

Инфракрасное излучение, зернопродукты, нагрев, сушка, движущийся слой.

The mathematical models of the heating and drying of grain products and identified by infrared radiation coefficient equations for experimental data.
Infrared radiation, grain products, heating, drying, rolling ball.

УДК 621.314.55(088.8)

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБМОТКИ ЗВ'ЯЗКУ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

***М. В. Брагіда, кандидат технічних наук
В. О. Фесенко, студент магістратури***

Наведено конструкцію зварювального трансформатора та запропоновано методику розрахунку параметрів обмотки регулювання струму зварювання.

Зварювальний трансформатор, тороїд, магнітопровід, обмотка регулювання, обмотка зв'язку, дросель.

Зварювальні трансформатори на тороїдних магнітних осердях мають суттєві переваги перед трансформаторами класичного виконання:

- відсутні втрати енергії магнітного поля на розсіювання;
- відсутні механічні регулятори струму зварювання, а відповідно і вібрації та шумові явища;
- зменшені масо-габаритні показники та спрощене конструктивне виконання;
- зменшені втрати електричної енергії на регулювання величини струму зварювання.

Переваги досягаються принципово новим технічним рішенням.

Мета досліджень – обґрунтування параметрів обмотки зв'язку зварювального трансформатора на тороїдних магнітопроводах.

Матеріали та методика досліджень Запропоноване нове технічне рішення зварювального трансформатора на тороїдних магнітопроводах [3] дозволило регулювати струм зварювання шляхом взаємокомпенсації складових магнітного потоку. При такому конструктивному виконанні зварювального трансформатора величину струму зварювання можна регулювати зміною індуктивного опору обмотки зв'язку. Регулювання не призведе до значних змін напруги вторинної обмотки. Узгоджене з'єднання обмоток навіть підвищить її.

Для отримання крутоспадної зовнішньої характеристики використаємо індуктивний опір, а саме його важливу властивість змінювати значення при насиченні магнітопроводу. Робочою напругою магнітоелектричних систем вважається напруга, що знаходиться в межах коефіцієнта насичення $1,1 \dots 1,3$. При перевищенні цієї напруги опір падає, а струм стрімко зростає. Варто лише правильно вибрати напругу індуктивного опору (дроселя) залежно від струму зварювання.

Приймемо гранично допустимий діапазон відхилення напруги таким, що не порушує вимог ГОСТ 13109-97 – $\pm 10\%$ [6].

Конструкція електрозварювального трансформатора наведена на рис. 1.

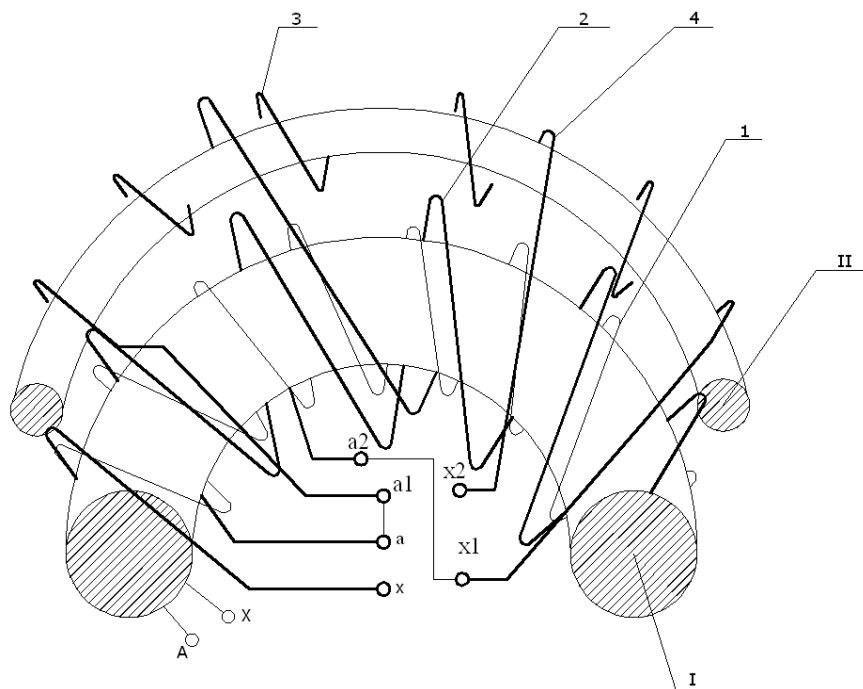


Рис.1. Конструкція зварювального трансформатора

Трансформатор складається із тороїдного магнітопроводу I, на який намотана первинна обмотка 1 і вторинна обмотка 2. На тороїдний магнітопровід II, який, виходячи із теплового режиму роботи, доцільно розмістити зверху над вторинною обмоткою, намотана обмотка 3. Виводи цієї обмотки послідовно з'єднані із вторинною обмоткою трансформатора та обмоткою зв'язку 4, яка охоплює обидва магнітопроводи та електромагнітно впливає на величину струму зварювання.

