It has been established that granulated biofuel has a higher thermal stability during periods of desorption of moisture and decomposition of hemicelluloses, and it increases with increasing a pressing pressure. This fact is explained by the partial cross-linking of the macromolecules of the polysaccharide biomass complex with each other or through a water molecule, which confirms the main provisions of the molecular theory of briquetting.

Keywords: biofuel, biomass, pine wood, granulation, activation energy, non-isothermal kinetics method, Broido model

УДК 621.314.55(088.8)

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ ЗВАРЮВАЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА КІЛЬЦЕВИХ МАГНІТОПРОВОДАХ

М. В. БРАГІДА, кандидат технічних наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: nni. elektrik@qmail.com

Анотація. *Визначення оптимальних параметрів пристроїв та режимів роботи є однією з основних задач проектування. Найпоширенішими є методи математичного моделювання електричних машин. Сучасне програмне забезпечення дає змогу доволі точно розрахувати електромагнітні процеси та визначити режими роботи. За допомогою комп'ютерної програми Mathcad можна безпосередньо працювати з математичним апаратом, вносити зміни та корективи.*

Метою дослідження є визначення режимів роботи зварювального трансформатора, описаного в [6] за допомогою математичного моделювання, та їх оцінка з результатами досліду.

За відомими параметрами конструкції зварювального трансформатора та результатами дослідження визначалися індуктивності та активні опори обмоток і розраховувалися струми.

Доцільно математичну модель використовувати для рішення зворотної задачі – знаходження оптимальних параметрів зварювального трансформатора при заданих струмах.

Ключові слова: зварювальний трансформатор, кільцевий магнітопровід, регулювання струму зварювання, первинна обмотка, вторинна обмотка, комп'ютерна програма Mathcad, система диференціальних рівнянь.

© М. В. Брагіда, 2018

Актуальність. Зварювальний трансформатор, що складається з кільцевого магнітопроводу, на якому розміщені первинна та вторинна обмотки, та магнітопроводу регулювання струму зварювання, що охоплюється частиною витків вторинної обмотки, потребує оптимізації його параметрів та режимів роботи. За допомогою математичної моделі та комп'ютерної програми Mathcad можна знайти прийнятні технічні рішення.

Математичне моделювання електромагнітних процесів дозволяє доволі точно визначити його параметри не витрачаючи час та кошти на дослідні зразки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У попередній праці [2, ст.131–135] розглянуто методику визначення параметрів системи регулювання струму зварювання, а саме: магнітопроводу, який забезпечує максимально допустимий струм зварювання.

Математична модель електромагнітних процесів зварювального трансформатора дає змогу оптимізувати їх за значенням струмів в обмотках і підтвердити достовірність розрахунків цих параметрів. Доволі часто її доцільно використовувати для рішення зворотної задачі – знаходження оптимальних параметрів зварювального трансформатора при заданих струмах.

Сучасні технічні засоби та програмне забезпечення [5, ст. 286–380] дозволяють без надмірних зусиль вирішувати подібні задачі та, оптимізувавши режими роботи, підібрати й уточнити конструкційні параметри.

Мета дослідження – визначення за допомогою математичної моделі режимів роботи зварювального трансформатора та їх оцінка з результатами досліду.

Матеріали і методи дослідження. Робочий процес зварювального трансформатора дослідимо за допомогою рівнянь падіння напруг у його обмотках. Для однофазного двохобмоткового трансформатора дійсні такі рівняння напруг у диференціальній формі:

$$u_1 = L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} + M \cdot \frac{di_2}{dt} + r_1 \cdot i_1; \quad (1)$$

$$u_2 = -L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} - M \cdot \frac{di_1}{dt} - r_2 \cdot i_2 - L_3 \frac{di_2}{dt},$$

де L_1, L_2, L_3 – індуктивності обмоток: первинної, вторинної та частини вторинної, що охоплює магнітопровід регулювання, Гн;

M – взаємна індуктивність первинної та вторинної обмоток, Гн;

r_1, r_2 – активні опори первинної та вторинної обмоток;

u_1, u_2, i_1, i_2 – миттєві значення напруг і струмів первинної та вторинної обмоток.

