

М.Тарасенко, канд. техн. наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ НАСТРОЮВАННЯ БАЛАСТНИХ ДРОСЕЛІВ ДЛЯ РОЗРЯДНИХ ЛАМП

Досліджено вплив різноманітних факторів на точність і повторюваність відомих та розроблених нами способів настроювання баластних дроселів. Запропоновано математичний вираз для визначення оптимальних діаметрів пластичних неферомагнітних матеріалів (міді, алюмінію) для проведення точного настроювання баластних дроселів на будь-яке наперед задане значення струму при прикладанні до його затискачів стабілізованої напруги величиною $U_{\text{БД}} = Z_{\text{ДЗВ}} \cdot I_{\text{БД,ном.}}$. Показано, що найкращим з розглянутих способів настроювання баластних дроселів є спосіб, базований на деформації немагнітного пластичного матеріалу (алюмінієвого або мідного) клином, особливо тоді, коли настроювання виконується у два етапи на двох різних позиціях.

M. Tarasenko

INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON ACCURACY OF ADJUSTMENT OF BALLAST INDUCTOR FOR DISCHARGE LAMPS

Influence of various factors on accuracy and repeatability of the ways of adjustment of ballast throttles existing and developed by us is investigated. Mathematical expression for definition of optimum diameters plastic nonferromagnetic materials (is offered to copper, aluminium) for carrying out of ultraprecise adjustment of ballast throttles $U_{\text{БД}} = Z_{\text{ДЗВ}} \cdot I_{\text{БД,ном.}}$. It is shown, that best of the considered ways of adjustment of ballast throttles is the way based on deformation of nonmagnetic plastic material (aluminium or copper) by a wedge, especially when adjustments carried out in two stages on two different positions.

Умовні позначення:

Z	– повний опір баластного дроселя з немагнітним зазором, Ом;
f	– частота напруги живлення, Гц;
$\mu_{\text{екв.}} = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r}{1 + \mu_r \cdot \Delta_{\text{нз}} / l_{\text{СТ}}}$	– еквівалентна магнітна проникність сталі магнітопроводу;
$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$	– магнітна стала, Гн/м;
μ_r	– відносна магнітна проникність сталі;
$\Delta_{\text{нз}} = (\Delta_3 + \Delta_{\text{пр}})$	– величина сумарного немагнітного зазору БД, мм;
Δ_3	– величина технологічних зазорів між окремими складовими частинами магнітопровода (від 5 до 60 мкм);
$\Delta_{\text{пр}}$	– товщина немагнітної прокладки основного немагнітного зазору в тілі магнітопровода на шляху магнітного потоку БД, мм;
W	– число витків обмотки БД;
$S_{\text{СТ}}$	– площа активного поперечного перерізу осердя магнітопровода БД, м ² ;
$l_{\text{СТ}}$	– середня довжина магнітної силової лінії магнітопровода БД, м;
$R_{\text{М}}$	– активний опір міді обмотки БД, Ом;
k	– константа, значення якої визначається експериментально як тангенс кута нахилу прямої $I_2 = f(I)$ до осі абсцис, мм/А;
$I_{\text{БД,ном.}}$	– номінальний струм ЛЛ заданої потужності, А;
$I_0, I_{\text{БД.12}}$	– струм дроселя, зумовлений першою немагнітною прокладкою та двома немагнітними прокладками в тілі магнітопровода відповідно, А;
$Z_{\text{ДЗВ}}$	– повний опір дроселя зразкового вимірювального (ДЗВ) для розрядних

$l_2, \pm \Delta l_2$	– довжина та приріст довжини другої немагнітної прокладки, яка використовується при настроюванні БД, відповідно, мм;
δ	– величини деформації мідних та алюмінієвих провідників після закінчення дії стискаючого зусилля в 50 кН, мм;
d_{np}	– діаметр (товщина) неферомагнітного пластичного матеріалу, мм;
F	– зусилля стискання пластичного неферомагнітного матеріалу, кН.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Момент виходу Директиви ЕС в 2000 р, щодо максимальної споживаної потужності комплектом люмінесцентна лампа (ЛЛ) – пускорегулювальний апарат (ПРА) [1], в Україні спочатку був сприйнятий як повна відмова від електромагнітних (ЕМ) ПРА і перехід з листопада 2005 р. виключно на електронні ПРА (ЕПРА). Насправді ж під заборону попали лише баластні дроселі (БД) з надзвичайно великими та великими втратами, щоб спрямувати споживача до застосування ЕПРА та ЕМ ПРА з пониженими та особливо низькими втратами. Останнє вимагає впровадження більш досконалих технологічних процесів. В першу чергу це стосується операції настроювання БД на заданий струм.

