

Електротермометри полегшують спостереження і контроль за зерном і дозволяють по зміні температури виявляти гнізда саморозігрівання і вживати відповідні заходи. Установки забезпечують контроль, реєструють температуру, перевіряють контрольовані параметри в діапазоні 15-35<sup>0</sup>С, реєструють вихід параметрів за межі норми звуковою і світловою сигналізацією у разі перевищення температури в будь-якій точці понад критичного значення (35<sup>0</sup>С).

Система може включатися в роботу автоматично від контакту годинника, встановленого на пульті, або оператором. При перевищенні температури в зонах виміру вище 35<sup>0</sup>С включається аварійна звукова і світлова сигналізація.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Трисвятский Л.А. Хранение зерна. - М.: Колос, 1975. - 250 с.
2. Джанкуразов Б.О. Научные основы хранения зерна / Б.О.Джанкуразов, А.И.Изтаев, К.С.Кулажанов. - Алматы: Алейрон, 2002. - 232 с.
3. Гудилин А.В. Технология обработки зерна на элеваторах / А.В.Гудилин, С.М.Савченко. – М.: Колос, 1982. – 124 с.

УДК 621.314

#### ЗАВИСИМОСТИ СТАТИЧЕСКИХ ИНДУКЦИОННЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ВИТЫМ МАГНИТОПРОВОДОМ

*Садовый А.С., ассистент, Цыганов А.М., ассистент  
Николаевский национальный аграрный университет*

*В данной статье получены основные аналитические зависимости в виде целевых функций, необходимых для оптимизации главных размеров и геометрических соотношений активной части трехфазных трансформаторов с витым «безотходным» разрезным стыковым пространственным магнитопроводом.*

*У даній статті отримані основні аналітичні залежності у вигляді цільових функцій, необхідних для оптимізації головних розмірів і геометричних співвідношень активної частини трифазних трансформаторів з крученим «безвідходним» розрізним стиковим просторовим магнітопроводом.*

Согласно классификации пространственных электромагнитных систем (ПЭМС) современных трехфазных трансформаторов (ТТ) [1-4] они бывают с аксиальным и радиальным направлением магнитных линий. Принципиальная конструкция ПЭМС с аксиальным малоотходным штампо-прессованным или витым «безотходным» разрезным стыковым пространственным магнитопроводом (СПМ) рис. 1.

В СПМ системы в качестве расчетных принимаются диаметры окружностей, полуразность которых соответствует радиальной высоте стержня. При этом ширина стержня связана с  $D_B$  соотношением [4-6]:

$$b_c = D_B k_{\alpha 1}; \quad (1)$$

где:  $k_{\alpha 1}$  – коэффициент центрального угла стержня,

$$k_{\alpha 1} = \operatorname{tg}(\alpha_c/2).$$

Радиальная высота стержня определяется согласно [1] соотношением:

$$h_c = (D_H - D_B)/2 = D_B (a_m - 1)/2. \quad (2)$$

Гипотенуза  $oc$  треугольника  $odc$  (рис. 1, в) определяется через  $D_B$  посредством соотношения:

$$oc = D_B / [2 \cos(\alpha_c/2)]. \quad (3)$$

Ширина обмоточного окна СПМ (рис. 1, а и в) определяется посредством (3):

$$b_o = 2oc \sin(\alpha_o/2) = 2oc \sin[(\pi/3) - (\alpha_c/2)] = D_B k_{\alpha 2}, \quad (4)$$

где:  $k_{\alpha 2}$  – коэффициент центральных углов стержня и обмоточного окна,

$$k_{\alpha 2} = \sin[(\pi/3) - (\alpha_c/2)] / \cos(\alpha_c/2).$$

Площадь сечения стали стержня СПМ системы (рис. 1) определяется, с учетом (1) и (2):

$$P_c = k_{zc} b_c h_c = k_{zc} k_{\alpha 1} D_B D_B (a_m - 1)/2 = k_{zc} k_{\alpha 1} D_B^2 (a_m - 1)/2. \quad (5)$$

Сторона  $ac$  прямоугольника  $aa'cc'$  (рис. 1, б) может быть определена, с учетом (4):

$$b_o/2 = ac \sin(\pi/3) = ac \sqrt{3}/2; \quad ac = b_o / \sqrt{3} = k_{\alpha 2} D_B / \sqrt{3}. \quad (6)$$