У трансформаторах без феромагнітного осердя величини L_1, L_2, L_3, M постійні, а з феромагнітним осердям, знехтувавши впливом вищих гармонік струму, згідно з [3 с. 274] приймаємо, що ці величини постійні і для певного режиму роботи трансформатора зі стальним осердям.

Індуктивність первинної обмотки трансформатора визначимо за конструкційними параметрами з виразу [1, с. 88]

$$L_1 = \frac{W_1^2 \cdot h \cdot B_1}{2\pi \cdot H_1} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (2)$$

де W_1 – кількість витків первинної обмотки, вит;

h – висота магнітопроводу, м;

R_1, R_2 – внутрішній та зовнішній радіуси кільцевого магнітопроводу, м.

Значення напруженості магнітного поля ***H_1,*** згідно із законом повного струму:

$$H_1 = \frac{i_1 \cdot W_1}{l_{cp}}, \quad (3)$$

де l_{cp} – довжина середньої лінії кільця магнітопроводу, м.

Магнітну індукцію ***B_1*** знайдемо із таблиці намагнічування сталі [4 с. 390].

Індуктивність вторинної обмотки визначимо аналогічно, підставивши у вираз (2) число витків обмотки.

Значення взаємної індукції ***M*** знайдемо згідно з [1 с. 91],

$$M = \frac{W_1 \cdot W_2 \cdot h \cdot B_1}{2\pi \cdot H_1} \cdot \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (4)$$

де W_2 – число витків вторинної обмотки трансформатора, вит.

Індуктивність магнітопроводу регулювання струму зварювання L_3 визначимо за конструкційними параметрами, підставивши у вирази (2, 3) значення параметрів.

Конструкційні параметри трансформатора та магнітопроводу регулювання струму зварювання:

W_1=350 витків; W_2=85 витків; h=0,06 м; R_1=0,085 м; R_2=0,12 м; W_{2p}=41 виток; h_p=0,096 м; R_{1p}=0,024 м; R_{2p}=0,056м.

Запишемо (1) у вигляді

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{u_1}{L_1} - \frac{M}{L_1} \cdot \frac{di_2}{dt} - \frac{r_1}{L_1} \cdot i_1; \quad (5)$$

$$\frac{di_2}{dt} = -\frac{u_2}{L_2 + L_3} - \frac{M}{L_2 + L_3} \cdot \frac{di_1}{dt} - \frac{r_2}{L_2 + L_3} \cdot i_2.$$

Виконавши математичні перетворення, представимо систему диференціальних рівнянь (5) у стандартній формі (формі Коші):

$$\frac{di_1}{dt} = -\frac{r_1 \cdot (L_2 + L_3)}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2} \cdot i_1 + \frac{M \cdot r_2}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2} \cdot i_2 + \frac{M \cdot u_2 + u_1 \cdot (L_2 + L_3)}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2}; \quad (6)$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{M \cdot r_1}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2} \cdot i_1 - \frac{r_2 \cdot L_1}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2} \cdot i_2 - \frac{u_2 \cdot L_1 + M \cdot u_1}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2}.$$

Результати досліджень та їх обговорення. У такій формі система диференціальних рівнянь розв’язується в комп’ютерній програмі Mathcad. Нижче наведено форму запису для розрахунку в програмі Mathcad та результати розрахунків [5 с. 286].