Аналіз літературних джерел та публікацій [2,3,4,5,6,7] показав, що питанню підвищення точності настроювання БД присвячено надзвичайно мало робіт. Хоча достеменно відомо, що чим менша похибка в процесі настроювання, тим реальніше виробництво енергоощадних та уніфікованих за струмом БД. В результаті стає можливим використання одного і того ж БД як в якості індуктивного, так і в якості складової частини індуктивно-ємнісного баласту, а також для стабілізації розряду в двох однакових послідовно з'єднаних ЛЛ, сумарна напруга на яких приблизно дорівнює половині напруги мережі.

Саме тому **метою даної статі** і стало проведення детальних експериментальних досліджень щодо впливу різноманітних факторів на точність і повторюваність результатів настроювання у виробничих умовах відомих та розроблених нами способів настроювання БД на будь-яке наперед задане значення струму при прикладанні до його затискачів стабілізованої напруги величиною $U_{БД} = Z_{ДЗВ} \cdot I_{БД.ном.}$

В загальному випадку повний опір Z БД з немагнітним зазором для синусоїдного струму без врахування втрат у магнітопроводі (в зв'язку з їх незначною величиною) визначається наступним чином [3]:

$$Z = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot \mu_o \cdot \mu_r \cdot W^2 \cdot S_{СТ} / (l_{СТ} + \mu_r \cdot (\Delta_3 + \Delta_{np})))^2 + R_M^2} \quad (1)$$

З (1) випливає, що повний опір БД визначається $\mu_r, W, S_{СТ}, l_{СТ}, \Delta_3$ та Δ_{np} . Компенсувати вплив розкиду $\mu_r, W, S_{СТ}$ та Δ_3 , немінучих при виготовленні БД, на величину повного опору Z найбільш просто шляхом зміни еквівалентної магнітної проникності, створенням на шляху магнітного потоку безперервного немагнітного зазору. Саме до цього і зводиться операція настроювання БД, в процесі якої здійснюється зміна Δ_{np} . При збільшенні (зменшенні) Δ_{np} значення $\mu_{екв}$ зменшується (збільшується), що приводить до зменшення (збільшення) Z , а в електричному колі - до збільшення (зменшення) струму БД.

Попередні дослідження залежності впливу конфігурації немагнітного зазору на величину струму настроювання показали, що на струм впливає не конфігурація немагнітного зазору (трапецеїдальний у повздовжньому чи поперечному напрямку, ступінчастий, хвилястий, прямокутний або якоїсь іншої складної форми), а його об'єм і безперервність. Неприпустимо, щоб в будь-яких місцях основного немагнітного зазору утворювалися безперервні містки (технологічні зазори величиною 5 – 60 мкм) з електротехнічної сталі, які збільшують нелінійність вольт-амперних характеристик БД. Саме з врахуванням цього факту нами і були досліджені наступні способи настроювання БД на заданий нормативно-технічною документацією струм щодо забезпечення необхідної точності і повторюваності у виробничих умовах.

1. Формування зазору за допомогою неферомагнітної нестисливої прокладки, товщина якої визначається за заданою величиною повного опору БД *розрахунковим* (перший розрахунковий спосіб) або *експериментальним* (перший експериментальний спосіб) шляхом. Експериментальні дослідження показали, що чисто *теоретичний* підхід до визначення товщини немагнітної прокладки не може врахувати всі можливі зміни $\mu_r, W, S_{CT}, \Delta_3$ і забезпечити необхідну точність розрахунків Δ_{np} (з похибкою меншою $\pm 15\%$), хоча і дає можливість для визначення попередніх значень її величини.

Експериментальний (запропонований нами), що базується на підключенні паралельно дроселю без немагнітного зазору, прийнятого для виробництва, змінної індуктивності із шкалою, проградуєваною в одиницях довжини (мм) в залежності від реактивного опору індуктивності X_L (рис.1) [4]. Він передбачає зміну індуктивного опору X_L таким чином, щоб струм дроселя $I_{др}$ (тобто повний опір Z) дорівнював номінальному (або якомусь іншому наперед заданому) значенню. Після цього зі шкали змінної індуктивності X_L зчитується значення товщини немагнітної прокладки Δ_{np} . Градування шкали змінної індуктивності здійснюється експериментальним шляхом один раз для кожної конкретної конструкції БД.

