

УЧЕТ МАГНИТНЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕНТИЛЬНЫХ ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Галайко Л. П., к.т.н.

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"

Украина, 61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21, НТУ "ХПИ", кафедра "Электрические машины"

Тел. (0572) 47-31-77

В статті розглядається метод розрахунку магнітних втрат у вентильному індукторному двигуні, який базується на розрахунку щільності вихрових струмів. Приведені залежності індукції та щільності вихрових струмів на різних ділянках магнітного кола, формула для розрахунку втрат на вихрові струми і результати розрахунку їх втрат для двигуна рудничного електровозу потужністю 13 кВт.

В статье рассматривается метод расчета магнитных потерь в вентильном индукторном двигателе, основанный на расчете плотности вихревых токов. Приведены зависимости индукции и плотности вихревых токов на различных участках магнитной цепи, формула для расчета потерь на вихревые токи и результаты расчета этих потерь для двигателя рудничного электровоза мощностью 13 кВт.

Расчет магнитных потерь в вентильном индукторном двигателе (ВИД) (в западной литературе Switched Reluctance Motors (SRM)), затруднен тем, что индукция не является синусоидальной функцией времени и зависимости $B=f(\omega t)$ на разных участках магнитной цепи существенно отличаются. В работе [1] предложен метод расчета потерь, основанный на разложении кривых индукции в ряд Фурье и на суммировании потерь от отдельных гармоник. Недостатком метода является его громоздкость и зависимость результата от количества учтенных гармоник. В работе [2] реальная индукция эквивалентруется синусоидально изменяющейся индукцией, создающей вихревые токи с тем же действующим значением. При этом в работе приведена зависимость вихревого тока от времени только для участка зубцов статора.

В данной работе получены зависимости плотности вихревого тока от времени для всех участков магнитной цепи ВИД с соотношением зубцов 8/6 и числом фаз 4 (рисунки 1, 2). На участках ярма статора и ярма ротора, где эпюры зависимостей $B_n(t)$ для разных полюсов перекрываются. Результирующая зависимость $J_e(t)$ представлена как сумма зависимостей плотностей вихревых токов от потоков различных полюсов. Этот же подход используется при выводе расчетной формулы для определения магнитных потерь.

Принимаем допущение: пренебрегаем влиянием вихревых токов на магнитное поле и считаем, что индукция по толщине листа остается постоянной и равной ее среднему значению для данного участка. Тогда, согласно [3], запишем соотношение для зубцов

$$\frac{1}{\gamma} \frac{\partial j_e}{\partial x} dx = - \frac{dB_n}{dt} dx, \quad (1)$$

где x - координата по толщине листа, $x=0$ в середине листа.

С учетом линейного закона изменения индукции представим dB_n/dt в виде

$$\frac{dB_n}{dt} = k_1 B_m, \quad (2)$$

где $k_1 = \pm \omega / (\Theta_{om} - \Theta_{ok})$, B_m - амплитудное значение индукции, ω - круговая частота вращения ВИД, знак +

соответствует увеличению индукции, знак - уменьшению индукции, Θ_{om} , Θ_{ok} - угол отключения и включения транзисторов.

После подстановки (2) в (1) и решения уравнения (1) получаем выражение для закона изменения плотности вихревого тока по толщине листа

$$J_v = -\gamma k_1 B_m x \quad (3)$$

Это выражение позволяет определить плотность вихревого тока от потока одного полюса для любых участков магнитной цепи. В этом случае B_m - амплитудное значение индукции от потока одного полюса для данного участка. Суммируем плотности вихревого тока от разных полюсов для участков ярма статора и ротора и для результирующей зависимости $J_e=f(t)$ находим эффективное значение. Запишем соотношение

$$J_{вэф} = k_f J_v, \quad (4)$$

где k_f - коэффициент формы, отношение эффективного значения плотности вихревого тока на данном участке к плотности вихревого тока от потока одного полюса на данном участке. Подставляем (4) и (3) в формулу для расчета удельных потерь

$$\frac{dP_v}{dV} = \frac{1}{\gamma} J_{вэф}^2 = k_f^2 \gamma k_1^2 B_m^2 x^2. \quad (5)$$

Интегрируем выражение (5) по толщине листа, умножаем на длину l и высоту h листа, получаем потери в листе

$$P_e = \gamma l h B_m^2 k_1^2 k_f^2 d^3 / 12. \quad (6)$$

Среднее значение потерь на единицу веса

$$P_{всп} = \gamma B_m^2 k_1^2 k_f^2 d^2 / 12 / \gamma_{cm}. \quad (7)$$

Потери на участке

$$P_{ey} = P_{всп} M \quad (8)$$

где M - масса участка. По полученному выражению были рассчитаны магнитные потери для двигателя рудничного электровоза мощностью 13 кВт для следующих данных: $\omega = 64.5 \text{ рад/с}$, $\Theta_{om} - \Theta_{ok} = 18^\circ$, $d=0.5 \text{ мм}$, $\gamma = 10^7 \text{ С/м}$, $\gamma_{cm} = 7800 \text{ кг/м}^3$. Результаты сведены в таблицу 1.

