

УДК 621.3.032.4

М.Тарасенко, канд. техн. наук; Є.Шиманський; А.Кудряшова

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ІНЖЕНЕРНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ДРОСЕЛІВ ЗРАЗКОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ДЛЯ РОЗРЯДНИХ ЛАМП

В даній статті розглядається інженерний метод розрахунку конструктивних та електричних параметрів дроселів зразкових вимірювальних (ДЗВ), а також наведені рекомендації щодо вибору конструкції, основних електромагнітних характеристик і методика настроювання дроселя.

Умовні позначення

- U_f – значення напруги настроювання при фактичній частоті, В;
- $U_{fном}$ – значення напруги настроювання при номінальній частоті, В;
- U_n – напруга настроювання ДЗВ, В;
- $U_{др}$ – робоча напруга на ДЗВ, В;

f	– фактичне значення частоти, Гц;
$f_{ном}$	– номінальне значення частоти, Гц;
Z	– повний опір ДЗВ, Ом;
$\cos\varphi$	– коефіцієнт потужності;
$R_{пит}$	– середній питомий опір 1 м проводу, Ом/м;
$R_{обм}$	– активний опір обмотки ДЗВ, Ом;
R_1	– опір додаткового резистора R1, Ом;
R_2	– опір додаткового резистора R2, Ом;
$P_{обм,р}$	– втрати потужності в основних обмотках ДЗВ, Вт;
$P_{обм}$	– втрати потужності в обмотці після настроювання ДЗВ при під'єднаному резисторі R1, Вт;
$P_{ст,р}$	– втрати потужності в сталі магнітопровода ДЗВ, Вт;
$P_{ст}$	– втрати потужності в сталі магнітопровода після настроювання ДЗВ при під'єднаному резисторі R2, Вт;
$P_{ДЗВ,р}$	– втрати потужності в ДЗВ, виміряні за допомогою малокосинусного ватметра, Вт;
$P_{ДЗВ}$	– втрати потужності в ДЗВ при ввімкнених резисторах R1 і R2, Вт;
$PR1$	– потужність, яка розсіюється на опорі R1, Вт;
$PR2$	– потужність, яка розсіюється на опорі R2, Вт;
I	– номінальний струм ДЗВ, А;
I'	– струм через ДЗВ при ввімкнених резисторах R1 і R2, А;
$\rho_{1,0/50}$	– питомі втрати в сталі, Вт/кг;
B_m	– робоча індукція в осерді магнітопровода ДЗВ, Тл;
k_n	– коефіцієнт погіршення магнітних властивостей (втрат) сталі при виготовленні (розкрій, штампування, навивання, складання) магнітопровода;
k_{y1}	– коефіцієнт укладки проводу в осьовому напрямку;
k_{y2}	– коефіцієнт, який враховує випучування при укладці проводу в радіальному напрямку;
$k_{ст}$	– коефіцієнт заповнення сталлю магнітопровода ДЗВ;
a	– ширина осердя магнітопровода, мм;
b	– ширина стрічки (або товщина набору пластин) магнітопровода, мм;
c	– ширина вікна магнітопровода, мм;
C	– ширина магнітопровода, мм;
h	– висота вікна магнітопровода, мм;
H	– висота магнітопровода, мм;
$G_{ст}$	– маса магнітопровода, кг;
$S_{ст}$	– площа поперечного перерізу осердя магнітопровода, см ² ;
W	– кількість витків основних обмоток, шт;
W_0	– кількість витків однієї основної обмотки, шт;
$W_{1\delta}, W_{2\delta}, W_{3\delta}, W_{4\delta}$	– кількість витків додаткових обмоток, шт;
j	– густина струму в обмотках ДЗВ, А/мм ² ;
d	– діаметр проводу без ізоляції, мм;
$d_{із}$	– діаметр проводу з врахуванням товщини ізоляції, мм;
A_k, B_k, C_k, D_k, E_k	– геометричні розміри каркаса під обмотку, мм;
$h_{нам}$	– висота намотки котушки, мм;
W_p	– кількість витків в одному ряді намотки, шт;
N_p	– кількість рядів намотки, шт;
L_{w0}	– середня довжина витка основної обмотки, м;
L_{np}	– довжина проводу основної обмотки, м.

Постановка проблеми. Сьогодні не лише в нашій країні, але й у світі взагалі набуло актуальності питання економії енергетичних ресурсів, у тому числі і електроенергії, про що свідчить Закон України про енергозбереження [1]. Тому останнім часом різко зріс попит на енергоекономічні споживачі, зокрема освітлювальні установки на основі високоефективних розрядних джерел світла. Такими джерелами світла є розрядні лампи низького та високого тиску.

Для стабільної роботи розрядних ламп застосовують пускорегулюючі апарати, електричні параметри яких визначаються за допомогою дроселів зразкових вимірювальних (ДЗВ). ДЗВ є високостабільними індуктивними баластами з лінійними вольт-амперними характеристиками в усьому діапазоні можливих робочих і пускових струмів ламп із строго регламентованими значеннями повного опору, коефіцієнта потужності і відношенням втрат потужності в матеріалі обмотки до втрат в сталі магнітопровода [2]. Для того, щоб виготовити ДЗВ з такими характеристиками,

необхідно правильно спроектувати і розрахувати його конструктивні та електричні параметри.