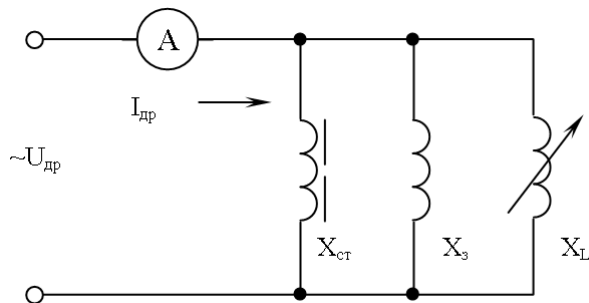


Рисунок 1 - Схема заміщення баластного дроселя з виділенням характерних реактивних опорів: 1) дроселя, магнітопровід якого не має немагнітних зазорів – X_{CT} ; 2) технологічних зазорів в тілі магнітопровода – X_3 ; 3) змінної індуктивності – X_L , проградуєваної в одиницях довжини для визначення величини немагнітного зазору (Δ_{np})

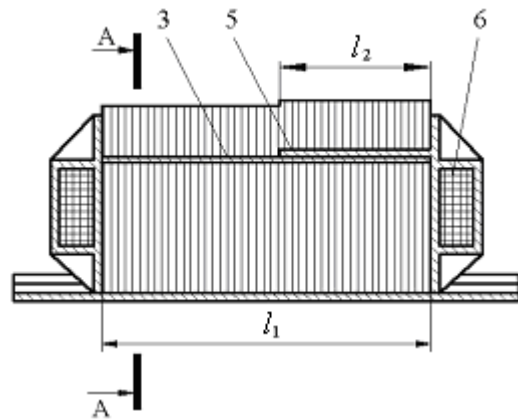
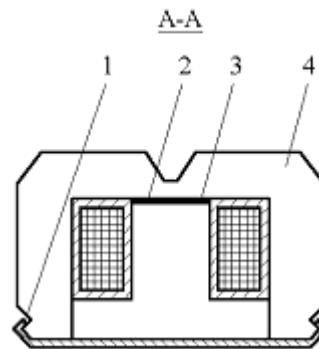


Рисунок 2 - Спосіб настроювання баластних дроселів шляхом введення двох немагнітних прокладок у зазор магнітопровода: 1-основа; 2-перша немагнітна прокладка; 3-пакет Т-подібних пластин; 4-пакет П-подібних пластин; 5-друга немагнітна прокладка; 6-котушка



2. Введення в зазор магнітопроводу двох немагнітних прокладок фіксованої товщини, але різної довжини (рис.2) [4]. Суть цього способу наступна. Спочатку в зазор між пакетами Т- і П- подібних пластин вводиться перша прокладка 2, довжина l_1 якої дорівнює довжині манітопровода БД. Товщина цієї прокладки вибирається таким чином, щоб струм I_0 БД був менше номінального ($I_{БД.ном.}$) і знаходився в межах 0,6...0,8 від його значення ($I_0 = (0,6...0,8) \cdot I_{БД.ном.}$). Зібраний таким чином БД підключається до високостабілізованого джерела живлення з вихідною напругою, рівною $U_{БД} = Z_{ДЗВ} \cdot I_{БД.ном.}$ і вимірюється струм I_0 . Після цього дросель розбирається, в немагнітний зазор додатково вкладається друга прокладка довжиною рівною довжині магнітопроводу і вимірюється струм I_2 в БД при напрузі $U_{БД}$. За отриманими двома

точками записуємо вираз для визначення довжини l_2 другої немагнітної прокладки, яка б разом з першою немагнітною прокладкою l_1 забезпечувала струм $I_{БД.ном.}$ або якесь інше наперед задане його значення

$$l_2 = k \cdot (I_{БД.ном.} - I_0).$$

Якщо струм БД з прокладками $(l_1 + l_2)$ не буде відповідати номінальному значенню з наперед заданою похибкою, довжину другої немагнітної прокладки потрібно уточнити за формулою

$$\pm \Delta l_2 = k \cdot (I_{БД.ном.} - I_{БД.12}).$$

3. Формування постійного повітряного зазору 2, який утворюється при складанні БД завдяки вирубці спеціальної конфігурації I-подібних пластин-замикачів магнітопроводу (рис.3). Завдяки тому, що глибина вирубки Δ на I-подібних пластинах магнітопроводу завжди більша, ніж $\Delta 1$ інтегральне значення сумарного повітряного зазору, можна плавно змінювати від значення $\Delta 1$ до значення Δ (в залежності від характеристик кожної конкретної партії електротехнічної сталі) шляхом простого перевертання певної кількості I-подібних пластин на 180° [6].