Площадь прямоугольника  $aa'c'c$  определяется исходя из (1) и (6):

$$\Pi_{aa'c'c} = b_c ac = D_B k_{\alpha 1} k_{\alpha 2} D_B / \sqrt{3} = k_{\alpha 1} k_{\alpha 2} D_B^2 / \sqrt{3} . \quad (7)$$

Площадь треугольной поверхности  $aa'f$  ярма определяется, с учетом (1):

$$\Pi_{aa'f} = b_c^2 \sqrt{3} / 4 = \sqrt{3} k_{\alpha 1}^2 D_B^2 / 4 . \quad (8)$$

Сторона  $ac$  прямоугольника  $aa'cc'$  (рис. 1, б) может быть определена, с учетом (4):

$$b_o / 2 = ac \sin(\pi/3) = ac \sqrt{3} / 2 ;$$

$$ac = b_o / \sqrt{3} = k_{\alpha 2} D_B / \sqrt{3} . \quad (9)$$

Площадь прямоугольника  $aa'c'c$  определяется исходя из (1) и (6):

$$\Pi_{aa'c'c} = b_c ac = D_B k_{\alpha 1} k_{\alpha 2} D_B / \sqrt{3} = k_{\alpha 1} k_{\alpha 2} D_B^2 / \sqrt{3} . \quad (10)$$

Площадь треугольной поверхности  $aa'f$  ярма определяется, с учетом (1):

$$\Pi_{aa'f} = b_c^2 \sqrt{3} / 4 = \sqrt{3} k_{\alpha 1}^2 D_B^2 / 4 . \quad (11)$$

Масса СПМ системы (рис. 1) определяется на основе (1), (2), (4), (5), (7) и (8):

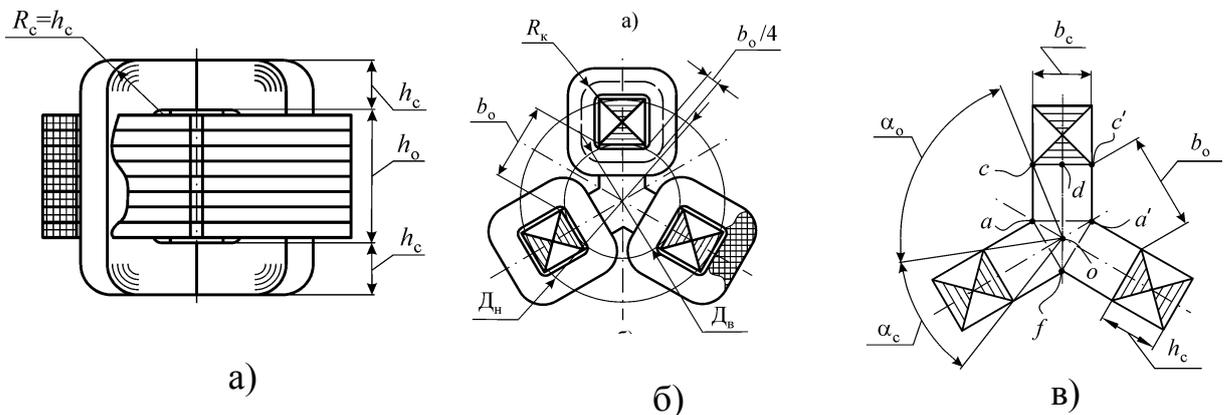


Рис. 1. Схема аксиальной ПЭМС с плоскими пересекающимися образующими плоскостями и соединением стержней по схеме «звезда»:

а – вид сбоку; б – вид сверху в разрезе;

в – элементы геометрии магнитопровода

$$\begin{aligned}
m_{\text{МҮап}} = \gamma_c \left[ \begin{aligned} & 3h_o \Pi_c + 3\pi k_{3c} b_c h_c^2 / 2 + \\ & + 6k_{3c} h_c \Pi_{aa'c'c} + 2k_{3c} h_c \Pi_{aa'f} \end{aligned} \right] = \gamma_c \left[ \begin{aligned} & 3\lambda_o D_B k_{\alpha 2} k_{3c} k_{\alpha 1} D_B^2 (a_M - 1) / 2 + \\ & + 3\pi k_{3c} D_B k_{\alpha 1} D_B^2 (a_M - 1)^2 / 8 + \\ & + \frac{6k_{3c} D_B (a_M - 1) k_{\alpha 1} k_{\alpha 2} D_B^2 / (2\sqrt{3})}{+ 2k_{3c} D_B (a_M - 1) \sqrt{3} k_{\alpha 1}^2 D_B^2 / 8} \end{aligned} \right] = 1,5k_{3c} \gamma_c k_{\alpha 1} D_B^3 (a_M - 1) \times \\ \times \left[ \begin{aligned} & k_{\alpha 2} (1,155 + \lambda_o) + \\ & + 0,7854(a_M - 1) + 0,289k_{\alpha 1} \end{aligned} \right]. \quad (12)
\end{aligned}$$

