

*д.т.н. Заблодский Н.Н.,
Грицюк В.Ю.,
Лукьянов Н.В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА ДЛЯ ПОЛОГО РОТОРА СКВОЗНОЙ СТРУКТУРЫ В ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Отримано вираз, що дозволяє виконати розрахунок коефіцієнта повітряного зазору для порожнистого ротора ПЕМП, який має крізну структуру.

***Ключові слова:** поліфункціональний електромеханічний перетворювач, крізний ротор, магнітне поле, повітряний зазор.*

Получено выражение, позволяющее выполнить расчет коэффициента воздушного зазора для полого ротора ПЭМП, который имеет сквозную структуру.

***Ключевые слова:** полифункциональный электромеханический преобразователь, сквозной ротор, магнитное поле, воздушный зазор.*

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Полифункциональные электромеханические преобразователи (ПЭМП) с полым ротором, имеющим сквозную структуру, относятся к новому классу электромеханических устройств, поэтому их создание требует разработки новых методик расчёта [1]. Известные методы расчёта традиционных электрических машин не отражают особенностей геометрии ротора, конфигурации магнитной системы. Учет неравномерности магнитного поля в воздушном зазоре ПЭМП необходимо проводить с помощью коэффициента Картера.

Анализ исследований и публикаций. Коэффициента Картера K_δ , учитывающий зубчатое строение магнитопроводов электрических машин, показывает, во сколько раз увеличивается магнитное сопротивление воздушного зазора в пределах зубцового деления t_z из-за наличия паза [2]. Известные из теории электрических машин формулы для определения коэффициента K_δ получены при решении задач расчета поля аналитическими методами и применимы для учета неравномерности воздушного зазора машин, магнитопроводы которых имеют зубчатое

строение [2, 3]. Однако, эти формулы нельзя применить для расчета ПЭМП, конструкция которых предусматривает наличие полого ферромагнитного ротора со сквозными отверстиями и отличное от традиционных электрических машин распределение магнитной индукции в воздушном зазоре.

Постановка задачи. Задачей данной работы является определение коэффициента воздушного зазора для полого ротора ПЭМП, имеющего сквозную структуру.

Изложение материала и его результаты. Магнитное поле в воздушном зазоре между статором и полым перфорированным ротором ПЭМП распределяется неравномерно – оно сгущается в пределах участков токопроводящего материала ротора и разрежается в пределах площади сквозных отверстий.

На рисунке 1 представлена картина распределения магнитных силовых трубок в зазоре ПЭМП. Вследствие большой плотности магнитных силовых трубок над сплошными участками ротора площадь поперечного сечения каждой трубки уменьшается, тогда как трубки, входящие в ротор через сквозное отверстие сбоку, имеют относительно большое сечение, но проходят путь, длина которого больше, чем длина конструктивного воздушного зазора.

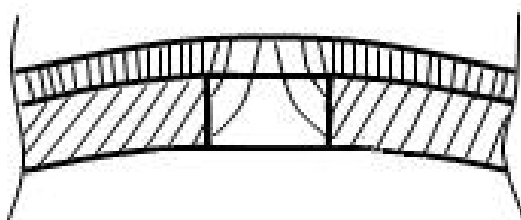


Рисунок 1 – Распределение магнитных силовых трубок в зазоре ПЭМП

В результате магнитное сопротивление зазора увеличивается. В кривой индукции в воздушном зазоре появляются провалы. Увеличение магнитного сопротивления необходимо учитывать с помощью приведения перфорированного ротора к гладкому путём увеличения зазора до величины расчётного

$$\delta' = \delta \cdot K_{\delta}, \quad (1)$$

т. е. равномерного воздушного зазора, который имеет магнитную проводимость, равную магнитной проводимости реального воздушного зазора.

Численное значение коэффициента K_{δ} может быть установлено на основе анализа реального магнитного поля в воздушном зазоре и приближенно может быть определено с помощью соотношения

$$K_{\delta} = \frac{B_{\delta \max}}{B_{\delta}}, \quad (2)$$

где $B_{\delta \max}$ – максимальное значение магнитной индукции в воздушном зазоре, которое наблюдается над центрами сплошных участков материала ротора;

B_{δ} – среднее значение магнитной индукции в воздушном зазоре.

