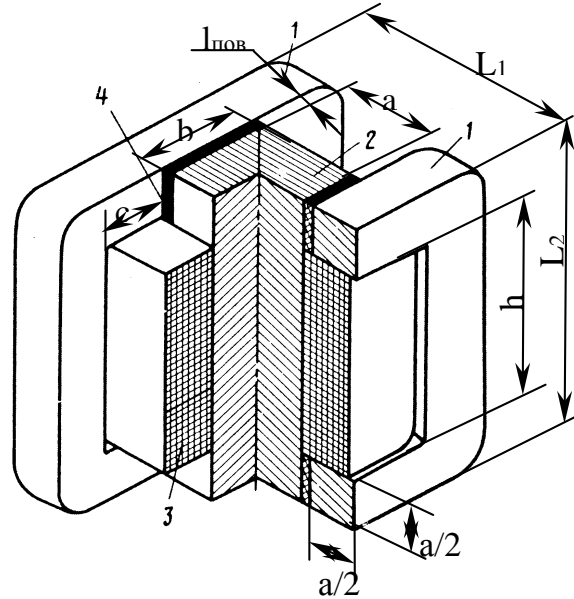


Рис. 3. Дросель просторової магнітної системи

для металевої основи

$$\alpha_{ef} = (k_{\alpha} \cdot \Delta T + b_{\alpha}) \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

для неметалевої основи

$$\alpha_{ef} = (k_{\alpha} \cdot \Delta T + b_{\alpha} - 0,05612) \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

де

$$k_{\alpha} = 0,004001 + \left[\frac{233,021 - S_{відкр}}{17,091 \cdot 10^9} \right]^{1/3}, \quad (3)$$

$$b_{\alpha} = 1,5059 + \frac{36,6215}{S_{відкр} - 48,9042}. \quad (4)$$

Значення $S_{відкр}$ залежить від потужності лампи і може бути визначене за такою формулою

$$S_{відкр} = 2,1818 \cdot P_{л} + 76,368. \quad (5)$$

Якщо $k_{\alpha} < 0,0005$, то варто прийняти $k_{\alpha} = 0,0005$.

При визначенні коефіцієнта K_T , що характеризує перепад температури від внутрішніх шарів обмотки до поверхні котушки, варто

"СВІТЛОТЕХНІКА Й ЕЛЕКТРОТЕХНІКА: ІСТОРІЯ, ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ"

використовувати криві, наведені в РТМ 16.682.043–74 (або в [5]), але врахувати, що для просочених котушок величина K_T в чотири рази менше і знаходиться в діапазоні $0,025 \leq K_T \leq 0,075$. Це пов'язано з удосконаленням технології просочування котушок і також з тим, що сучасні матеріали, які використовують для просочення, краще проводять тепло, за рахунок чого зменшується перепад температури від внутрішніх шарів обмотки до поверхні.

При описі границі області допустимих значень магнітної індукції B_m і густини струму j при обмеженні за допустимими втратами і за температурним режимом дроселя в робочому й аварійному режимах, рівняння найкраще подати в полярній системі координат.

При обмеженні за допустимими втратами для побудови залежності $B_{m.sp.} = f(j_{sp})$ необхідно попередньо розрахувати коефіцієнти:

$$D1 = 22,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{U_{dp} \cdot I}{K_\phi \cdot f} \right)^{3/4} \cdot K_m^{1/4} \cdot K_3^{-3/4} \cdot g_{ob} \cdot \gamma_{ob} \cdot P_{ob}, \quad (6)$$

$$D2 = 22,4 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{U_{dp} \cdot I}{K_\phi \cdot f} \right)^{3/4} \cdot K_3^{1/4} \cdot K_m^{-3/4} \cdot g_{cm} \cdot \gamma_{cm} \cdot P_{1,0/f}, \quad (7)$$

а потім значення B_m і j :

$$B_m = \left(\frac{P_{dp.don} \cdot \sin^3 \varphi \cdot \cos^3 \varphi}{D1 \cdot \sin^8 \varphi + D2 \cdot \cos^8 \varphi} \right)^2 \cdot \cos^4 \varphi, \quad (8)$$

$$j = \left(\frac{P_{dp.don} \cdot \sin^3 \varphi \cdot \cos^3 \varphi}{D1 \cdot \sin^8 \varphi + D2 \cdot \cos^8 \varphi} \right)^2 \cdot \sin^4 \varphi, \quad (9)$$

де кут φ змінювати від 90° до 0° .