Опір дроселя та його конструктивні параметри розраховуються на максимально прийнятий струм зварювання [2].

Результати досліджень. Важливим елементом, від якого залежить якість процесу зварювання, є обмотка зв'язку. З її допомогою отримуємо крутоспадну зовнішню характеристику та регулювання величини струму зварювання. Цією позицією технічне виконання зварювального трансформатора відрізняється від класичних схем, при яких дросель вибирають

на мінімальний струм зварювання, а його збільшення досягають зменшенням індуктивного опору (збільшення проміжку між магнітопроводами).

Максимальну кількість витків обмотки зв'язку визначимо, виходячи із мінімального прийнятого струму зварювання (60÷80 А).

Падіння напруги на дроселі при максимальному струмі зварювання знайдемо з виразу:

$$\dot{U}_{min} = \dot{U}_2 - \dot{U}_\delta - \dot{I}_{2max}Z_2, \quad (1)$$

де \dot{U}_2 – напруга вторинної обмотки трансформатора, $\dot{U}_2 = 60$ В; \dot{U}_δ – напруга зварювальної дуги, $\dot{U}_\delta = 20\dots25$ В; \dot{I}_{2max} – максимально прийнятний струм зварювання, $\dot{I}_{2max} = 200$ А; Z_2 – опір вторинної обмотки, Ом.

Аналогічно при мінімальному струмі зварювання:

$$\dot{U}_{max} = \dot{U}'_2 - \dot{U}_\delta - \dot{I}_{2min}Z_2, \quad (2)$$

де \dot{U}'_2 – напруга вторинної обмотки та обмотки зв'язку, $\dot{U}'_2 = \dot{U}_2 \pm \dot{U}_{зв}$ В.

При узгодженому з'єднанні обмоток трансформатора, дроселя та обмотки зв'язку (рис.2), яка охоплює магнітопроводи дроселя та трансформатора, можна вважати, що вона є продовженням числа витків дроселя та трансформатора. Отже, напруга на виході трансформатора збільшиться на величину $\dot{U}_{зв}$.

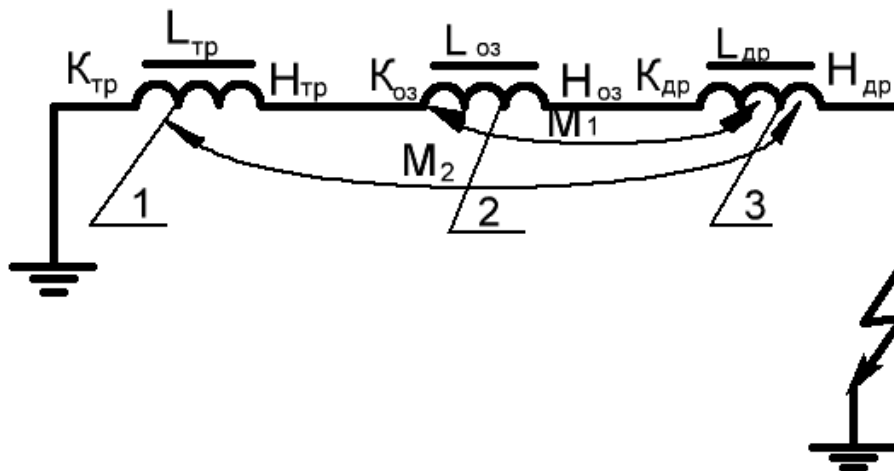


Рис. 2. Схема узгодженого з'єднання обмоток зварювального трансформатора:

1 – вторинна обмотка трансформатора; 2 – обмотка зв'язку; 3 – обмотка дроселя

Знайдемо величину, на яку необхідно збільшити індуктивний опір, щоб отримати струм зварювання 80 А.

$$\Delta X = X_\Sigma - X, \quad (3)$$

де X_{Σ} – сумарний індуктивний опір обмоток дроселя та зв'язку, Ом; X – індуктивний опір дроселя, Ом.

$$\Delta X = L_{\Sigma} 2\pi f, \quad (4)$$

де L_{Σ} – сумарна індуктивність трансформатора і дроселя, які охоплені обмоткою зв'язку, Гн.

$$L_{\Sigma} = \frac{\mu\mu_0 h_{\Sigma} W_{3\phi}^2}{2\pi} \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (5)$$

де h_{Σ} – сумарна висота магнітопроводів трансформатора та дроселя, м; μ – відносна магнітна проникність; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна постійна; R_1, R_2 – внутрішній та зовнішній радіуси магнітопроводу трансформатора (дроселя), м; $W_{3\phi}$ – кількість витків обмотки зв'язку, шт.