Аналіз останніх досліджень та публікацій виявив, що ні в періодичних, ні в основних виданнях [3, 4, 5] питання розрахунку ДЗВ не висвітлено і дослідження в даному напрямку не проводяться.

Враховуючи це, *метою даної статті є* розробка інженерного методу розрахунку конструктивних та електричних параметрів ДЗВ, а також рекомендацій щодо вибору конструкції, основних електромагнітних характеристик і методики настроювання дроселя.

Параметри ДЗВ вказуються в стандартах або технічних умовах на конкретні типи джерел світла.

До електричних параметрів ДЗВ ставляться дуже високі вимоги. Так, його конструкція повинна бути такою, щоб повний опір не відрізнявся від нормованої величини більше ніж на $\pm 0,5\%$ при номінальному значенні струму і не більше ніж на $\pm 3,0\%$ для люмінесцентних ламп, або на $\pm 4,0\%$ для розрядних ламп інших типів при струмі, що знаходиться в межах від 50% до 115% номінального значення.

Коефіцієнт потужності ДЗВ, що нормується при його номінальному струмі, не повинен відрізнятися від номінального значення більше ніж на $\pm 0,005$ для ДЗВ з номінальною величиною коефіцієнта потужності не меншою $0,075$ і на $\pm 0,002$ для ДЗВ з номінальною величиною коефіцієнта потужності меншою $0,075$.

ДЗВ повинен бути надійно захищеним від впливу зовнішніх магнітних шунтів таким чином, щоб при наближенні пластини із м'якої сталі товщиною $12,5$ мм на відстань 25 мм від будь-якої поверхні ДЗВ, його струм змінювався не більше ніж на $\pm 0,2\%$. Перегрівання обмотки ДЗВ, виміряне при номінальному струмі і номінальній частоті, не повинно перевищувати $25\text{ }^\circ\text{C}$.

Для проведення розрахунку, виготовлення і настроювання ДЗВ слід дотримуватися наступних рекомендацій:

1. Для виготовлення магнітопроводу ДЗВ (витого або штампованого) слід застосовувати стержневу магнітну систему з двома котушками, в якій повітряні зазори розміщені в середині котушок. В такій магнітній системі потоки розсіювання, що утворюються в районі повітряних зазорів, повністю екрануються обмотками котушок і ДЗВ надійно захищається від впливу зовнішніх магнітних шунтів.
2. Магнітна індукція ДЗВ не повинна перевищувати значення $(0,7...0,9)$ Тл, що дозволяє забезпечити стабільність величини повного опору в межах від 50% до 115% номінального струму.
3. Густина струму в проводах обмоток ДЗВ не повинна перевищувати 2 А/мм^2 , що сприяє зниженню втрат потужності і перегрівання обмоток, а також стабілізує значення повного опору і коефіцієнта потужності.
4. Передбачити в котушках достатню кількість додаткових обмоток з числом витків: $0,06; 0,04; 0,02; 0,01$ від числа витків основних обмоток за допомогою яких, при їх узгодженому або зустрічному ввімкненні з основними обмотками, можна було б досягнути значення повного опору і струму із заданим допуском для даного типу ДЗВ.
5. Подальший електромагнітний розрахунок ДЗВ проводиться за методикою розрахунків звичайних дроселів.
6. При виконанні настроювання ДЗВ, якщо значення частоти відрізняється від номінального (а це буває майже постійно в наших електромережах в осінньо-зимовий період), то значення напруги настроювання визначається за формулою:

$$U_f = U_{f_{ном}} \cdot \frac{f}{f_{ном}}. \quad (1)$$

Значення повного опору, коефіцієнта потужності і відношення втрат потужності в обмотці до втрат потужності в сталі визначають за схемою рис. 1.

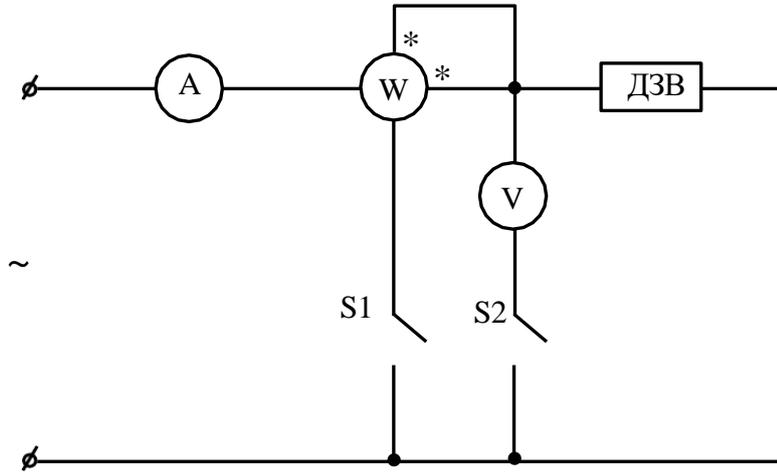


Рис. 1. Електрична схема вимірювання параметрів ДЗВ

Відношення втрат потужності в обмотці до втрат потужності в сталі обчислюють за формулою:

$$\frac{P_{обм.р}}{P_{ст.р}} = \frac{I^2 R_{обм}}{P_{ДЗВ.р} - I^2 R_{обм}} \quad (2)$$

Досвід показав, що не можливо одразу розрахувати і виготовити ДЗВ, який би відповідав всім вимогам існуючих нормативно-технічних документів (НТД). Тому для доведення коефіцієнта потужності і відношення втрат в обмотці до втрат в сталі ДЗВ до заданих значень допускається, при потребі, ввімкнення додаткових резисторів послідовно і паралельно ДЗВ у відповідності зі схемою рис. 2.