При обмеженнях за допустимою температурою перегрівання обмотки для побудови залежності $B_{m.sp.} = f(j_{sp})$ необхідно попередньо визначити коефіцієнт C_{ob} , який характеризує розміри поверхні охолодження обмотки:

для вмонтованих апаратів, призначених для установки в корпусі світлових приладів:

$$1: C_{ob} = \frac{n^{1/2}}{m} \left[\frac{2 \cdot (2 \cdot m + 1)}{n \cdot (\varepsilon - 1)} + \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{n} + \pi \cdot m^2 \cdot (\varepsilon - 1)^2 + 2 \cdot m \cdot (\varepsilon - 1) \cdot (2 \cdot m + 1) \right];$$

$$2: C_{ob} = \frac{n^{1/2}}{m} \left[2 \cdot m \cdot (2 \cdot \varepsilon + 1) + \frac{2 \cdot (2 \cdot m + 1)}{n \cdot (\varepsilon - 1)} + 4 \cdot m^2 \cdot \varepsilon + \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{n} + 4 \cdot m^2 \cdot (\varepsilon - 1) + 2 \cdot \pi \cdot m^2 \cdot (\varepsilon - 1)^2 \right]; \quad (10)$$

де цифрами позначені типи систем магнітопроводів (МГП):

II міжнародна науково-технічна конференція

1 – стержнева штампована з двома катушками;

2 – броньова штампована.

Тоді:

$$j = 22,007 \cdot \left[\frac{K_\phi \cdot f \cdot K_3}{U_{\partial p} \cdot I \cdot K_M^3} \right]^{1/7} \left[\frac{\Delta T_{об} \cdot \alpha_{ef} \cdot (1 - K_T) \cdot C_{об}}{g_{об} \cdot \gamma_{об} \cdot P_{об} \cdot K_I^2} \right]^{4/7} \cdot B_m^{1/7}. \quad (11)$$

Щоб врахувати обмеження за перегріванням матеріалу МГП, необхідно попередньо визначити коефіцієнт C_{cm} :

$$\begin{aligned} 1: \quad C_{cm} &= 2 \cdot n^{1/2} [(\varepsilon + 3) + 2 \cdot m \cdot (\varepsilon + 1)]; \\ 2: \quad C_{cm} &= 2 \cdot n^{1/2} \left[\frac{m+1}{n \cdot m \cdot (\varepsilon - 1)} + 2 \cdot m \cdot \varepsilon + 2 \cdot \varepsilon + 1 \right]; \end{aligned} \quad (12)$$

а тоді

$$B_m = 22,007 \cdot \left[\frac{K_\phi \cdot f \cdot K_M}{U_{\partial p} \cdot I \cdot K_3^3} \right]^{1/7} \cdot \left[\frac{\Delta T_{cm} \cdot \alpha_{ef} \cdot C_{cm}}{g_{cm} \cdot \gamma_{cm} \cdot P_{1,0/f} \cdot K_U^2} \right]^{4/7} \cdot j^{1/7}. \quad (13)$$

Для апаратів незалежного виконання, які встановлюються окремо від світлового приладу, спочатку визначаємо значення коефіцієнта M :

$$\begin{aligned} 1: \quad M &= n^{1/2} \left[2 \cdot (\varepsilon + 3) + \frac{4 \cdot (m+1)}{n \cdot m \cdot (\varepsilon - 1)} + 4 \cdot m \cdot (\varepsilon + 1) + \frac{2 \cdot \pi}{n} + 4 \cdot (\varepsilon - 1) \cdot (m+1) + \pi \cdot m \cdot (\varepsilon - 1)^2 \right]; \\ 2: \quad M &= n^{1/2} \left[2 \cdot (2 \cdot \varepsilon + 1) + \frac{4 \cdot (m+1)}{n \cdot m \cdot (\varepsilon - 1)} + 4 \cdot m \cdot \varepsilon + \frac{2 \cdot \pi}{n} + 4 \cdot (\varepsilon - 1) \cdot (m+1) + 2 \cdot \pi \cdot m \cdot (\varepsilon - 1)^2 \right]; \end{aligned} \quad (14)$$