ORIGIN := 1

$r_2 := 0.04$ $r_1 := 1$. $L_1 := 0 . 1$ $L_2 := 0 . 0$

$M := 0.0488$ $L_3 := 0.0024$

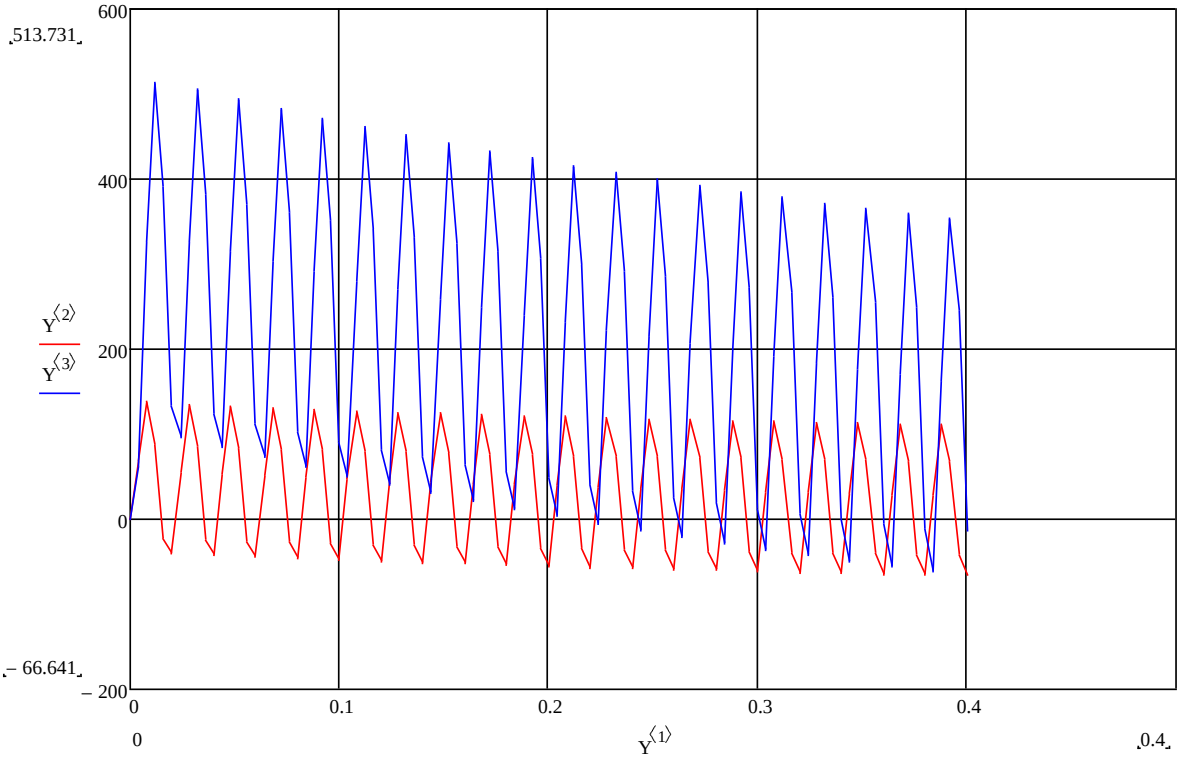
$U_1 := 310$ $U_2 := 28$

$$i := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$D(t, i) := \begin{bmatrix} -r_1 \cdot \dfrac{(L_2 + L_3)}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2} \cdot i_1 + \dfrac{M \cdot r_2}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2} \cdot i_2 + \dfrac{M \cdot U_2 \cdot \sin(314 \cdot t + \pi) + U_1 \cdot \sin(314 \cdot t) \cdot (L_2 + L_3)}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2} \\ \dfrac{M \cdot r_1}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2} i_1 - \dfrac{L_1 \cdot r_2}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2} \cdot i_2 - \dfrac{M \cdot U_1 \cdot \sin(314 \cdot t) + L_1 \cdot (U_2 \cdot \sin(314 \cdot t + \pi))}{L_1 \cdot (L_2 + L_3) - M^2} \end{bmatrix}$$

$Y := \text{rkfixed}(i, 0, 0.4, 100, D)$

Залежність струмів i_1, i_2 від часу t подано на рисунку.



Залежність струмів первинної та вторинної обмоток від часу

Висновки і перспективи. Розмах коливань синусоїди струму первинної обмотки – 148 А, що відповідає діючому значенню 52 А. Розмах коливань синусоїди струму вторинної обмотки – 407 А, що відповідає діючому значенню 144 А. Струм первинної обмотки під час горіння дуги коливався в межах 37÷43 А, а вторинний – 153÷170 А, що становить у середньому 30% та 12%. Така невідповідність пояснюється недостатньою визначеністю магнітних показників сталі магнітопроводів.