При вимірюванні повного опору і коефіцієнта потужності ДЗВ потрібно зробити поправки, які враховують власне споживання струму у вимірювальних колах, які ввімкнені паралельно ДЗВ в момент вимірювання. Допускається при вимірюванні повного опору ДЗВ не вводити цю поправку в тому випадку, коли струм у вимірювальних колах, які ввімкнені паралельно ДЗВ в момент вимірювань, не перевищує 3 % від номінального струму ДЗВ.

Перегрівання обмотки ДЗВ визначають методом зміни опору в процесі нагрівання. Клас точності вольтметра і амперметра повинен бути не нижчим 0,2, а ватметра – не нижчим 0,5. Номінальний коефіцієнт активної потужності ватметра повинен бути рівним 0,1. Прилади, що використовуються у вимірювальній схемі, повинні відповідати вимогам ГОСТ 22261–81.

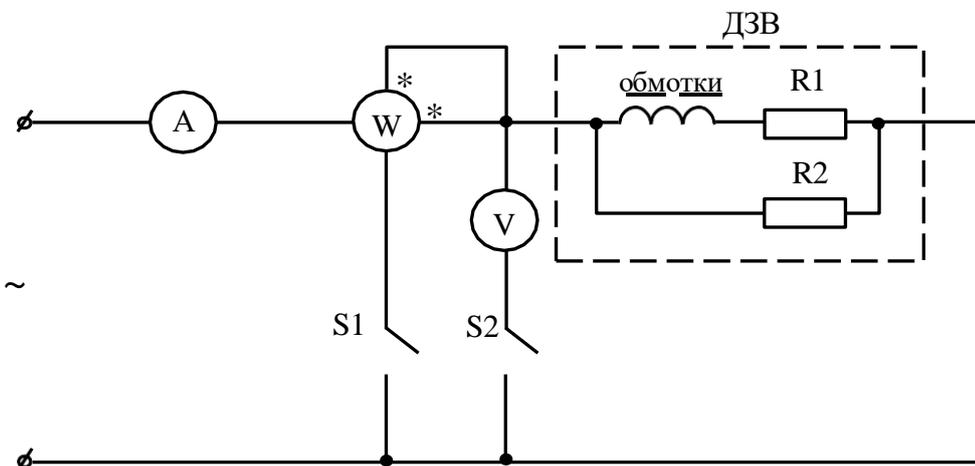


Рис. 2. Електрична схема проведення настройки ДЗВ

ПРИКЛАД. Розрахувати дросель зразковий вимірювальний потужністю 40 Вт на напругу мережі живлення 220 В з наступними параметрами (наводяться в державних стандартах на лампи):

1. Номінальне значення повного опору	390 Ом
2. Номінальний робочий струм	0,43 А
3. Коефіцієнт потужності	0,1

1. Визначаємо межі допустимого відхилення повного опору. У відповідності з вимогами [2] повний опір не повинен відрізнятись від номінального значення більше як на $\pm 0,5\%$.

$$\begin{aligned} Z_{min} &= (1 - 0,005) \cdot Z_{nom} = (1 - 0,005) \cdot 390 = 388,05 \text{ Ом} \\ Z_{max} &= (1 + 0,005) \cdot Z_{nom} = (1 + 0,005) \cdot 390 = 391,95 \text{ Ом} \end{aligned} \quad (3)$$

2. Межі допустимого відхилення коефіцієнта потужності. У відповідності до вимог [2] розкид не повинен перевищувати величини $\pm 0,005$.

$$\begin{aligned} \cos\varphi_{min} &= \cos\varphi_{nom} - 0,005 = 0,1 - 0,005 = 0,095 \\ \cos\varphi_{max} &= \cos\varphi_{nom} + 0,005 = 0,1 + 0,005 = 0,105 \end{aligned} \quad (4)$$

3. На основі допустимих відхилень повного опору і коефіцієнта потужності вираховуємо допустиме сумарне відхилення втрат потужності в дроселі:

$$\begin{aligned} P_{ДЗВ.min} &= I^2 \cdot Z_{min} \cdot \cos\varphi_{min} = 0,43^2 \cdot 388,05 \cdot 0,095 = 6,82 \text{ Вт} \\ P_{ДЗВ.nom} &= I^2 \cdot Z_{nom} \cdot \cos\varphi_{nom} = 0,43^2 \cdot 390 \cdot 0,1 = 7,21 \text{ Вт} \\ P_{ДЗВ.max} &= I^2 \cdot Z_{max} \cdot \cos\varphi_{max} = 0,43^2 \cdot 391,95 \cdot 0,105 = 7,61 \text{ Вт} \end{aligned} \quad (5)$$

4. Визначаємо розподіл втрат потужності в обмотці і сталі дроселя при співвідношенні $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 1,5 \dots 2,5$.