тоді:

$$\Delta \bar{T} = \Delta T_{об} \cdot \alpha_{ef} \cdot (1 - K_T) \cdot M; \quad (15)$$

потім значення коефіцієнтів $M1, M2$:

$$M1 = 4,472 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{U_{\partial p} \cdot I \cdot K_M^3}{K_\phi \cdot f \cdot K_3} \right]^{1/4} \cdot g_{об} \cdot \gamma_{об} \cdot P_{об} \cdot K_I^2; \quad (16)$$

$$M2 = 4,472 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{U_{\text{оп}} \cdot I \cdot K_3^3}{K_\phi \cdot f \cdot K_M} \right]^{1/4} g_{cm} \cdot \gamma_{cm} \cdot P_{1,0/f} \cdot K_U^2; \quad (17)$$

і конкретні значення j і B_m :

$$j = \left[\frac{\Delta \bar{T}_{\text{об}} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi}{M1 \cdot \sin^8 \varphi + M2 \cdot \cos^8 \varphi} \right]^{2/3} \cdot \sin^4 \varphi; \quad (18)$$

$$B_m = \left[\frac{\Delta \bar{T}_{\text{об}} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi}{M1 \cdot \sin^8 \varphi + M2 \cdot \cos^8 \varphi} \right]^{2/3} \cdot \cos^4 \varphi. \quad (19)$$

При врахуванні обмежень за температурним режимом узято до уваги те, що обмотка (при щільному приляганні до поверхні МГП) охолоджується не тільки зовнішньою поверхнею, але і поверхнею МГП за рахунок теплопередачі між обмоткою і МГП. Це дозволяє збільшити значення граничної густини струму. Збільшення густини струму, у свою чергу, приводить до економії матеріалів і дозволяє зменшити габаритні розміри ПРА.

Побудова залежності $j_{zp} = f(B_{m,zp})$ при обмеженні за заданою кратністю пускового струму здійснюється за формулою:

$$j_{zp} = 0,252 \cdot 10^{-5} \cdot g_{cm}^{4/3} \left[\frac{H_{m,av} - K_{U,av} \cdot H_m}{K_{I,av} - K_{U,av}} \right]^{4/3} \left[\frac{K_\phi \cdot f}{U_{\text{оп}} \cdot I} \right]^{1/3} \frac{K_3^{1/3}}{K_M} \cdot B_m. \quad (20)$$

Значення H_m і $H_{m,av}$ визначаються з виразів, що апроксимують основні криві намагнічування електротехнічних сталей для значень B_m і $B_{m,av}$ відповідно, де $B_{m,av} = K_{U,av} \cdot B_m$ [6].

Після визначення основних геометричних параметрів БД необхідно уточнити значення магнітної індукції B_m і напруженості магнітного поля H_m , оскільки при введенні в МГП повітряного зазору крива намагнічування БД істотно відрізняється від основної кривої намагнічування. Тому спочатку розраховуємо значення $H_{\text{оп}}$ за формулою:

$$H_{\text{оп}} = \sqrt{2} \cdot I \cdot W / l_{cm}. \quad (21)$$

Потім визначаємо значення B_m і j за методикою, описаною в [6], для дроселя з повітряним зазором, після чого розраховуємо основні геометричні параметри БД (d , W , a , b , c , h , $l_{\text{нов}}$) за формулами, наведеними в [5].