Согласно [2-6] для СПМ (рис. 1, в) при подстановке (4) преобразуется:

$$\Pi_c = k_{\text{ид}} / (k_{3o} \lambda_o D_B^2 k_{\alpha 2}^2). \quad (13)$$

Из равенства левых частей (5) и (10) следует:

$$\begin{aligned}
k_{3c} k_{\alpha 1} D_B^2 (a_M - 1) / 2 &= k_{\text{ид}} / (k_{3o} \lambda_o D_B^2 k_{\alpha 2}^2); \\
D_B &= \sqrt[4]{2k_{\text{ид}} / [k_{3c} k_{3o} k_{\alpha 1} k_{\alpha 2}^2 \lambda_o (a_M - 1)]}. \quad (14)
\end{aligned}$$

На основе (11) выражение массы (9) представляется в виде:

$$\begin{aligned}
m_{\text{МҮап}} &= 1,5k_{3c} \gamma_c k_{\alpha 1} \times \\
&\times \left( \sqrt[4]{2k_{\text{ид}} / [k_{3c} k_{3o} k_{\alpha 1} k_{\alpha 2}^2 \lambda_o (a_M - 1)]} \right)^3 (a_M - 1) \times \left[ \begin{aligned} & k_{\alpha 2} (1,155 + \lambda_o) + 0,7854(a_M - 1) + \\ & + 0,289k_{\alpha 1} \end{aligned} \right] = . \quad (15) \\
&= \gamma_c \left( \sqrt[4]{k_{\text{ид}} / (k_{3c} k_{3o})} \right)^3 k_{\text{МҮап}}
\end{aligned}$$

где:  $k_{\text{ММҮап}}$  – коэффициент изменения массы СПМ системы (рис. 1),

$$k_{\text{ММҮап}} = 1,5k_{3c} k_{\alpha 1} \left( \sqrt[4]{2 / [k_{\alpha 1} k_{\alpha 2}^2 \lambda_o (a_M - 1)]} \right) \times (a_M - 1) \left[ \begin{aligned} & k_{\alpha 2} (\lambda_o + 1,155) + 0,7854 \times \\ & \times (a_M - 1) + 0,289k_{\alpha 1} \end{aligned} \right]. \quad (16)$$

Функциональные зависимости (13) при  $\alpha_c = 60^\circ$  представлены на рис. 2.

Средняя длина витка катушки ПЭМС (рис. 1, а и б) определяется с учетом (1), (2) и (4):

$$l_{\text{wҮап}} = 2k_w (b_c + h_c + \pi b_o / 4) = 2 \left[ \begin{aligned} & D_B k_{\alpha 1} + D_B (a_M - 1) / 2 + \\ & + \pi D_B k_{\alpha 2} / 4 \end{aligned} \right] = k_w D_B (2k_{\alpha 1} + 1,571k_{\alpha 2} + a_M - 1). \quad (17)$$

На основе (4) и (14), а также общего выражения из [3-5,6], масса АМО обмотки ПЭМС (рис. 1) определяется:

$$m_{\text{оҮап}} = 1,5k_w \gamma_o k_{3o} \lambda_o D_B \times \left( \begin{aligned} & 2k_{\alpha 1} + 1,571k_{\alpha 2} + \\ & + a_M - 1 \end{aligned} \right) k_{\alpha 2}^2 D_B^2 = 1,5k_w \gamma_o k_{3o} \lambda_o k_{\alpha 2}^2 D_B^3 \times (2k_{\alpha 1} + 1,571k_{\alpha 2} + a_M - 1) \quad (18)$$

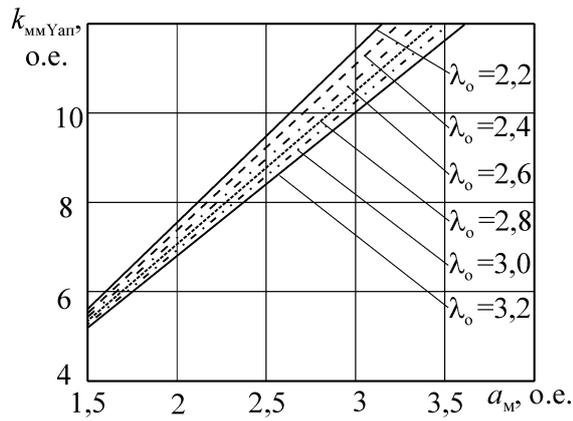


Рис. 2. Зависимости коэффициента массы аксиального СМП с прямоугольным сечением и соединением стержней по схеме «звезда» от геометрических управляемых переменных  $\lambda_o$  и  $a_m$