4.1. При співвідношенні $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 1,5$ ($P_{обм} = 0,6 \cdot P_{ДЗВ}$; $P_{ст} = 0,4 \cdot P_{ДЗВ}$)

$$\begin{aligned} P_{обм.min} &= 0,6 \cdot P_{ДЗВ.min} = 0,6 \cdot 6,82 = 4,09 \text{ Вт}; \\ P_{ст.min} &= 0,4 \cdot P_{ДЗВ.min} = 0,4 \cdot 6,82 = 2,73 \text{ Вт}; \\ P_{обм.nom} &= 0,6 \cdot P_{ДЗВ.nom} = 0,6 \cdot 7,21 = 4,33 \text{ Вт}; \\ P_{ст.nom} &= 0,4 \cdot P_{ДЗВ.nom} = 0,4 \cdot 7,21 = 2,88 \text{ Вт}; \\ P_{обм.max} &= 0,6 \cdot P_{ДЗВ.max} = 0,6 \cdot 7,61 = 4,57 \text{ Вт}; \\ P_{ст.max} &= 0,4 \cdot P_{ДЗВ.max} = 0,4 \cdot 7,61 = 3,04 \text{ Вт}. \end{aligned} \quad (6)$$

Межа зміни втрат потужності в обмотці і сталі при $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 1,5$ складе:

$$\begin{aligned} P_{обм} &= (4,09 \dots 4,57) \text{ Вт}; \\ P_{ст} &= (2,73 \dots 3,04) \text{ Вт}. \end{aligned}$$

4.2. При співвідношенні $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 2,0$ ($P_{обм} = 0,667 \cdot P_{ДЗВ}$; $P_{ст} = 0,333 \cdot P_{ДЗВ}$)

$$\begin{aligned}
 P_{обм.min} &= 0,667 \cdot P_{ДЗВ.min} = 0,667 \cdot 6,82 = 4,55 \text{ Вт}; \\
 P_{ст.min} &= 0,333 \cdot P_{ДЗВ.min} = 0,333 \cdot 6,82 = 2,27 \text{ Вт}; \\
 P_{обм.ном} &= 0,667 \cdot P_{ДЗВ.ном} = 0,667 \cdot 7,21 = 4,81 \text{ Вт}; \\
 P_{ст.ном} &= 0,333 \cdot P_{ДЗВ.ном} = 0,333 \cdot 7,21 = 2,40 \text{ Вт}; \\
 P_{обм.max} &= 0,667 \cdot P_{ДЗВ.max} = 0,667 \cdot 7,61 = 5,07 \text{ Вт}; \\
 P_{ст.max} &= 0,333 \cdot P_{ДЗВ.max} = 0,333 \cdot 7,61 = 2,54 \text{ Вт}.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Межа зміни втрат потужності в обмотці і сталі при $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 2,0$ складе:

$$\begin{aligned}
 P_{обм} &= (4,55 \dots 5,07) \text{ Вт}; \\
 P_{ст} &= (2,27 \dots 2,54) \text{ Вт}.
 \end{aligned}$$

4.3. При співвідношенні $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 2,5$ ($P_{обм} = 0,714 \cdot P_{ДЗВ}$; $P_{ст} = 0,286 \cdot P_{ДЗВ}$)

$$\begin{aligned}
 P_{обм.min} &= 0,714 \cdot P_{ДЗВ.min} = 0,714 \cdot 6,82 = 4,87 \text{ Вт}; \\
 P_{ст.min} &= 0,286 \cdot P_{ДЗВ.min} = 0,286 \cdot 6,82 = 1,95 \text{ Вт}; \\
 P_{обм.ном} &= 0,714 \cdot P_{ДЗВ.ном} = 0,714 \cdot 7,21 = 5,15 \text{ Вт}; \\
 P_{ст.ном} &= 0,286 \cdot P_{ДЗВ.ном} = 0,286 \cdot 7,21 = 2,06 \text{ Вт}; \\
 P_{обм.max} &= 0,714 \cdot P_{ДЗВ.max} = 0,714 \cdot 7,61 = 5,44 \text{ Вт}; \\
 P_{ст.max} &= 0,286 \cdot P_{ДЗВ.max} = 0,286 \cdot 7,61 = 2,18 \text{ Вт}.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Межа зміни втрат потужності в обмотці і сталі при $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 2,5$ складе:

$$\begin{aligned}
 P_{обм} &= (4,87 \dots 5,44) \text{ Вт}; \\
 P_{ст} &= (1,95 \dots 2,18) \text{ Вт}.
 \end{aligned}$$

4.4. На основі розрахованих допустимих втрат потужності в обмотці і сталі при співвідношеннях $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 1,5$; $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 2,0$ і $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 2,5$ визначаємо діапазон

зміни втрат $P_{обм}$ і $P_{ст}$ при $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 1,5 \dots 2,5$

$$\begin{aligned}
 P_{обм} &= (4,09 \dots 5,44) \text{ Вт}; \\
 P_{ст} &= (1,95 \dots 3,04) \text{ Вт}.
 \end{aligned}$$

Для здійснення правильного проектування, виготовлення і настроювання параметрів ДЗВ розрахунок необхідно проводити таким чином, щоб втрати потужності в обмотці і сталі були, по можливості, меншими від нижніх значень і складали : $P_{обм} \leq 4,09 \text{ Вт}$ і $P_{ст} \leq 1,95 \text{ Вт}$.