Економічні показники баласту варто визначати з рівнянь:

$$1: l_m = 2 \cdot (a + b) + \frac{\pi}{2} \cdot \frac{W \cdot d_{i3}}{\text{ціла частина від } [h/d_{i3}]}, \quad (22)$$

$$2: l_m = 2 \cdot (a + b) + \pi \cdot \frac{W \cdot d_{i3}}{\text{ціла частина від } [h/d_{i3}]},$$

$$G_{cm} = 10^{-3} \cdot l_{cm} \cdot a \cdot b \cdot \gamma_{cm} \cdot K_3, \quad (23)$$

$$G_{ob} = 10^{-3} \cdot l_m \cdot W \cdot \gamma_{ob} \cdot \frac{\pi \cdot (0,1 \cdot d)^2}{4}, \quad (24)$$

$$G_{op} = G_{cm} + G_{ob}, \quad (25)$$

$$P_{cm} = G_{cm} \cdot p_{1,0/f} \cdot B_m^2, \quad (26)$$

$$P_{ob} = G_{ob} \cdot p_{ob\text{ роб}} \cdot j^2, \quad (27)$$

$$P_{op} = P_{cm} + P_{ob}. \quad (28)$$

Разом з цим пропонуємо нові залежності оптимальних співвідношень конструктивних параметрів від величини параметра мінімізації для штампованих і витих МГП різних конструкцій, що дозволяє розраховувати оптимальні БД при різних параметрах мінімізації (рис.4). Оптимальні значення безрозмірних коефіцієнтів m , n і ε визначалися в такий спосіб. Спочатку для дроселів різних потужностей з різними коефіцієнтами заповнення вікна магнітопроводу для різних магнітних систем розраховувалися коефіцієнти X для різних параметрів мінімізації (мінімальна вага, мінімальний об'єм, мінімальна вага й об'єм, мінімальна вартість магнітних матеріалів). Потім проводилася серія розрахунків дроселя при зміні безрозмірних коефіцієнтів від $m = 0,15$; $n = 0,5$; $\varepsilon = 1,3$ до $m = 1$; $n = 15$; $\varepsilon = 4,9$ із кроком $\Delta m = 0,01$; $\Delta n = 0,1$; $\Delta \varepsilon = 0,04$. Граничні значення безрозмірних коефіцієнтів вибиралися з практичних міркувань і технологічних можливостей. У процесі розрахунків визначалися мінімальні значення параметрів мінімізації і запам'ятовувалися коефіцієнти m , n , ε . У результаті були отримані ряд значень X і відповідні їм значення m , n , ε , при яких досягалися мінімальні значення параметрів, що оптимізуються, і на графіках залежностей m , n , ε від X координати цих значень відзначалися крапками. Потім у результаті апроксимації поліноміальною функцією були отримані криві залежностей оптимальних значень безрозмірних коефіцієнтів m , n , ε від коефіцієнта X . Порядок розрахунку скорочено

"СВІЛОТЕХНІКА Й ЕЛЕКТРОТЕХНІКА: ІСТОРІЯ, ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ"

показано на блок-схемі (рис. 5). Поліноміальна функція обрана тому, що точність апроксимації такою функцією досить висока 0,7 – 0,96. При апроксимації степеневою, логарифмічною або експонентною функцією точність апроксимації в даному випадку не перевищує 0,05. Перевірочальні розрахунки показали, що відносна похибка розрахункових і дійсних значень не перевищує 9%. У таблиці 2 наведений порівняльний аналіз відносної похибки при розрахунку оптимального БД для РЛ типу ДНаТ потужністю 400 Вт і значеннях коефіцієнта заповнення вікна магнітопроводу міддю $K_m=0,484$; коефіцієнта заповнення пакета магнітопроводу сталлю $K_s=0,95$; вартості матеріалу обмотки $z_{об}=23,4$ грн/кг; вартості сталі $z_{ст}=3,1$ грн/кг за допомогою кривих, згідно з [5], і отриманих нами кривих.

Нами також розроблена методика для розрахунку БД при наявності обмежень поперечного перерізу і при наявності заданих розмірів штампу.