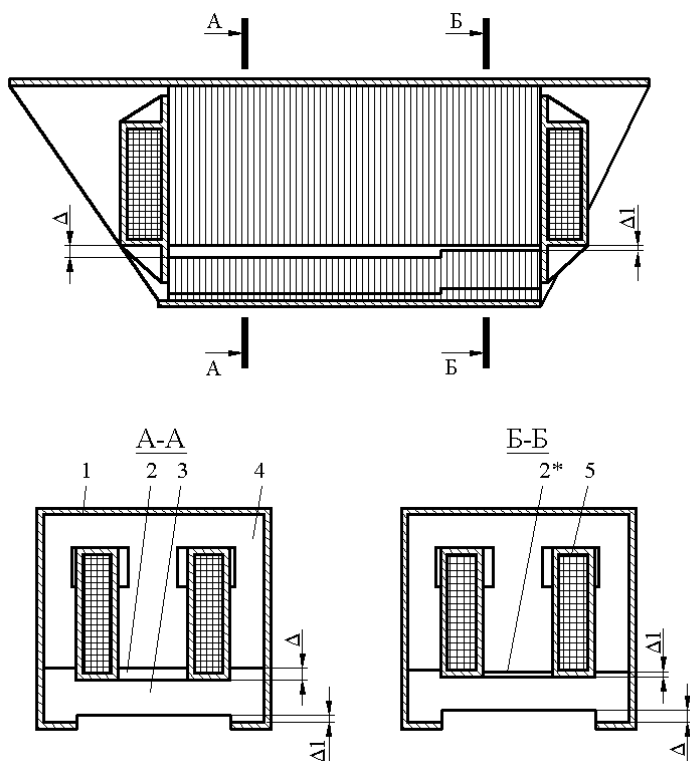


Рисунок 3 - Спосіб налаштування баластних дроселів, базований на формуванні двох повітряних зазорів різної товщини і довжини: 1 – корпус; 2 і 2* - повітряні зазори (глибина вирубки на I-подібних пластинах магнітопроводу) величиною Δ і $\Delta 1$, відповідно; 3 – пакет I-подібних пластин; 4- пакет III-подібних пластин; 5 – котушка

4. Введення між окремими складовими частинами магнітопроводу БД прокладки з неферомагнітного пластичного матеріалу, який легко деформується. Найчастіше в якості такого матеріалу беруть мідь, алюміній, свинець. Інколи, для підвищення точності налаштування, повітряний зазор заповнюють слабо феромагнітним матеріалом, який має меншу, ніж у електротехнічній сталі магнітну проникність [7]. Початкова товщина неферомагнітного (або слабо феромагнітного) пластичного матеріалу вибирається такою, щоб струм у зібраному дроселі перед операцією налаштування був більше номінального значення. Тому процес налаштування направлений на те, щоб зменшити товщину введеної прокладки шляхом її деформації. Операція налаштування припиняється в момент досягнення струму заданого значення.

Статистичний аналіз експериментальних даних, отриманих на ОСП „Корпорація Ватра” щодо точності налаштування БД на заданий струм у виробничих умовах показав, що початкові значення товщини немагнітного пластичного матеріалу в значній мірі визначають не тільки зусилля, необхідні для стискування, а і можливість розстроювання налаштованих на заданий струм БД в процесі наступних технологічних операцій (транспортування і просочування). Саме тому і були проведені дослідження

щодо визначення прийнятних початкових значень діаметрів мідних і алюмінієвих провідників, вибраних в якості основного пластичного матеріалу для розміщення в немагнітний зазор, не тільки з точки зору мінімізації стискаючих зусиль та забезпечення необхідної точності, а і з точки зору виключення можливості розстроювання БД після остаточної фіксації величини немагнітного зазору.

Для дослідження були підготовлені відрізки мідних та алюмінієвих провідників різних діаметрів (d_{np}) довжиною 50 і 100 мм. Діаметри провідників вибиралися з врахуванням величин (довжини і товщини) реальних немагнітних зазорів, які мають місце при настроюванні БД для розрядних ламп різної потужності (від 8 Вт до 3500 Вт) на ОСП „Корпорація Ватра” – від 0,30 мм до 3,00 мм.

Дослідження проводилися на розривній машині Р-5, призначеній для випробувань взірців з металів на розтягування, стискання і згин з зусиллям від 0 до 50 кН. Вимірювання товщини мідних емальованих і голих алюмінієвих провідників (по 6 відрізків кожного діаметра) після стискання здійснювалося мікрометром важільним прицеійним МРП 25 з ціною поділки 0,001 мм і діапазоном вимірювань 0 - 25 мм.