У цьому випадку для доведення коефіцієнта потужності і співвідношення втрат в ДЗВ до нормованих значень допускається при потребі ввімкнення додаткових резисторів послідовно і паралельно до обмотки у відповідності зі схемою рис.2. При цьому потужність, яка розсіюється в послідовно ввімкненому резисторі R1, зараховують до втрат потужності обмотки, а потужність, яка розсіюється в паралельно ввімкненому резисторі R2, зараховують до втрат потужності в сталі. У високоомному

проводі резистора R1 густина струму повинна бути не вищою від густини струму в проводах обмоток.

При підключенні до схеми ДЗВ додаткових резисторів R1 і R2 співвідношення втрат потужності в обмотці ($P_{обм}$) до втрат потужності в сталі ($P_{ст}$) обчислюють за формулою:

$$\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = \frac{I'^2 \cdot (R_{обм} + R_1)}{P_{ДЗВ} - I'^2 \cdot (R_{обм} + R_1)}, \quad (9)$$

де

$$P_{ст} = P_{ст.р} + \frac{U_n^2}{R}, \quad (10)$$

$$U_n = U_f. \quad (11)$$

З табл. 1 вибираємо розміри стержньового витого (штампованого) магнітопровода (див. рис. 3), виконаного з електротехнічної холоднокатаної анізотропної листової сталі марки 3413 товщиною 0,35 мм, для якого:

$a=24,6$ мм; $b=40$ мм; $c=20,1$ мм; $C=71,3$ мм; $h=48$ мм; $H=100$ мм; $G_{ст}=1,57$ кг; $S_{ст}=9,84$ см².

Таблиця 1
Геометричні розміри витих магнітопроводів виробництва ВАТ „Ватра”

№ п/п	Розміри, мм						Довідкові величини	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>C</i>	<i>h</i>	<i>H</i>	<i>G_{ст}</i> , кг	<i>S_{ст}</i> , см ²
1.	20±0,4	32+1,0	19	62	47±1,4	90	0,92	6,4
2.	24,6±0,4	40+1,0	20,1	71,3	48±1,4	100	1,57	9,84
3.	27,1±0,8	52+0,8	22	78	50+1,5	107	2,32	14,19
4.	32,2±0,8	52+0,8	26	92	80+1,5	148	3,57	16,74
5.	26,3±0,8	66+0,74	37	91,5	80+1,5	137	3,93	17,36
6.	40±0,5	66±1,2	44	126	80+1,5	170	7,4	26,4
7.	45±0,5	66±1,2	59	151	100+1,5	200	10,2	29,7
8.	50±0,3	66±1,2	62	164	120	230	12,5	33,0

5. Визначаємо число витків обмоток, задаючись величиною робочої індукції дроселя $B_m = 0,9$ Тл.

$$W = \frac{U_n \cdot 10^4}{4 \cdot k_f \cdot f \cdot a \cdot b \cdot k_{ст} \cdot B_m} = \frac{167,7 \cdot 10^4}{4 \cdot 1,11 \cdot 50 \cdot 2,46 \cdot 4,0 \cdot 0,92 \cdot 0,9} = 928 \text{ витків}, \quad (12)$$

де $k_{ст}$ вибирається з [6].

Число витків основної обмотки котушки при застосуванні стержневої магнітної системи з двома котушками

$$W_0 = \frac{W}{2} = \frac{928}{2} = 464 \text{ витка}. \quad (13)$$

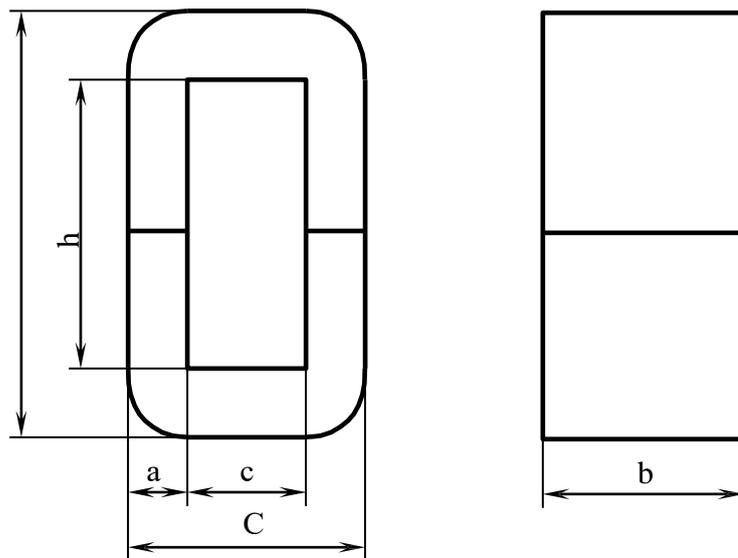


Рис. 3. Зовнішній вигляд витих магнітопроводів виробництва ВАТ „Ватра”