При обмеженнях поперечного перерізу дроселя початкові значення параметрів m і ε вибираються за графіками рис. 4 у залежності від параметра X , а параметр n розраховується за формулами (29):

$$\begin{aligned} 1: \quad n &= \frac{L_1}{2 \cdot m \cdot (\varepsilon - 1) \cdot (\varepsilon \cdot L_2 - L_1)}; \\ 2: \quad n &= \frac{L_1}{m \cdot (\varepsilon - 1) \cdot (2 \cdot \varepsilon \cdot L_2 - L_1)}. \end{aligned} \quad (29)$$

Проводимо розрахунок. Потім перераховуємо параметр m за формулою $m_{i+1} = \frac{L'_1 \cdot L'_2}{L_1 \cdot L_2} \cdot m_i$, де L'_1, L'_2 і L_1, L_2 - розрахункові і задані

розміри поперечного перерізу відповідно, а параметр n розраховуємо за формулами (29). При новому значенні коефіцієнтів m і n знову проводимо розрахунок. Значення коефіцієнтів m і n перераховуємо доти, поки наступне значення буде відрізнятися від попереднього не більше чим на задану величину похибки Δ .

При заданих розмірах пластин магнітопроводу параметр ε розраховується за розмірами пластини a і c , початкове значення параметра m вибирається за графіками рис. 4 у залежності від параметра X , а параметр n розраховується за формулою:

$$n = \frac{a^2}{c \cdot h \cdot m}, \quad (30)$$

де a, c, h - задані розміри магнітопроводу.

II міжнародна науково-технічна конференція

Проводимо розрахунок. Потім перераховуємо параметр m за формулою $m_{i+1} = \frac{L_1' \cdot L_2'}{L_1 \cdot L_2} \cdot m_i$, а параметр n розраховуємо за формулою

(30). Перерахунок проводиться в такий же спосіб, як і у випадку, викладеному вище, при обмеженні поперечного перерізу.

Відмінності запропонованого нами методу розрахунку баластних дроселів при наявності обмежень поперечного перерізу і заданих розмірів пластин магнітопроводу від методу, запропонованого в [5], полягає в тому, що при розрахунку за методом [5] при заданих розмірах пластин магнітопроводу коефіцієнти m і n не перераховуються, а варіюється товщина набору пластин, проводяться розрахунки і за графіками вибираються найкращі економічні показники. При обмеженні поперечного перерізу коефіцієнти m і ε зв'язані між собою деяким співвідношенням, а коефіцієнтом n необхідно варіювати. У нашому методі при заданих розмірах пластин магнітопроводу запропоновані формули для перерахування коефіцієнтів m і n . При обмеженні поперечного перерізу коефіцієнти m і n зв'язані між собою і перераховуються за певними формулами, а коефіцієнт ε вибирається за графіками в залежності від параметра мінімізації. Як показали дослідження, це дозволяє знизити похибку розрахунків з 5 % по [5] до 0,1 %, що є безсумнівною перевагою (див. табл. 1).