На практике учет зубчатого строения магнитопроводов электрических машин часто осуществляется с помощью выражения

$$K_{\delta} = \frac{t_1}{t_1 - \gamma \cdot \delta}. \quad (3)$$

Полый ферромагнитный ротор ПЭМП имеет сквозные отверстия (окна). Учет такой неравномерности магнитного поля в воздушном зазоре ПЭМП с помощью коэффициента Картера вида (3) не оправдан, так как этот коэффициент получен в предположении, что пазы имеют постоянную геометрическую форму в осевом направлении, а также, что пазы достаточно глубоки, в то время как окна ротора ПЭМП в осевом направлении располагаются дискретно и могут иметь различную геометрическую форму. Развертка поверхности сквозного ротора ПЭМП показана на рисунке 2.

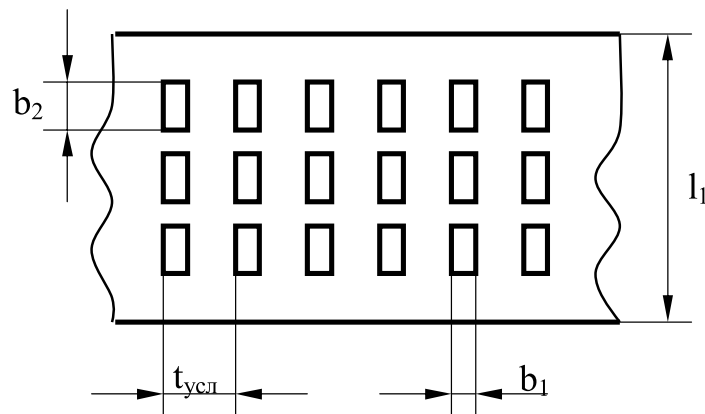


Рисунок 2 – Развертка поверхности полого ротора ПЭМП

Для учета дискретности окон вдоль активной длины ротора воспользуемся понятием удельной дискретности условного паза α_{γ} .

$$\alpha_1 = \frac{n \cdot b_2}{l_a}, \quad (4)$$

где n – число окон ротора в аксиальном направлении;

b_2 – длина окна ротора в аксиальном направлении;

l_a – активная длина ротора.

Коэффициент Картера учитывающий неравномерность магнитного поля в поперечном сечении воздушного зазора ПЭМП

$$K_{\delta 1} = \frac{t_{\text{усл}}}{t_{\text{усл}} - \gamma_1 \cdot \delta \cdot \alpha_1}, \quad (5)$$

где $t_{\text{усл}}$ – условное зубцовое деление;

γ_1 – функция учитывающая соотношение ширины окна b_1 и величины воздушного зазора δ .

$$\gamma_1 = \frac{(b_1 / \delta)^2}{5 + b_1 / \delta}. \quad (6)$$

На рисунке 3 показано магнитное поле в воздушном зазоре ПЭМП в осевом направлении. Зубчатый характер кривой поля вдоль зазора обусловлен наличием отверстий в роторе. Против окон ротора магнитная индукция будет несколько меньше, чем в зонах, лежащих против сплошных участков ротора. Кроме того, часть магнитных линий потока будут замыкаться через окна сбоку. Если при расчете использовать постоянное значение B_δ , то для правильного определения потока через зазор необходимо использовать понятие расчетной длины магнитопровода l_δ , при определении которой учитывается неравномерность распределения B_δ вдоль зазора.

Действительную длину окон b_2 целесообразно заменять расчетной b_2' , которая зависит от соотношения b_2/δ .

$$b_2' = \frac{(b_2 / \delta)^2}{5 + b_2 / \delta}. \quad (7)$$

Таким образом, расчетная длина магнитопровода в общем случае определяется по формуле

$$l_\delta = l_1 - n \cdot b_2', \quad (8)$$

где l_1 – конструктивная длина магнитопровода статора;
 n и b_2' – соответственно число и расчетная длина окон ротора в осевом направлении.