6. Для здійснення точного настроювання дроселя за вольт-амперною характеристикою необхідно передбачити чотири додаткових обмотки на кожній основній котушці з числом витків:

$$\begin{aligned}
 W_{1\partial} &= 0,06 \cdot W_0 = 0,06 \cdot 464 = 28 \quad \text{витків} \\
 W_{2\partial} &= 0,04 \cdot W_0 = 0,04 \cdot 464 = 19 \quad \text{витків} \\
 W_{3\partial} &= 0,02 \cdot W_0 = 0,02 \cdot 464 = 9 \quad \text{витків} \\
 W_{4\partial} &= 0,01 \cdot W_0 = 0,01 \cdot 464 = 5 \quad \text{витків}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Для зручності настроювання ДЗВ кінці основних і додаткових обмоток виводяться на плату розпайки з окремими виводами обмоток, як основних так і додаткових, які за допомогою провідних перемичок можна під'єднувати в електричну схему дроселя. При кінцевому настроюванні ДЗВ виводи основних і додаткових обмоток можна включати узгоджено або зустрічно для досягнення величини повного опору в межах допустимих значень.

7. Виходячи з допустимої густини струму в обмотці дроселя величиною 2 А/мм^2 вибираємо мідний обмотковий провід діаметром $0,56 \text{ мм}$ з існуючого сортаменту [7], при цьому реальна густина струму буде складати

$$j = \frac{4 \cdot I}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,43}{3,14 \cdot 0,56^2} = 1,75 \quad \text{А/мм}^2.
 \tag{15}$$

Для виготовлення обмотки з температурним маркуванням $t_w = 120^\circ\text{C}$ потрібно застосувати емальпровід з температурним індексом не нижче 155°C . Максимальний діаметр такого проводу з урахуванням товщини ізоляції складе $d_{із} = 0,63 \text{ мм}$.

8. Каркас котушки (див. рис. 4) повинен бути виготовлений литим із поліаміду типу ПД66–КС або із склотекстоліту типу СТЕФ за ГОСТ 12652 чи іншого аналогічного матеріалу товщиною не менше $2,0 \text{ мм}$, який забезпечує електричну міцність ізоляції ДЗВ не менше 2 кВ .
9. Розміщення обмоток в каркасі котушки. Для перевірки розміщення основної та додаткових обмоток котушки і визначення їх параметрів вибираємо за таблицею 2 каркас під розміри вибраного магнітопровода, для якого:

$$A_k = 68 \text{ мм}, B_k = 46 \text{ мм}, C_k = 44,5 \text{ мм}, D_k = 30 \text{ мм}, E_k = 46,5 \text{ мм}, h_{\text{нам.макс}} = (E_k - D_k) / 2 = 8,25 \text{ мм}.$$

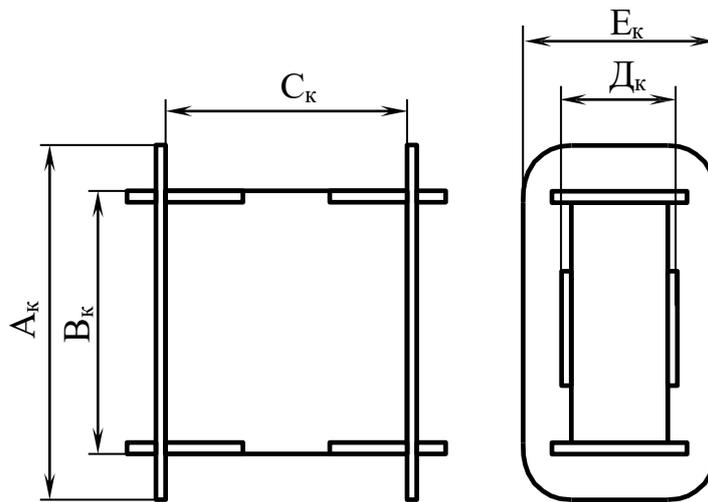


Рис. 4. Зовнішній вигляд каркасів під обмотки

9.1. Число витків в одному ряді намотки:

$$W_p = \frac{C_k}{d_{iz} \cdot k_{y1}} = \frac{44,5}{0,63 \cdot 1,045} = 67 \text{ витків}, \quad (16)$$

де k_{y1} вибирається в залежності від діаметра проводу [4].

Таблиця 2

Геометричні розміри каркасів під обмотки

№ п/п	Розміри, мм					
	A _к	B _к	C _к	D _к	E _к	(E _к -D _к)/2
1.	53	36	42	24	37	6,5
2.	68	46	44,5	30	46,5	8,25
3.	79	56	44,5	33	51	9,0
4.	80	59	75	38	57	9,5
5.	109	72	75	32	64	16,0
6.	116	73	74	48	84	18,0
7.	126	72	94	53	100	23,5
8.	152	72	117	57,5	112	27

9.2. Число рядів намотки однієї котушки:

$$N_p = \frac{W_o + W_{1\partial} + W_{2\partial} + W_{3\partial} + W_{4\partial}}{W_p} = \frac{464 + 28 + 19 + 9 + 5}{68} = 8 \text{ рядів}. \quad (17)$$

9.3. Висота намотки котушки:

$$h_{нам} = d_{из} \cdot N_p \cdot k_{y2} = 0,63 \cdot 8 \cdot 1,07 = 5,39 \text{ мм}, \quad (18)$$

де k_{y2} вибирається в залежності від діаметра проводу і конструкції каркаса [4].