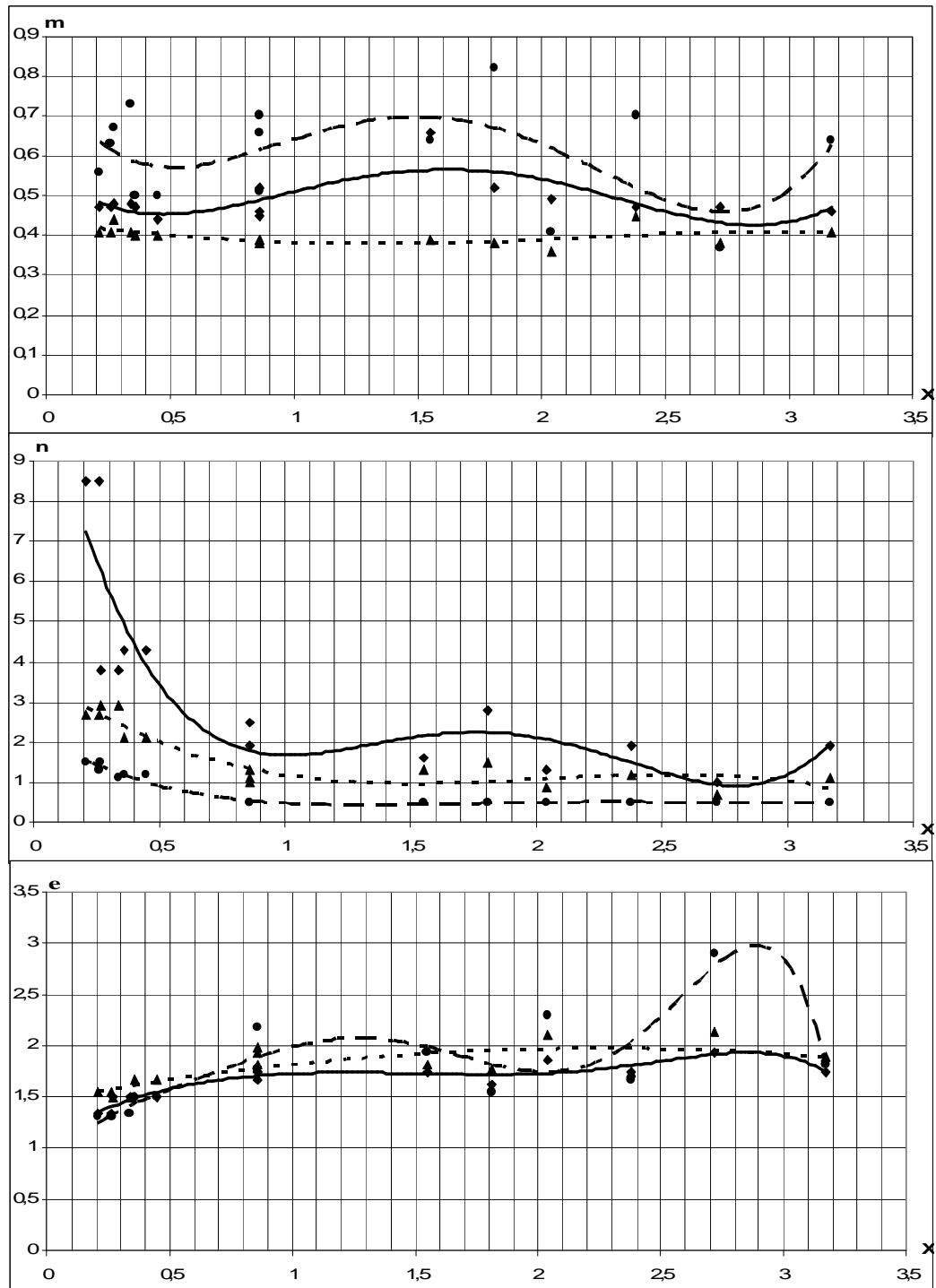


Рис.4. Залежність безрозмірних коефіцієнтів m , n і e від параметра мінімізації X для різних систем магістральних кабелів

Дійсні значення:

●●●

▲▲▲

◆◆◆

- серія з двома коутками -
- серія з одного коутка -
- фронтова -

Апроксимуючі криві:

- - - - -

—————

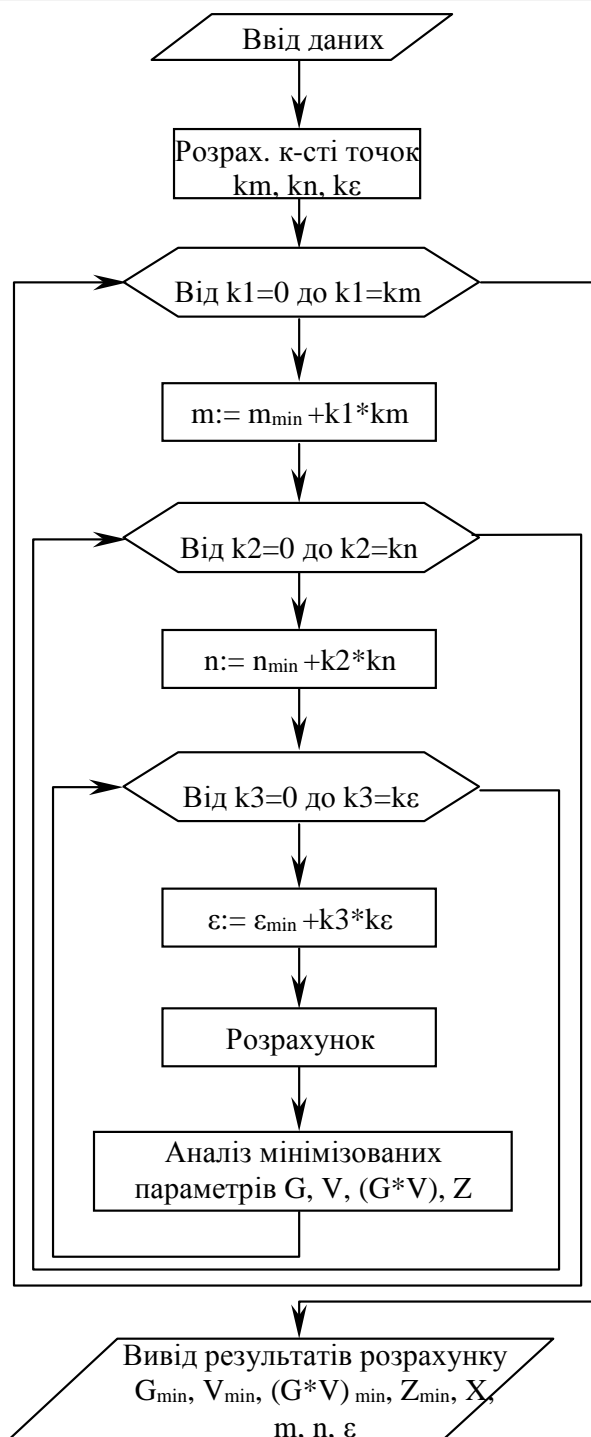


Рис. 5. Блок-схема визначення оптимальних значень безрозмірних коефіцієнтів m , n і ε

"СВІТЛОТЕХНІКА Й ЕЛЕКТРОТЕХНІКА: ІСТОРІЯ, ПРОБЛЕМИ Й ПЕРСПЕКТИВИ"

Висновки. Використання запропонованого нами методу конструктивного розрахунку оптимальних БД, а також методик розрахунку при заданих розмірах пластин магнітопроводу та при наявності обмеження поперечного перерізу дозволяє зменшити час і збільшити точність розрахунку більше ніж в два рази. Це сприяє скороченню процесу впровадження у виробництво сконструйованих ПРА за рахунок скорочення термінів випробувань, підвищує конкурентну здатність вітчизняних виробів на ринку.

Таблиця 2

Аналіз відносної похибки при розрахунку оптимального БД
для РЛ типу ДнаГ – 400

Показник мінімізації	Параметр мінімізації X	m	n	ε	Знач. показн. мінімізації	Відносна похибка, %
Броньова магнітна система						
Дійсні значення						
V, см ³	1,96	0,55	4,0	1,5	569,666	
G _{др} , кг	1,69	0,6	1,8	1,82	3,5142	
(G _{др} ·V), кг·см ³	0,86	0,6	1,7	1,7	2029,712	
Z _б , грн	0,22	0,47	6,1	1,42	22,8069	
Z _с , грн	0,28	0,47	6,1	1,42	25,4292	
За кривими згідно [3]						
V, см ³	1,96	0,375	0,884	2,162	676,412	18,73
G _{др} , кг	1,69	0,378	0,953	2,065	3,6780	4,66
(G _{др} ·V), кг·см ³	0,86	0,396	1,581	1,760	2389,174	17,71
Z _б , грн	0,22	0,475	5,106	1,312	25,3405	11,11
Z _с , грн	0,28	0,464	4,408	1,340	27,8412	9,48
За розрахованими кривими						
V, см ³	1,96	0,53	1,91	1,72	579,453	1,72
G _{др} , кг	1,69	0,569	1,91	1,71	3,5736	1,69
(G _{др} ·V), кг·см ³	0,86	0,496	2,16	1,71	2141,684	5,52
Z _б , грн	0,22	0,497	7,61	1,375	23,4187	2,68
Z _с , грн	0,28	0,469	6,0	1,42	27,6541	8,75
Стержнева магнітна система з двома котушками						
Дійсні значення						
V, см ³	1,96	0,68	0,5	1,62	722,815	
G _{др} , кг	1,69	0,56	0,5	2,02	4,2601	
(G _{др} ·V), кг·см ³	0,86	0,73	0,5	1,74	3101,660	
Z _б , грн	0,22	0,56	4,9	1,34	32,4690	
Z _с , грн	0,28	0,43	4,5	1,3	36,9306	
За кривими згідно [3]						
V, см ³	1,96	0,4	0,392	2,599	835,252	15,55
G _{др} , кг	1,69	0,4	0,427	2,492	4,6444	9,02