Список літератури

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники / Л. А. Бессонов. – М. : Высшая школа, 1973 – 750 с.
2. Брагіда М. В. Зварювальний трансформатор із плавним регулюванням струму зварювання / М. В Брагіда, І. С. Зубков // Науковий вісник НУБіП України. – 2015. – Вип. 224. – С.131–135.
3. 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.
4. Гольберг О. Д. Проектирование электрических машин : учеб. для втузов / Гольберг О. Д., Гурин Я. С., Свириденко И. С. – М. : Высш. шк., 1984. – 431 с.
5. Кирьянов Д. В. Mathcad 12 / Д. В. Кирьянов. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2005. – 576 с.
6. Пат. 72397, Україна, МПК H 01 F 30/06/ Трансформатор для зварювання / Васьковський Ю. М., Брагіда М. В., Чуєнко Р. М., Брагіда Є. М. ; заявник і патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. – № 201014661 ; заявл. 06. 12. 10 ; опубл. 27. 08 12, Бюл. №16.

References

1. Bessonov, L. A. (1973). Teoretichni osnovi elektrotechniki [Theoretical bases electrical engineers]. Moscow, Bischa schkola, 750.
2. Bragida, M. V., Sybkov, I. S. (2015). Svarochni transformator plavnim rehulirovannjam strumu svaruvanja [The welding transformer with smooth regulating of a welding current] Naukovi wisnik NUBiP Ukrainy, 224, 131–135.
3. Voldek, A. I. (1974). Elektrichni maschini [Electric cars]. Leningrad,: Enerhija, 840.
4. Golderg, O. D., Gurin, A. S., Sviridenko, I. S. (1984). Proektirowanie elektrichnich maschin [Designing of electric cars]. Moscow: Bischa schkola, 431.
5. Kiryanov, D. V. (2005). Mathcad 12 [Mathcad 12]. Sankt-Petersburg: BCHV-Petersburg, 576.
6. Vaskovski, Ju. M., Bragida, M. V., Chuenko, R. M., Bragida, E. M. (2012). The transformer for welding. Patent of Ukraine for useful model. H 01 F 30/06. № 72397; declared 06.12.2010; published 27.08.2012, № 16.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ СВАРОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С КОЛЬЦЕВЫМИ МАГНИТОПРОВОДАМИ

М. В. Брагида

Аннотация. *Определение оптимальных параметров устройств и режимов их работы является одной из важнейших задач проектирования. Наиболее широкое распространение получили методы математического моделирования электрических машин. Современное программное обеспечение позволяет достаточно точно рассчитывать электромагнитные процессы в трансформаторе и определять режимы работы. Компьютерная программа Mathcad позволяет непосредственно работать с математическим аппаратом, вносить изменения и коррективы.*

Цель исследования – определение режимов работы сварочного трансформатора, описанного в [6] с помощью математического моделирования и их оценка с результатами исследований.

Для этого необходимо определить параметры сварочного трансформатора и, подставив их в математическую модель, рассчитать токи.

Математическую модель можно использовать для определения оптимальных параметров сварочного трансформатора при известных токах.

Ключевые слова: сварочный трансформатор, кольцевой магнитопровод, регулирование сварочного тока, вторичная обмотка, первичная обмотка, компьютерная программа Mathcad, система дифференциальных уравнений

MATHEMATICAL MODELLING OF THE WELDING TRANSFORMER WITH RING MAGNETS

M. Bragida

Abstract*. Definition of optimum parameters of devices and modes of their work is one of the major problems of designing. Most the wide circulation was received by methods of mathematical modeling of electric cars. The modern software allows to count precisely enough electromagnetic processes in the transformer and to define operating modes. Computer program MathCAD allows to work directly with mathematical apparatus, to make changes and corrective amendments.*

Definition of operating modes of the welding transformer described in [6] by means of mathematical modeling and their estimation with results of researches is a research objective.

For this purpose it is necessary to define parameters of the welding transformer and, having substituted them in mathematical model, to calculate currents.

The mathematical model can be used for definition of optimum parameters of the welding transformer at known currents.

Keywords: the welding transformer, regulation of a welding current, a secondary winding, a primary winding, computer program MathCAD, system of the differential equations