Висота намотки не перевищує максимальної висоти каркасу під намотку $h_{нам.маx}$ (див. рис. 4):

10. Середня довжина витка основної обмотки:

$$L_{w0} = 2 \cdot \left(\frac{B_k + D_k}{2} + \frac{\pi \cdot h_{нам}}{2} \right) \cdot 10^{-3} = 2 \cdot \left(\frac{46 + 30}{2} + \frac{\pi \cdot 5,39}{2} \right) \cdot 10^{-3} = 0,169 \text{ м}. \quad (19)$$

11. Довжина проводу основної обмотки котушки:

$$L_{np} = L_{w0} \cdot W_0 = 0,169 \cdot 464 = 78,4 \text{ м.} \quad (20)$$

12. Середній питомий опір 1 м проводу діаметром 0,56 мм за ОСТ 16.505.001–80:

$$R_{num} = 0,0694 \text{ Ом/м.}$$

13. Опір основних обмоток дроселя:

$$R_{обм} = 2 \cdot L_{np} \cdot R_{num} = 2 \cdot 78,4 \cdot 0,0694 = 10,88 \text{ Ом.} \quad (21)$$

14. Розрахункові втрати потужності в основних обмотках дроселя:

$$P_{обм.р} = I^2 \cdot R_{обм} = 0,43^2 \cdot 10,88 = 2,012 \text{ Вт.} \quad (22)$$

Розрахункові втрати потужності в основних обмотках дроселя не перевищують допустимих втрат, виходячи із величини коефіцієнта потужності і співвідношення розподілу втрат в обмотці і магнітопроводі $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 1,5...2,5$.

15. Доведення втрат обмотки до заданої величини можна здійснити за допомогою спеціального резистора R1 (рис.2), який виготовляється з обмоткового проводу високого опору (манганіновий або константовий) за ГОСТ 6225–75. При цьому переріз проводу повинен бути не меншим від перерізу обмоткового проводу. Доцільно такий орієнтовний розрахунок проводити при номінальному значенні коефіцієнта потужності і співвідношенні втрат $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 2,0$,

$$P_{обм} = (4,55...5,07) \text{ Вт.}$$

Для розрахунку опору резистора R1 вибираємо м'який манганіновий провід діаметром 0,56 мм, електричний опір 1м проводу знаходиться в межах (1,71...2,32) Ом.

16. Визначаємо величину потужності, яка повинна розсіюватися на опорі R1:

$$P_{R1} = \frac{P_{обм.min} + P_{обм.max}}{2} - P_{обм.р} = \frac{4,55 + 5,07}{2} - 2,012 = 2,8 \text{ Вт.} \quad (23)$$

17. Визначаємо величину опору резистора R1:

$$R_1 = \frac{P_{R1}}{I^2} = \frac{2,8}{0,43^2} = 15,3 \text{ Ом.} \quad (24)$$

18. Визначаємо втрати в сталі з врахуванням того, що магнітопровід виготовлений з трансформаторної сталі 3413 товщиною 0,35 мм за ГОСТ 21427.1–75:

$$P_{ст.р} = p_{1,0/50} \cdot B^2 \cdot G \cdot k = 0,6 \cdot 0,9^2 \cdot 1,57 \cdot 1,5 = 1,14 \text{ Вт,} \quad (25)$$

де $p_{1,0/50}$ визначаються з [2], а $k_n = 1,5$.

19. Орієнтовний розрахунок додаткових втрат потужності в сталі (резистор R2) проводять при номінальному значенні коефіцієнта потужності і співвідношенні втрат $\frac{P_{обм}}{P_{ст}} = 2,0$, $P_{ст} = (2,27...2,54) \text{ Вт.}$

$$P_{R2} = \frac{P_{ст.min} + P_{ст.max}}{2} - P_{ст.р} = \frac{2,27 + 2,54}{2} - 1,14 = 1,26 \text{ Вт.} \quad (26)$$

20. Опір додаткового резистора R2 визначають, виходячи з величини робочої напруги на дроселі U_{dp} (напруги настройки):

$$R_2 = \frac{U_{dp}^2}{P_{R2}} = \frac{167,7^2}{1,26} = 22320 \text{ Ом}, \quad (27)$$

$$U_{dp} = Z \cdot I. \quad (28)$$

Для полегшення підбору величини опору резистора R2 приймають до уваги величину зміни цього опору в межах зміни P_{cm} :

$$R_{2min} = \frac{U_{dp}^2}{P_{cm.max} - P_{cm.p}} = \frac{167,7^2}{2,54 - 1,14} = 20088 \text{ Ом}, \quad (29)$$

$$R_{2max} = \frac{U_{dp}^2}{P_{cm.min} - P_{cm.p}} = \frac{167,7^2}{2,27 - 1,14} = 24888 \text{ Ом}.$$

Діапазон зміни опору R2 складе (20088...24888) Ом.