II міжнародна науково-технічна конференція

$(G_{др} \cdot V),$ кг·см ³	0,86	0,408	0,77	2,073	3599,596	16,05
Z _б , грн	0,22	0,459	2,765	1,435	37,9081	16,75
Z _с , грн	0,28	0,445	2,316	1,519	43,0376	16,54
За розрахованими кривими						
V, см ³	1,96	0,639	0,5	1,755	727,739	0,68
G _{др} , кг	1,69	0,689	0,467	1,902	4,3262	1,55
$(G_{др} \cdot V),$ кг·см ³	0,86	0,613	0,545	1,891	3306,847	6,61
Z _б , грн	0,22	0,630	1,52	1,3	34,6231	6,63
Z _с , грн	0,28	0,605	1,36	1,35	39,8711	7,96
Стержнева магнітна система з одною котушкою						
Дійсні значення						
V, см ³	1,96	0,45	1,3	1,78	653,022	
G _{др} , кг	1,69	0,44	0,9	2,06	3,9818	
$(G_{др} \cdot V),$ кг·см ³	0,86	0,45	1,3	1,78	2608,692	
Z _б , грн	0,22	0,44	2,4	1,58	33,4116	
Z _с , грн	0,28	0,42	2,0	1,66	36,2590	
За кривими згідно [3]						
V, см ³	1,96	0,294	0,629	2,481	752,317	15,2
G _{др} , кг	1,69	0,302	0,745	2,344	4,2490	6,71
$(G_{др} \cdot V),$ кг·см ³	0,86	0,331	1,176	1,977	2884,506	10,57
Z _б , грн	0,22	0,394	3,155	1,523	33,7165	0,91
Z _с , грн	0,28	0,380	2,737	1,579	36,6685	1,13
За розрахованими кривими						
V, см ³	1,96	0,388	1,066	1,969	689,857	5,64
G _{др} , кг	1,69	0,382	0,992	1,945	4,0841	2,57
$(G_{др} \cdot V),$ кг·см ³	0,86	0,39	1,35	1,77	2639,450	1,17
Z _б , грн	0,22	0,42	2,85	1,55	33,5398	0,38
Z _с , грн	0,28	0,41	2,60	1,6	36,5250	0,73

Перспективою подальших досліджень є модифікація цього методу розрахунку для баластних дроселів, магнітопрвід яких виготовляється не з електротехнічних сталей, а з преспорошків, „металевого скла”, пермалоїв та феритів різних марок, коли виникає потреба оптимізувати не тільки параметри, але і форму магнітопроводу для частот, які перевищують промислову, зокрема для електронних ПРА.

In given article settlement formulas and the characteristics, connected with a heat-conducting path, for calculation of constructive and economic parameters of ballast throttles are offered. Also new dependences of dimensionless factors m , n and ϵ from parameter of minimization X for calculation of optimum throttles are resulted, the design procedure of ballast throttles is considered at presence of restrictions of cross section and at presence of the set sizes of plates magnetic wire.

Література

1. Закон України про енергозбереження. Енергозбереження: законодавство та норми. Збірник №1. – Николаев : ЮИКК, 1998. – С. 9–14.
2. ГОСТ Р МЭК 920 – 97. Аппараты пускорегулирующие для трубчатых люминесцентных ламп. Общие требования и требования безопасности. – М.: Госстандарт России, 1997. – 50 с.
3. ГОСТ Р МЭК 921 – 97. Аппараты пускорегулирующие для трубчатых люминесцентных ламп. Требования к рабочим характеристикам. – М.: Госстандарт России, 1997. – 30 с.
4. Бамдас А. М., Савиновский Ю. А. Дроссели переменного тока радиоэлектронной аппаратуры (катушки со сталью). – М.: Советское радио, 1969. – 248 с.
5. 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.
6. Тарасенко М. Г., Кудряшова А. В. Математичне моделювання основних кривих намагнічування електротехнічних сталей. //Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2000. – Том 5, №1. – С. 113–121.