На основе (11) выражение (19) преобразуется к виду:

$$m_{oYan} = 1,5k_w \gamma_o k_{\alpha 30} \lambda_o k_{\alpha 2}^2 \times \left( \sqrt[4]{2k_{ид} / [k_{\alpha 3c} k_{\alpha 30} k_{\alpha 1} k_{\alpha 2}^2 \lambda_o (a_m - 1)]} \right)^3 \times (2k_{\alpha 1} + 1,571k_{\alpha 2} + a_m - 1) = \gamma_o \left( \sqrt[4]{k_{ид} / (k_{\alpha 3c} k_{\alpha 30})} \right)^3 k_{moYan}, \quad (20)$$

где:  $k_{moYan}$  – коэффициент изменения массы обмотки ПЭМС (рис. 1),

$$k_{moYan} = 1,5k_w k_{\alpha 30} \lambda_o k_{\alpha 2}^2 \times \left( \sqrt[4]{2 / [k_{\alpha 1} k_{\alpha 2}^2 \lambda_o (a_m - 1)]} \right)^3 \times (2k_{\alpha 1} + 1,571k_{\alpha 2} + a_m - 1). \quad (21)$$

Функциональные зависимости (20) при  $k_{\alpha 30} = 0,34$ ,  $\alpha_c = 60^\circ$  и двух значениях  $k_w$ , представлены на рис. 3.

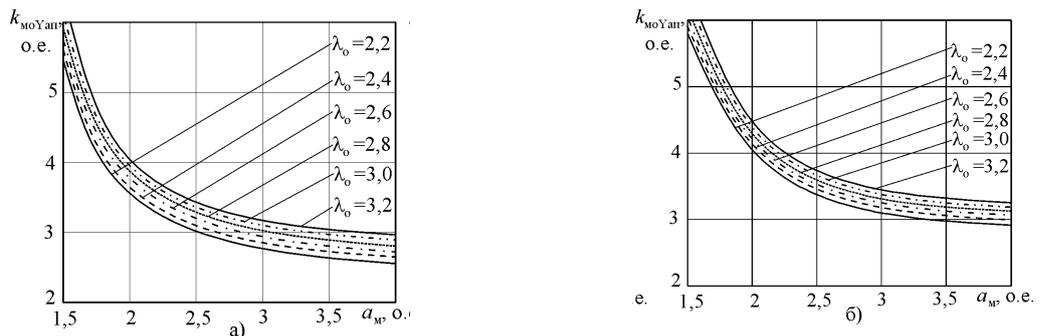


Рис. 3. Зависимости коэффициента массы обмотки от геометрических управляемых переменных  $\lambda_o$  и  $a_m$  при значениях коэффициента средней длины витка  $k_w = 1,0$  (а) и  $k_w = 1,1$  (б)

Масса активных материалов ТТ с ПЭМС (рис. 1) определяется на основе (12), (13) и (16), (17) функциональной зависимостью:

$$m_{Y_{ан}} = m_{MY_{ан}} + m_{oY_{ан}} = \gamma_c \left( \sqrt[4]{k_{ид} / (k_{зс} k_{зо})} \right)^3 k_{MY_{ан}} = \gamma_o \left( \sqrt[4]{k_{ид} / (k_{зс} k_{зо})} \right)^3 k_{MoY_{ан}} = \gamma_c \left( \sqrt[4]{k_{ид} / (k_{зс} k_{зо})} \right)^3 k_{MY_{ан}}, \quad (22)$$

где:  $k_{MY_{ан}}$  – коэффициент изменения массы активных материалов ПЭМС (рис. 1),

$$k_{MY_{ан}} = k_{MY_{ан}} + \gamma_o k_{MoY_{ан}} / \gamma_c = 1,5 \left( \sqrt[4]{2 / [k_{ид} k_{зс}^2 \lambda_o (a_M - 1)]} \right)^3 \times \left\{ k_{зс} k_{ид} (a_M - 1) \left[ \begin{array}{l} k_{\alpha 2} (\lambda_o + 1,155) + \\ + 0,7854(a_M - 1) + \\ + 0,289k_{ид} \end{array} \right] + \right. \\ \left. + k_{зо} k_w k_{\alpha 2}^2 \lambda_o \left( \begin{array}{l} 2k_{\alpha 1} + \\ + 1,571k_{\alpha 2} + \\ + a_M - 1 \end{array} \right) \right\} / \gamma_c. \quad (23)$$