Вторинна обмотка трансформатора, обмотка дроселя та зв'язку розраховані на великі струми (>200 А), а отже, активний опір дуже малий і ним можна знехтувати.

Тоді індуктивний опір ΔX визначимо з виразу:

$$\Delta X = \frac{\dot{U}_{max}}{\dot{I}_{2min}} - \frac{\dot{U}_{min}}{\dot{I}_{2max}}. \quad (6)$$

Підставивши значення в (4) отримаємо

$$\frac{\dot{U}_{max}}{\dot{I}_{2min}} - \frac{\dot{U}_{min}}{\dot{I}_{2max}} = f h_{\Sigma} W_{3\phi}^2 \mu\mu_0 \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (7)$$

Звідси число витків обмотки зв'язку

$$W_{3\phi} = \sqrt{\frac{\dot{U}_{max}}{\dot{I}_{2min}} - \frac{\dot{U}_{min}}{\dot{I}_{2max}}} / f h_{\Sigma} \mu\mu_0 \ln \frac{R_2}{R_1}. \quad (8)$$

При узгодженому з'єднанні обмотки зв'язку та вторинної обмотки трансформатора на виході збільшиться на величину $\dot{U}_{3\phi}$, що призведе до деякого збільшення струму зварювання.

$$E_{3\phi} \approx \dot{U}_{3\phi} = 4,44 f W_{3\phi} B (S_{mp} + S_{dp}). \quad (9)$$

Із врахуванням вищевикладеного, число витків обмотки зв'язку визначимо так:

$$\frac{\dot{U}_2 \pm \dot{U}_{3\phi} - \dot{U}_d - \dot{I}_{2min} Z_2}{\dot{I}_{2min}} - \frac{\dot{U}_2 - \dot{U}_d - \dot{I}_{2max} Z_2}{\dot{I}_{2max}} = f h_{\Sigma} W_{3\phi}^2 \mu\mu_0 \ln \frac{R_2}{R_1}. \quad (10)$$

Після математичних перетворень отримаємо рівняння, розв'язавши яке визначимо число витків обмотки зв'язку при узгодженому з'єднанні.

$$f h_{\Sigma} \mu\mu_0 \ln \frac{R_2}{R_1} W_{3\phi}^2 - \frac{4,44 f B (S_{mp} + S_{dp})}{\dot{I}_{2min}} W_{3\phi} - \left(\frac{\dot{U}_2 - \dot{U}_d - \dot{I}_{2min} Z_2}{\dot{I}_{2min}} - \frac{\dot{U}_2 - \dot{U}_d - \dot{I}_{2max} Z_2}{\dot{I}_{2max}} \right) = 0. \quad (11)$$

Для регулювання струму зварювання в широкому діапазоні доцільно застосувати зустрічне з'єднання обмоток зв'язку та трансформатора (рис.3). При такому з'єднанні одночасно із збільшенням індуктивного опору зменшиться напруга на затискачах обмотки зварювання. Число витків обмотки визначимо з рівняння:

$$f h_{\Sigma} \mu \mu_0 \ln \frac{R_2}{R_1} W_{3\phi}^2 + \frac{4,44 f B (S_{mp} + S_{dp})}{I_{2min}} W_{3\phi} - \left(\frac{U_2 - U_{\delta} - I_{2min} Z_2}{I_{2min}} - \frac{U_2 - U_{\delta} - I_{2max} Z_2}{I_{2max}} \right) = 0. \quad (12)$$

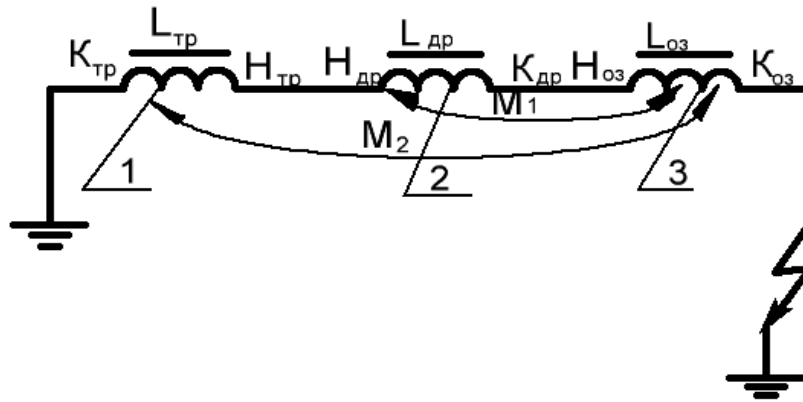


Рис. 3. Схема зустрічного з'єднання обмоток зварювального трансформатора

Для магнітопроводів трансформатора і дроселя прийемо холоднокатану анізотропну сталь марки 3415. Згідно з [4] при магнітній індукції $B = 1,88 \div 1,9$ Тл напруженість магнітного поля становить 2500 А/м, а відносна магнітна проникність $\mu = 605$.