21. На основі проведеного розрахунку проводять збирання і настроювання за ВАХ дроселя.
22. Проводять просочування дроселя у відповідності до вимог технологічного процесу.
23. Проводять повторне настроювання дроселя за ВАХ за допомогою додаткових обмоток, при цьому значення повного опору дроселя не повинно відрізнитись від нормованого більше ніж на $\pm 0,5\%$ при номінальному струмі і більше ніж на $\pm 3\%$ при струмі, що знаходиться в межах від 50% до 115% номінального струму.
24. Проводять вимірювання активного опору обмотки.
25. Вираховують втрати потужності і обмотці дроселя.
26. Проводять вимірювання напруги настройки при номінальному струмі.
27. Проводять вимірювання втрат потужності в дроселі.
28. Обчислюють значення коефіцієнта потужності.
29. Проводять доводку параметрів дроселя до нормованих величин в такій послідовності:
 - 29.1. Обчислюють втрати потужності в сталі.
 - 29.2. За п.20 обчислюють опір додаткового резистора R2 і під'єднують його до дроселя.
 - 29.3. За п.17 обчислюють опір додаткового резистора R1, виготовляють його і під'єднують в схему дроселя.

30. Після повного збирання проводять вимірювання, кінцеве настроювання і паспортизацію дроселя зразкового вимірювального у відповідності з вимогами [2].

Загальний вигляд розрахованого і виготовленого за даною методикою ДЗВ до люмінесцентної лампи потужністю 40 Вт на напругу мережі 220 В зображений на рис.5. Експериментальні дослідження вказаного ДЗВ в лабораторії ВАТ „Ватра” показали, що він повністю відповідає всім вимогам НТД [2, 8].

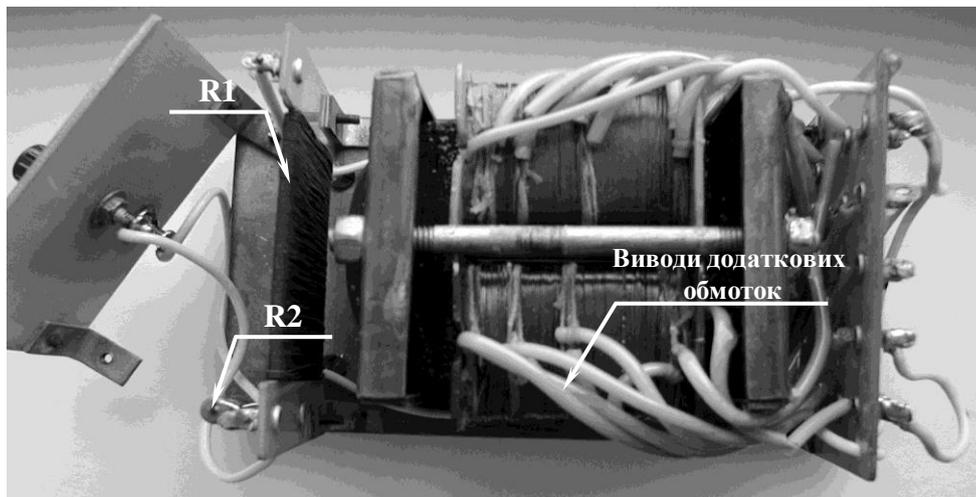


Рис. 5. Загальний вигляд ДЗВ до люмінесцентної лампи потужністю 40 Вт на напругу мережі 220 В

Висновки і перспективи подальших досліджень. Отже, розрахунок ДЗВ, запропонований в даній статті, дозволяє одержати необхідні для проектування конструктивні та електричні параметри зразкових дроселів. Апробація результатів розрахунку була проведена на ВАТ „Ватра”. Дослідження експериментальних зразків ДЗВ, виготовлених за результатами вище наведених розрахунків, показали, що їх параметри не виходять за межі, вказані в [2].

Оскільки запропонована методика розрахунку конструктивних та електричних параметрів ДЗВ дозволяє одержати результати, які відповідають вимогам НТД, вважаємо, що від подальших досліджень в даному напрямку на даному етапі мажн утриматися.

Таким чином, запропонований інженерний метод розрахунку конструктивних та електричних параметрів ДЗВ з врахуванням наведених рекомендацій щодо вибору конструкції, основних електромагнітних характеристик і методики настроювання дозволяє швидко та з необхідною точністю розрахувати і виготовити дросель зразковий вимірвальний, який відповідає всім вимогам НТД.

In the given article the engineering computational method of design and electrical parameters of throttles standard measuring is esteemed, and also the guidelines concerning selection of a design, main electromagnetic characteristics and technique of set-up of the throttle are adduced.

Література

1. Закон України про енергозбереження. Енергозбереження: законодавство та норми. Збірник №1. – Издательство „ЮИКК”, Николаев, 1998. – С. 9–14.
2. ГОСТ 16809–88. Аппараты пускорегулирующие для разрядных ламп. Общие технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1989. – 27 с.
3. Е. И. Афанасьева, В. М. Скобелев. Источники света и пускорегулирующая аппаратура.– Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.
4. И. И. Белопольский, Е. И. Каретникова, П. Г. Пикалова. Расчёт трансформаторов и дросселей малой мощности.– Москва: Энергия, 1973. – 399 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. ГОСТ 21427.0–75 – ГОСТ 21427.3–75, ГОСТ 21427.4–78. Сталь электротехническая тонколистовая. – Москва: Издательство стандартов, 1982. – 62 с.
7. ГОСТ 21428–75. Провода эмалированные, круглые, медные с температурным индексом 155 °С. Технические условия. – Москва: Издательство стандартов, 1982. – 48 с.
8. ГОСТ 6825–74. Лампы люминесцентные ртутные низкого давления. – Москва: Издательство стандартов, 1982. – 21 с.

Одержано 26.05.2003 р.