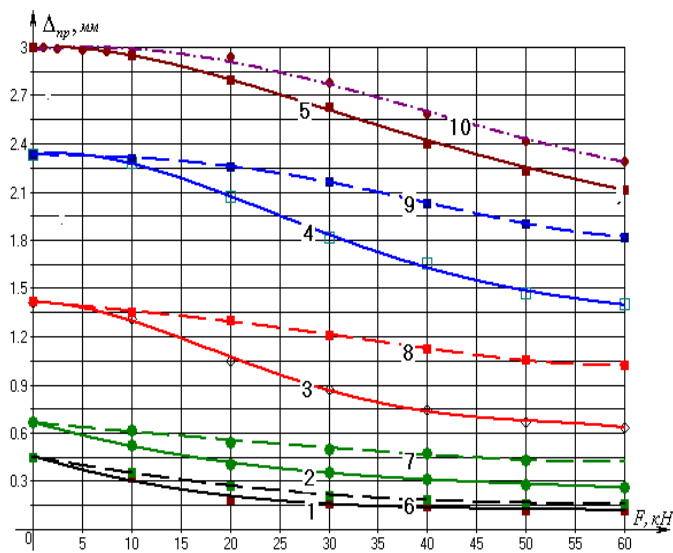


Рисунок 4 - Залежність зміни товщини мідних провідників довжиною 50 мм (1;2;3;4;5) і 100 мм (6;7;8;9;10), зігнутих в замкнені кола, від прикладеного зусилля стискання

(прокладок) від прикладеного зусилля стискання $\Delta_{np} = f(F)$ (рис.4).

Аналіз результатів експериментальних досліджень (див. рис.4) показав, що:

1) з ростом діаметру мідних (алюмінієвих) провідників відносно зменшення їх товщини при прикладанні одного і того ж зусилля стискання постійно зменшується. Так, провідник діаметром 0,45 мм після прикладання стискаючого зусилля в 50 кН зменшується в $0,45 / 0,136 = 3,31$ раз, в той час як провідник діаметром 3,0 мм – в $3,0 / 2,111 = 1,42$ рази. Саме тому для настроювання доцільно обмежитися діаметром в 2,5 мм. Якщо немагнітний зазор повинен бути більше 2,2 мм, доцільно решту немагнітного зазору дозаповнити немагнітним матеріалом, який практично не деформується. Найчастіше це електрокартон – дві пластини певної товщини з отворами для просочувального компаунду, між якими розміщується пластичний матеріал у вигляді зигзагоподібної скоби.

2) при апроксимації отриманих графічних залежностей закон зміни товщини мідних та алюмінієвих провідників у міру зростання стискаючих зусиль добре

Для забезпечення рівномірності стискання провідники згиналися в замкнуті правильні кола. Стискання здійснювалося покроково з зусиллями 0, 10, 20, 30, 40, 50 кН. Після кожного стискання вимірювалася товщина взірця. Для отримання достовірних кількісних результатів вимірювання проводилися багатократно. При статистичній обробці отриманих результатів ми виходили з відомих положень теорії похибок, згідно якої для отримання достовірних результатів (з достовірною ймовірністю не $< 0,97$) достатньо провести по 6 вимірювань в кожній точці. За усередненими результатами вимірювань побудовані графічні залежності зміни товщин провідників

описується поліномами третьої, для діаметрів від 0,3 мм до 0,9 мм, та четвертої, для діаметрів від 0,9 до 4,2 мм, степені;

3) для діаметрів мідних емаль провідників більших $\approx 1,4$ мм (алюмінієвих $\approx 1,6$ мм) в діапазоні стискуючих зусиль від 0 до 5 кН характерно утворення початкової полиці, яка з ростом діаметру провідника стає все більш яскраво вираженою;

4) у міру поступового покрокового збільшення зусиль стискання (після $F > 20$ кН) інтенсивність зменшення товщини як мідних, так і алюмінієвих провідників діаметром від 0,3 до 0,9 мм на кожному наступному кроці стає меншою, ніж на попередньому. Для провідників більших діаметрів початок такого явища поступово зміщується в бік більших зусиль. При дії одного і того ж стискаючого зусилля відносно зменшення товщини завжди менше для провідників більшого діаметра;

5) оптимальним, з точки зору прикладеного зусилля стискання, є такий діаметр дроту, при заданій довжині l_1 , коли наступне збільшення стискаючого зусилля на 10 кН приводить до зростання деформації δ , яка не перевищує 7 % від початкового значення діаметру проводу. Як правило, це має місце в діапазоні зусиль від 40 до 50 кН. Тому нами і були проведені додаткові експериментальні дослідження, пов'язані із визначенням величини деформації δ і товщини Δ_{np} мідних емаль провідників довжиною l_1 50 мм і 100 мм після закінчення дії стискаючого зусилля в 50 кН. За усередненими результатами вимірювань побудовані графічні залежності $\delta = f(\Delta_{np})$ для різних діаметрів мідних емаль провідників (див. рис.5). Виявилось, що ці залежності добре апроксимуються логарифмічними функціями типу

$$(\text{для } l_1 = 50 \text{ мм}) \quad \delta = 0,28 \times \ln(\Delta_{np}) + 0,77, \quad (2)$$

$$(\text{для } l_1 = 100 \text{ мм}) \quad \delta = 0,064 \times \ln(\Delta_{np}) + 0,39, \quad (3)$$

і для будь-яких наперед заданих значень немагнітних зазорів Δ_{np} оптимальний діаметр мідного провідника для настроювання БД може бути визначений за формулою

$$d_{np.} = [\delta(\Delta_{np}) + \Delta_{np}] \quad (4)$$

Діаметри алюмінієвих провідників повинні бути збільшені пропорційно відношенню твердостей НВ міді і алюмінію в $36/25 = 1,44$ рази. Для інших довжин l_1 , які знаходяться в діапазоні від 50 до 100 мм, значення деформації δ слід визначати на першому кроці для $l_1 = 75$ мм як півсуму основних виразів (2) і (3), а далі - методом поступових наближень як півсуму виразів, між якими знаходиться необхідна довжина мідного провідника.