Вихідні дані для розрахунку:

- частота мережі – 50 Гц; магнітна індукція $B = 1,9$ Тл;
- зовнішній радіус магнітопроводу $R_2 = 0,11$ м;
- внутрішній радіус магнітопроводу $R_1 = 0,060$ м;
- площа магнітопроводу трансформатора $S_{тр} = 5 \cdot 10^{-3}$ м²;
- площа магнітопроводу дроселя $S_{др} = 5,28 \cdot 10^{-4}$ м²;
- відносна магнітна проникність $\mu = 605$;
- мінімальний струм зварювання $I_{2min} = 80$ А;
- максимальний струм зварювання $I_2 = 200$ А
- сумарна висота магнітопроводів трансформатора та дроселя $h_{\Sigma} = 0,111$ м.

Підставивши дані та розв'язавши рівняння, отримаємо значення витків обмотки зв'язку. При узгодженому з'єднанні обмоток $W_{3\phi} = 16$ витків; при зустрічному з'єднанні – 7 витків.

Для регулювання струму зварювання прийемо обмотку зв'язку з сімома витками. Виконаємо п'ять ступенів регулювання: з відпайками 1 виток; 3 витки; 5 витків; 7 витків.

Струми зварювання на відпайках визначимо з виразу:

$$I_2 = \frac{4,44 B (S_{mp} + S_{dp}) W_{3\phi} + U_2}{h_{\Sigma} \mu \mu_0 \ln \frac{R_2}{R_1} W_{3\phi}^2 + \frac{U_2}{I_2}}. \quad (13)$$

Їх значення наведено в таблиці.

Залежність струму зварювання від кількості витків

Узгоджене з'єднання		Зустрічне з'єднання	
Число витків, шт.	Струм, А	Число витків, шт.	Струм, А
1	205	1	190
3	203	3	161
5	189	5	127
7	168	7	86

Висновки

1. Запропоновано конструкцію зварювального трансформатора, що дозволяє зменшити масу системи регулювання струму зварювання в 2,5...3 рази, зменшити розміри до мінімально можливих.

2. Визначено параметри обмотки зв'язку та діапазони регулювання струму зварювання при зустрічному та узгодженому з'єднанні обмоток зв'язку та трансформатора.

Список літератури

1. Брагіда М. В. Розрахунок системи регулювання струму зварювання /М. В. Брагіда, Я. О. Тримпол // Науковий вісник НУБіП України. – К., 2013. – Вип. 184, ч. 1. – С. 187–191.

2. Вольдек А. И. Электрические машины: [учеб. для студ. высш. техн. учеб. заведений] /А. И. Вольдек. — [2-е изд. перераб. и доп.]– Л.: Энергия, 1974. — 840 с.

3. Гольберг О.Д. Проектирование электрических машин: [учеб. для вузов] / Гольберг О. Д., Гурин Я. С., Свириденко И. С. – М.: Высш. шк., 1984. – 431 с.

4. Пат. 94540 Україна МПК Н 01 F 30/16/ Трансформатор для зварювання / Брагіда М. В., Гаврилюк В.В., Брагіда Є.М.; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – №201005756; заявл. 12. 05. 10; опубл. 10. 05 11. Бюл. №9.

5. Специальные электрические машины: [учеб. пособие для вузов] / [А. И. Бертинов, Д. А. Бут, С. Р. Мизюрин и др.]; под ред. А. И. Бертинова. — М.: Энергоиздат, 1982. — 552 с.

6. Трансформаторы силовые на кольцевых магнитопроводах. Метод расчета: ГОСТ 22412-77. – [Введен 78–07–01]. – М.: Изд-во стандартов, 1977. – 40 с.

7. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97 (МЭК – 868, 1000-3-2) – [Введен 99–01–01]. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 33 с.

Приведена конструкція сварочного трансформатора и предложена методика расчета параметров обмотки регулирования сварочного тока.

Сварочный трансформатор, тороид, магнитопровод, обмотка регулирования, обмотка связи.

The design of the welding transformer is resulted and the design procedure of parameters of a winding of regulating of a welding current is offered.

The welding transformer, toroid, magnetic circuit, regulating winding, the butterfly governor.