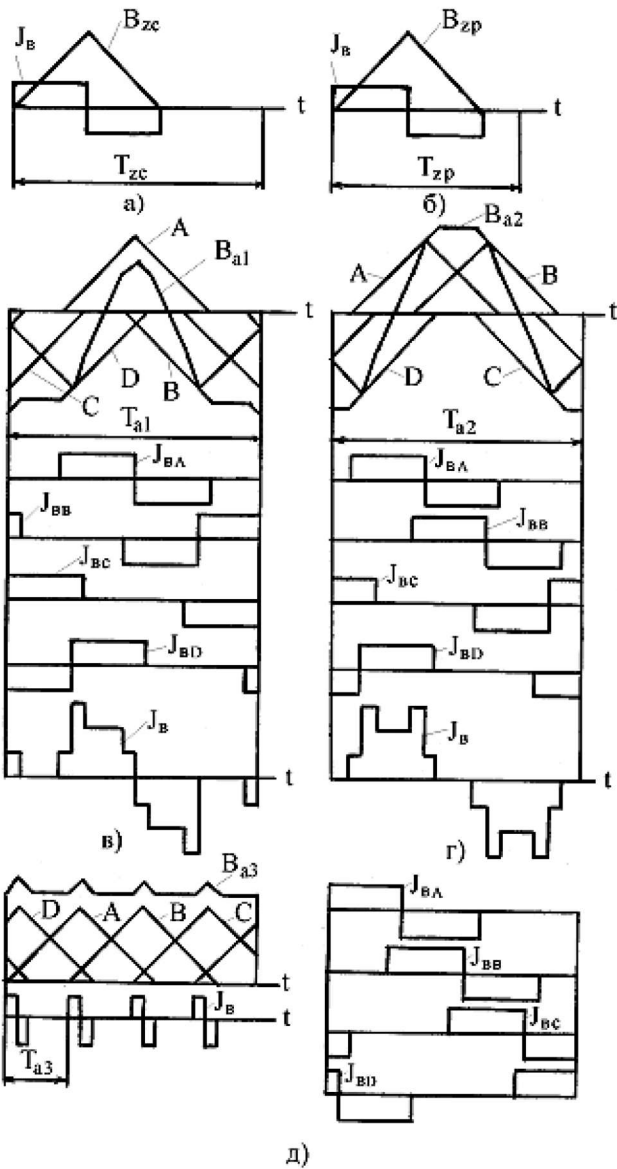


Рис.1.Зависимости индукции и плотности вихревого тока от времени на различных участках магнитной цепи (а - зубцы статора, б - зубцы ротора, в - ярмо статора 1, 3, 5, 7 участки, г - ярмо статора 2, 6 участки, д - ярмо статора 4, 8 участки)

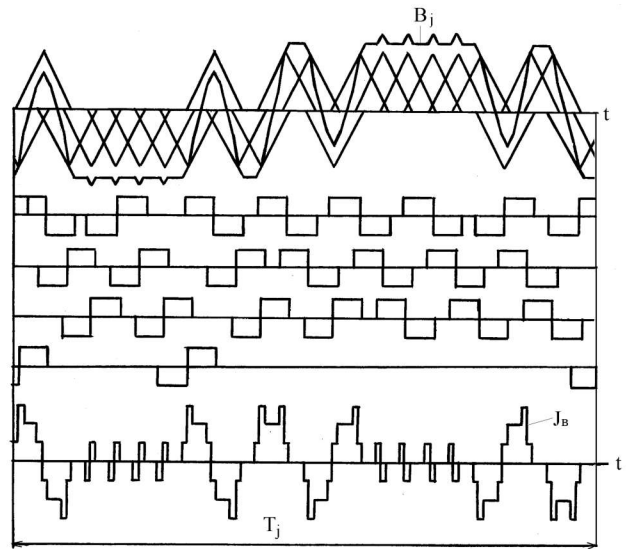


Рис. 2. Зависимости индукции и плотности вихревого тока от времени в ярме ротора (участок е)

Таблица 1

Участок	$B_m, Tл$	k_f	$P_{всп}, Вт$	$M, кг$	$P_{вп}, Вт$
а	1.83	0.776	2.25	40	90
б	1.516	0.896	2.064	40	91
в	1.08	1.342	2.36	40	94.4
г	1.08	1.791	4.22	20	84.4
д	1.08	0.633	0.528	20	10.56
е	1.04	1.761	3.78	21.7	82

Обозначения участков в таблице соответствует обозначениям на рисунках.

При расчете результирующих магнитных потерь можно учесть влияние технологических факторов коэффициентом $k_m=1.1-1.2$ и влияние потерь на гистерезис коэффициентом $k_z=1.1-1.2$.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Л.П. Галайко. Расчет магнитных потерь в вентильных индукторных двигателях.// Вестник ХГПУ. Новые решения в современных технологиях. -2000.-№84.-с.48-51.
 [2] Д.А. Бут, В.Н. Чернова. Линейные вентильно-индукторные двигатели. Часть 2 // Электричество. 2000. №1.
 [3] Г.Н.Петров. Электрические машины. Ч.1. М., "Энергия", 1974.

Поступила 20.02.03