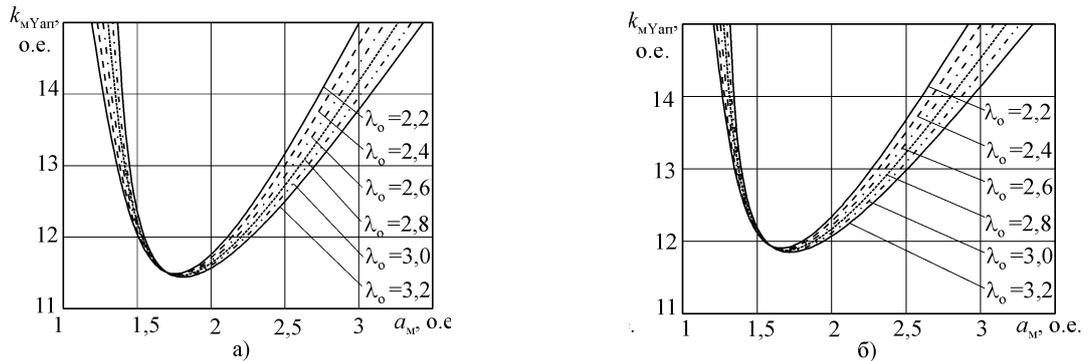


Рис. 4. Зависимости коэффициента массы активной части от геометрических управляемых переменных  $\lambda_o$  и  $a_M$  при значениях коэффициента средней длины витка  $k_w = 1,0$  (а) и  $k_w = 1,1$  (б)

Функциональные зависимости (23) представлены на рис. 4 при двух значениях  $k_w$  и  $k_{зо} = 0,34$ , а также значении  $\alpha_c = 60^\circ$ , соответствующем минимуму ЦФ  $m_{Y_{ан}}$  (получено на основе расчета значений функций  $k_{MY_{ан}} = f(\lambda_o, a_M)$  при фиксированных  $\alpha_c$  в диапазоне изменения  $\alpha_c = 30 \dots 90^\circ$ ).

Из полученных аналитических зависимостей следует, что с увеличением контурного угла  $\alpha_c = 20 \dots 60^\circ$  массы ПЭМС (рис. 1, а и б) снижаются, а масса ПЭМС (рис. 1, в) с увеличением угла  $\alpha_c = 20 \dots 60^\circ$  возрастает.

Наилучшие технико-экономические показатели обеспечивает ПЭМС (рис. 1, в) с минимальной массой, технологической материалоемкостью и габаритными размерами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов-Смоленский А.В. 2001. Перспективы развития электромеханики в XXI веке./ А.В. Иванов-Смоленский, И.П. Копылов, Е.М. Лопухина и др.// Электропанорама. № 1. 14 – 15.
2. Тихомиров П.М. 1986. Расчет трансформаторов.- М.: Энергоатомиздат, 528.
3. Плахтырь О.О. 2002. Варианты конструкций и классификация пространственных магнитопроводов трехфазных трансформаторов и реакторов// Електротехніка і Електромеханіка. № 3. 64-65.
4. Пентегов И.В. 2002. Новые конструкции трехфазных трансформаторов с ленточными магнитопроводами./ Пентегов И.В., Рымар С.В., Лавренюк А.В. и др.- Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика.- Харків: НТУ “ХПІ”. № 14. 86- 97.
5. Плахтир О.О. 2004 Удосконалення трифазних трансформаторів з просторовими магнітопроводами: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.09.01/ Одеський нац. політехн. ун-т. – Одеса, – 24 с
6. Ставинський А.А., Плахтир О.О. 2003. Сравнительный анализ материалоемкости вариантов трехфазных пространственных электромагнитных систем // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ. – 2003. – Вип. 2 (19), том 1. – С. 53–56.

### УДК 621.3

#### **МОДЕЛЮВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ ANSYS MAXWELL RMXprt**

*Кириченко О.С., к.т.н., доцент*

*Миколаївський національний аграрний університет*

*В роботі викладено результати дослідження в області проектування і моделювання електричних машин для електротехнологій з використанням програмного модуля Ansys Maxwell RMXprt. В результаті отримано основні робочі параметри змодельованого асинхронного електродвигуна.*