На практиці деформація неферромагнітної пластичної прокладки **3** (рис.6), початковий діаметр якої вибирається за формулою (4), може здійснюватися:

а) *стискуванням* із певним плавно зростаючим зусиллям **F** складових частин **4** і **5** магнітопроводу, між якими знаходиться пластичний немагнітний матеріал (прокладка), до закінчення процесів настроювання і завальцовування основи в замки магнітопровода (рис.6,а);

б) *локальним стискуванням* із певним зусиллям **F** складових частин **4** і **5** магнітопроводу, між якими знаходиться пластичний немагнітний матеріал (прокладка), ролик **2**, який переміщується вздовж магнітопроводу і „зламується” після закінчення процесів настроювання і завальцовування основи в замки магнітопровода (рис.6,б);

в) *нанесенням окремих локальних ударів* (наприклад електричним відбійним молотком) по основі пакету **T**-подібних пластин **5**, який входить в пакет **II**-подібних пластин **4** магнітопроводу, з одночасним переміщенням по довжині до закінчення процесів настроювання і завальцовування основи в замки магнітопровода (рис.6,в);

Проведені нами експериментальні дослідження, з урахуванням теорії, викладеної в [8,9], показали, що розглянуті способи настроювання БД нерівноцінні як з

точки зору досягнення мінімальних похибок, так і з точки зору технологічної доцільності.

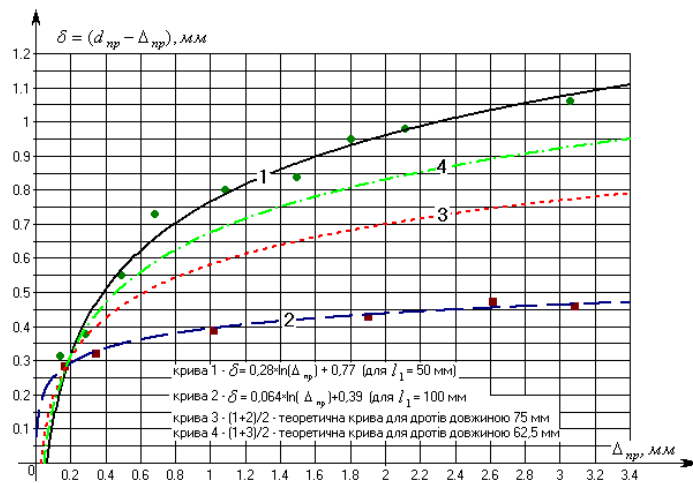


Рисунок 5 - Залежність величини деформації (δ) від товщини немагнітної прокладки ($\Delta_{пр}$) для різних початкових значень діаметрів мідних провідників

постійності магнітних властивостей електротехнічної сталі, геометричних розмірів магнітопроводу, кількості витків обмотки, коефіцієнта заповнення сталі, а також товщини немагнітного матеріалу, який використовується для виготовлення прокладок. На практиці його прийнято відносити до оціночних.

Перший експериментальний, другий і третій способи настроювання здатні компенсувати будь-які відхилення, які можуть виникнути в процесі реального виробництва, завдяки чому і забезпечують мінімальну похибку при настроюванні і незначні трудові затрати. Розстроювання в цих випадках при транспортуванні, ударах і просочуванні співрозмірні з похибкою вимірювальних приладів. Незважаючи на це на практиці, при значеннях немагнітного зазору менше 0,9 мм, ці способи незаслужено не отримали широкого розповсюдження.

В основному це пояснюється тим, що відсутній дешевий і водночас жорсткий немагнітний матеріал з малою похибкою розмірів за товщиною ($\leq 1\%$), а також необхідністю (при застосуванні лише однієї прокладки) змінювати з високою точністю товщину (об'єм) немагнітного матеріалу (наприклад шліфівкою електрокартону або прокаткою пластичного неферромагнітного матеріалу між двома валками, відстань між якими дорівнює необхідній величині немагнітного зазору $\Delta_{пр}$) практично для кожної нової партії електротехнічної сталі.