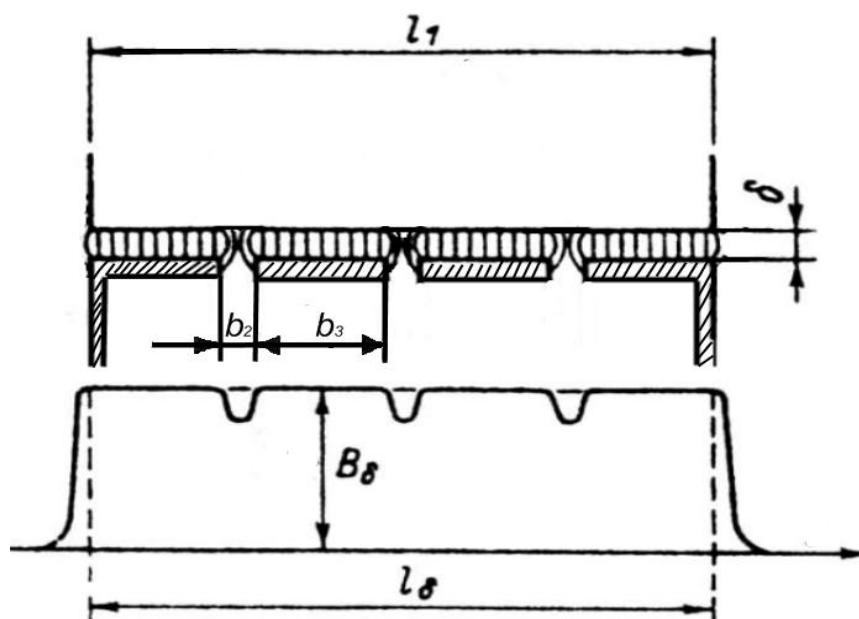


Рисунок 3 – Магнитное поле в воздушном зазоре ПЭМП
 в осевом направлении

Для учета дискретности окон по длине окружности ротора выделим области, находящиеся в одинаковых магнитных условиях – окно и сплошной участок.

Удельная дискретность окон по длине окружности ротора

$$\alpha_2 = \frac{n \cdot b_1}{\pi \cdot D}, \quad (9)$$

где n – число окон ротора в тангенциальном направлении;

b_1 – длина окна ротора в тангенциальном направлении;

D – диаметр полого ротора.

Коэффициент Картера учитывающий неравномерность магнитного поля в воздушном зазоре в аксиальном направлении

$$K_{\delta 2} = \frac{b_2 + b_3}{b_2 + b_3 - \gamma_2 \cdot \delta \cdot \alpha_2}, \quad (10)$$

где b_3 – длина сплошного участка поверхности полого ротора;

γ_2 – функция учитывающая соотношение длины окна b_2 и величины воздушного зазора δ .

$$\gamma_2 = \frac{(b_2 / \delta)^2}{5 + b_2 / \delta}. \quad (11)$$

Как показывает анализ этого вопроса, общий коэффициент воздушного зазора, можно рассчитать в виде произведения частичных коэффициентов зазора

$$K_\delta = K_{\delta 1} \cdot K_{\delta 2}. \quad (12)$$

Таким образом, полученное выражение (12) позволяет выполнить расчет коэффициента воздушного зазора для полого ротора ПЭМП, имеющего сквозную структуру.

Выводы и направление дальнейших исследований.

1. Получено выражение позволяющее выполнить расчет коэффициента воздушного зазора для полого ротора ПЭМП, который имеет сквозную структуру.

2. Полученное выражение позволяет учесть наличие неравномерностей магнитного поля в воздушном зазоре ПЭМП вызванное дискретностью окон по длине окружности ротора, а также вдоль активной части ротора.

3. Дальнейшие исследования должны быть направлены на совершенствование методики теоретического определения коэффициента воздушного зазора для полого ротора ПЭМП, который имеет сквозную структуру.

Библиографический список

1. *Заблудский Н.Н. Полифункциональные электромеханические преобразователи технологического назначения: Монография / Заблудский Н.Н. – Алчевск: ДонГТУ. – 2008. – 295 с.*

2. *Вольдек А.И. Электрические машины: учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений / Вольдек А.И. – Л.: Энергия. – 1974. – 840 с.*

3. *Иванов-Смоленский А.В. Аналитический метод расчета магнитного поля в воздушном зазоре электрических машин с односторонней зубчатостью / А.В. Иванов-Смоленский., М.С. Мнацаканян // Электричество. – 1972. – № 3. – С. 28 – 35.*

Рекомендовано к печати д.т.н., проф. Зеленовым А.Б.