

УДК 621.313.2.045

И.В.Соколов (6 курс, каф. ЭМ), В.А.Изотов, к.т.н., в.н.с.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОДНОСЛОЙНЫХ МНОГОХОДОВЫХ ОБМОТОК ДЛЯ БЕСПАЗОВЫХ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

К настоящему времени выявились преимущества беспазовых машин постоянного тока (МПТ) по сравнению с традиционным зубчатым исполнением. Создание новых материалов с повышенной механической, электрической прочностью и высокими значениями теплопроводности способствует улучшению их массогабаритных и эксплуатационных показателей.

Новые возможности повышения мощности МПТ в единичном исполнении и улучшения их показателей открываются за счет применения многоходовых петлевых обмоток якоря с числом ходов $m > 2$, что очевидно из следующего выражения для электромагнитной мощности:

$$P_{\varepsilon} = \frac{\pi}{2} \cdot D_a \cdot A \cdot \frac{U_{\text{ксп}}}{w_c} \cdot \frac{a}{p}, \quad (1)$$

где D_a – диаметр сердечника якоря, A – линейная нагрузка, $U_{\text{ксп}}$ – допустимая величина напряжения между смежными коллекторными пластинами, w_c – число витков в секции обмотки якоря, a/p – число пар параллельных ветвей и полюсов МПТ. Увеличение числа ходов m обмотки якоря МПТ при заданной мощности позволяет спроектировать ее с меньшим диаметром якоря, а значит, и пониженным моментом инерции, повысить число параллельных ветвей $2a=2mp$ и соответственно уменьшить ток параллельной ветви i_a , размеры проводников обмотки якоря и таким образом понизить добавочные потери от вихревых токов в них.

С целью снижения величины немагнитного зазора целесообразно использовать однослойные обмотки якоря для беспазовых МПТ. Однако по сравнению с двухслойными обмотками однослойные имеют ряд конструктивных особенностей, и рекомендации по выбору параметров обмоток, применяемые для зубчатых якорей, неприменимы для однослойных обмоток. При этом каждый вид однослойной обмотки имеет свои особенности. Согласно приведенной классификации выделены: распределенные ($u_n=1$) и сгруппированные ($u_n>1$), со ступенчатым и равносекционным исполнением. Задача оценки качества однослойных многоходовых обмоток для беспазовых МПТ аналогична существующей задаче для МПТ зубчатого исполнения и сводится к обеспечению допустимых значений небалансной ЭДС Δe_m параллельных ветвей обмотки якоря, максимального напряжения между соседними коллекторными пластинами $U_{\text{кmax}}$, определению порядка опасной гармоники магнитного поля.

В данной работе в основу методики для оценки качества однослойных многоходовых обмоток положена аналитическая модель, представленная в [2]. Данная модель позволяет с помощью теории чисел и периодических рядов проследить распределение проводников обмотки. Разработан алгоритм определения номеров проводников, принадлежащих разным ходам обмотки q_n , сторон катушечных групп i_n , порядковых номеров проводников в катушечных группах j_n :

$$\left. \begin{aligned} k_n &= k_0 + (n-1) \cdot m \\ q_n &= k_n + u_n \cdot f\left(\frac{k_n - 1}{u_n}\right) \\ i_n &= f\left(\frac{q_n + u_n - 1}{u_n}\right) \\ j_n &= q_n - (i_n - 1) \cdot u_n \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где k_0 , k_n – начальное ($n=1$) и n -ое подсоединение прямых проводников секций рассматриваемого хода обмотки, $1 \leq q_n \leq N$, $1 \leq j_n \leq u_n$, $1 \leq i_n \leq 2Z$, причем Z – число условных пазов, N – число эффективных проводников обмотки якоря, u_n – число коллекторных пластин на паз, а f – функция выделения целой части от отношений (2). Координаты положения проводников (x_{np} – прямых, $x_{обр}$ – обратных) в пространстве относительно распределения магнитного поля главных полюсов определяется по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_{np} &= (i_n - 1) \cdot (u_n \cdot x_c + x_u) + (j_n - 1) \cdot x_c \\ x_{обр} &= x_{np} + \frac{y_1 \cdot \pi \cdot D_a}{K} \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

где x_n – толщина катушечной изоляции с учетом прокладки, x_c – расстояние между осями соседних одноименных сторон секций в одной и той же группе, y_1 – шаг секции, K – число коллекторных пластин.

Этот алгоритм был реализован на основе использования стандартного пакета Mathcad. Он позволяет найти величину максимальной небалансной ЭДС, закономерность изменения напряжения между смежными коллекторными пластинами для заданного распределения магнитной индукции в немагнитном зазоре и различных типов обмоток. На данном этапе выполнения работ было проведено исследование влияния высших гармонических составляющих поля главных полюсов на величину небалансной ЭДС Δe_m при $v > 1$ для различного распределения поля в зазоре при $\Phi_a = \text{const}$. С целью решения этой задачи использовалось разложение в гармонический ряд Фурье кривой распределения магнитной индукции в зазоре. Для рассмотренной равносекционной обмотки при $m=4$, $u_n=3$, $K=855$, $Z=285$, предназначенной для беспазового гребного двигателя мощностью 10 МВт в частоте вращения 200/160 об/мин, в зависимости от формы поля и его гармонического состава влияние высших гармонических составляющих на величину Δe_m проявляется различным образом. С учетом гармонических составляющих спектра гармоник ($v=1, \dots, 13$) при форме поля, близкой для машины мощностью 10 МВт влияние высших гармоник увеличило Δe_m на 24% по сравнению с Δe_{m1} , определенной по первой гармонике магнитного поля в зазоре. При этом небалансная ЭДС, вычисленная с учетом кривой распределения магнитной индукции в зазоре $B_\delta = f(x/\tau)$, где τ – полюсное деление, превышает Δe_{m1} почти в три раза.

Разработанный алгоритм носит универсальный характер и позволяет находить Δe_m , а также $U_{кр}$, для различных однослойных многоходовых петлевых обмоток с учетом реального распределения магнитного поля в зазоре главных полюсов. Таким образом, выполненная работа дает возможность повысить точность определения наиболее благоприятного сочетания параметров однослойных многоходовых петлевых обмоток якоря

и формы магнитного поля, улучшить технико-эксплуатационные характеристики беспазовых МПТ.