Найбільше розповсюдження, при немагнітних зазорах, менших 0,9 мм, знайшли різні варіанти четвертого способу настроювання. Експериментальні дослідження, проведені нами на БД серії В40 на спеціально розроблених і виготовлених установках настроювання показали, що максимальна похибка при настроюванні для кожного з варіантів рис.6, а; б; в; та г складає 7, 4, 2,5, 1,5 % відповідно. Тобто найбільш точні і стабільні результати мають місце при реалізації варіанту рис.6,г, особливо тоді, коли настроювання виконується у два етапи на двох різних позиціях:

- 1) попереднє настроювання (варіант рис.6,а) завершується завальцовуванням основи **6** і активним контролем стуму БД з видачею інформації про придатність;
- 2) точне механічне настроювання клином (варіант рис.6,г), здійснюється наступним чином.

Так, перший розрахунковий спосіб, чисто теоретичний, не може передбачити реальні величини і знаки відхилень, що виникають як у процесі виробництва вихідних матеріалів, необхідних для виготовлення БД (електротехнічних сталей і обмоткового дроту), так і в процесі виробництва електромагнітних дроселів (кількості витків в обмотці, площі активного поперечного перерізу сталі осердя магнітопроводу, величини технологічних зазорів між складовими частинами магнітопроводу тощо). Тому його можна використовувати тільки у випадку високої

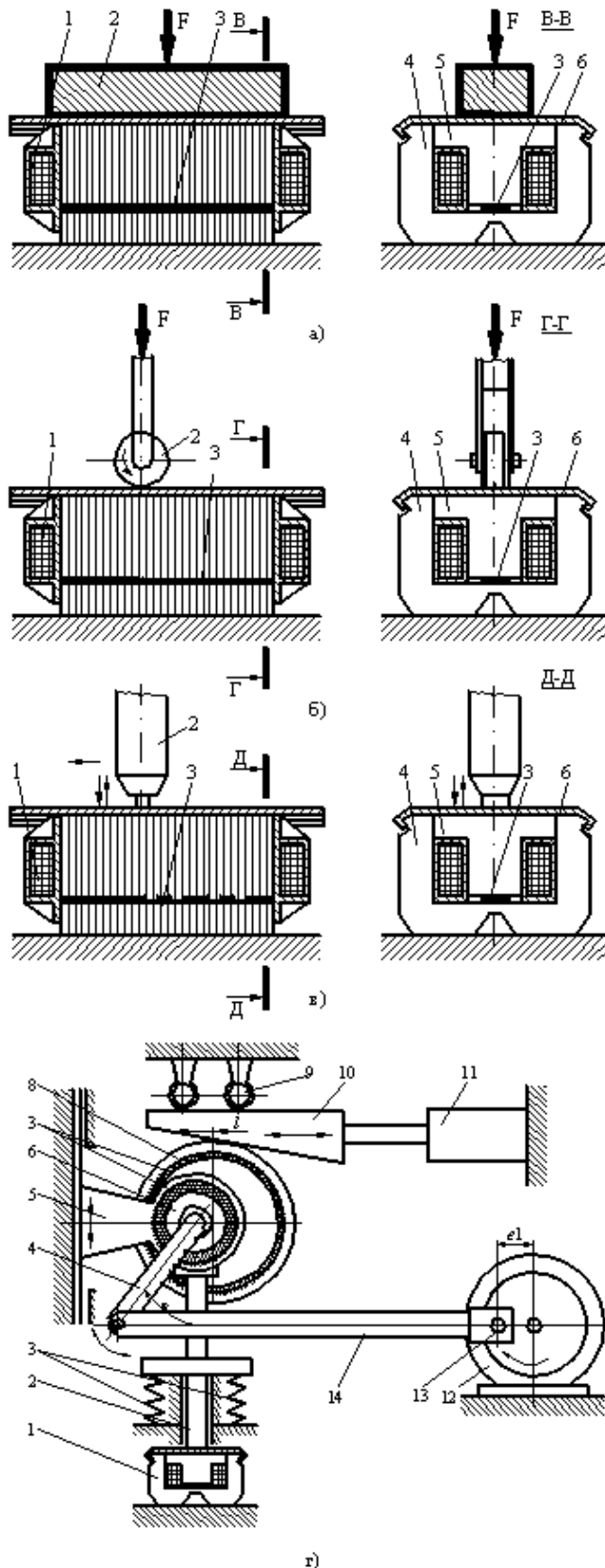


Рисунок 6 - Спосіб настроювання баластних дроселів, базований на деформації немагнітного зазору шляхом:
а – плавного стискування пуансоном (1-котушка; 2-пуансон; 3-алюмінієва немагнітна прокладка; 4-пакет П-подібних пластин; 5-пакет Т-подібних пластин; 6-основа); **б** – локального стискуванням роликком (2-ролик); **в** – нанесення локальних ударів робочим органом електромолотка (2-електромолоток); **г**) дискретними, постійно зростаючими (на 3 – 200 мкм) стискуваннями складових частин пакетів П-і Т-подібних пластин магнітопроводу **1** клином в поперечному напрямку (1-БД; 2-шток; 3-пружина; 4-важіль ексцентрика; 5-опора ексцентрика; 6-ексцентрик; 7-підшипники; 8-обійма; 9-упори; 10-клин; 11-пневмоциліндр; 12-електродвигун; 13-кулісний механізм; 14-куліса)

Електродвигун 12 приводить в дію кулісний механізм 13, в результаті чого куліса 14, шарнірно з'єднана з ексцентриком 6 (ексцентриситет e_1), за допомогою важеля 4, здійснює зворотно-поступальні рухи, а ексцентрик 6 – коливальні. При коливаннях ексцентрика 6 між обіймою 8 і упорами 9 утворюється зазор, в який миттєво вводиться клин 10 за допомогою пневмоциліндра 11. В результаті між упорами 9 і ексцентриком 6 виникає зусилля розпору. Це зусилля через опору ексцентрика 5 передається на шток 2, в результаті чого відбувається зменшення

немагнітного зазору в БД 1 на заздалегідь визначену дискретну величину – крок настроювання. Після кожного кроку настроювання здійснюється вимірювання струму БД 1. В момент, коли струм дроселя досягає заданого значення, клин 10 і шток 2 повертаються у вихідне положення. Крок настроювання можна змінювати за допомогою кулісного механізму 13 в межах від 3 до 200 мкм, змінюючи ексцентриситет е1.

Мінімальна похибка ($\leq 1,5\%$) і висока стабільність результатів настроювання дозволяють рекомендувати його до широкого впровадження у виробництво. Введення в повітряний зазор слабо феромагнітного пластичного матеріалу дозволяє підвищити точність настроювання у всіх розглянутих способах, пов'язаних з деформацією прокладки.

Просочування БД після настроювання завжди приводить до зміни величини немагнітного зазору. Ці зміни, як правило, носять постійний характер. У БД для ЛЛ немагнітний зазор, як правило, збільшується. У БД для розрядних ламп високого тиску, окремі частини яких стягуються і утримуються шпильками, немагнітний зазор зменшується. *Для підвищення точності настроювання ці зміни потрібно враховувати при настроюванні, зменшуючи струм у БД для ЛЛ і збільшуючи – для розрядних ламп високого тиску на характерну для процесу просочування величину.*

Висновки

1. Найкращим з пластичних неферомагнітних матеріалів для настроювання БД, з точки зору ціни і пластичності, є алюміній.
2. Оптимальний діаметр пластичних неферомагнітних матеріалів (міді, алюмінію) для проведення точного настроювання БД найкраще всього визначати за формулою (4).
3. З ростом діаметра мідних (алюмінієвих) провідників відносно зменшення їх товщини при прикладанні одного і того ж зусилля стискання постійно зменшується.
4. Найкращим з розглянутих способів настроювання БД є спосіб, що базується на зміні немагнітного зазору клином, особливо тоді, коли настроювання виконується у два етапи на двох різних позиціях.

Перспективою подальших досліджень є визначення впливу слабо феромагнітних матеріалів на точність настроювання БД при їх введенні в область немагнітного зазору.

Література

1. Direktiva 2000/55/ES Evropskega parlamenta in sveta z dne 18. Septembra 2000.
2. Боос В.Г., Лазаревич С.Б., Сморгонский В.И. Об унифицированных ПРА для люминесцентных ламп // Светотехника. – 1990. – № 11. – С. 8-9.
3. Бамдас А.М., Савиновский Ю.А. Дроссели переменного тока радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Советское радио, 1969. – 248 с.
4. А.с. №1134974 СССР, МКИ Н 01 F 41/02 Способ подбора прокладки дросселя / Тарасенко Н.Г., Шевченко В.А., Олейников В.Н. и др. – № 3657590; Заявлено 21.07.1983; Обул.15.01.85. Бюл. № 2.
5. А.с. 1288767 СССР, МКИ Н 01 F 41/02. Способ изготовления дросселя / Тарасенко Н.Г., Шевченко В.А., Сергачев В.Н. – № 3923456; Заявлено 8.10.1986; Опубл. 07.02.87. Бюл. № 5.
6. Цыгенько Л.И., Яремчук Р.Ю. Конструкции пускорегулирующих аппаратов для люминесцентных ламп // Светотехника. – 1977. – № 12. – С. 18 – 20.
7. Патент ФРГ № 3040368, МКИ Н 01 F 3/14, опубл. 27.05.82.
8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
9. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений.–Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985.–248 с.

Одержано 17.06.2008 р.