

УДК 677.023: 62-83

**МИНИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ
В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ
МЕХАНИЗМА НАМОТКИ СНОВАЛЬНЫХ ВАЛОВ**

**MINIMIZATION OF POWER LOSS
IN THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE
OF THE WARPING SHAFTS FORMATION MECHANISM.**

В.Ф. ГЛАЗУНОВ, К.С. ШИШКОВ
V.F. GLAZUNOV, K.S. SHISHKOV

(Ивановский государственный энергетический университет)
(Ivanovo State Power University)
E-mail: ttp@igta.ru

В статье выполнена оптимизация потерь мощности в асинхронном электроприводе механизма формирования сновальных валов на основе коэффициента связи, характеризуемого отношением проекций вектора тока статора. Получены функциональные и графические зависимости данного коэффициента от параметров статорных обмоток асинхронного электродвигателя.

Optimization of power loss in the asynchronous electric drive of the warping shafts formation mechanism on the basis of the control interaction factor, characterized by the relation of the projections of a current stator vector, has been carried out. Functional and graphic dependences of this coefficient on the parameters of stator windings of asynchronous electric drive have been found.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, коэффициент связи, минимизация потерь мощности, сновальный вал.

Keywords: an asynchronous electric drive, a control interaction factor, minimization of power loss, a warping shaft.

Применение для механизма формирования сновальных валов в качестве альтернативы используемому в настоящее время тиристорному электроприводу по-

стоянного тока частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением координат [1], [2] позволяет существенно улучшить эксплуатаци-

онные и технические характеристики сновальной машины, а также оптимизировать потери мощности в процессе электромагнитного и электромеханического преобразования энергии.

Выполним анализ основных потерь в приводе на основе баланса мощностей, приняв в качестве критерия оптимизации коэффициент связи [3]: $\alpha = I_{sq}/I_{sd}$, где I_{sq}, I_{sd} – проекции вектора тока статора на оси ортогональной системы координат d, q .

Запишем выражение для суммарных потерь в системе электропривода [3], [4]:

$$\Delta P_{AЭП} = \Delta P_{и} + \Delta P_{д} + \Delta P_{м} + \Delta P_{с} + \Delta P_{r} + \Delta P_{с}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{и} = \frac{3k_{и}M}{2m} \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)$ – потери в инверторе; $\Delta P_{д} = R_{д} \frac{M}{m} \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)$ – добавочные потери в двигателе; $\Delta P_{м} = k_{мех} \omega_r^{3/2}$ – механические потери в двигателе; $\Delta P_{с} = \frac{\beta L_m^2 M}{m\alpha}$ – магнитные потери в стали; $\Delta P_r = \frac{3R_r M \alpha L_m^2}{2mL_r^2}$ – электрические потери в обмотке ротора; $\Delta P_{с} = \frac{3R_s M}{2m} \left(\alpha + \frac{1}{\alpha} \right)$ – электрические потери в обмотке статора, Вт.

Здесь $k_{и}$ – коэффициент аппроксимации, Ом; $k_{мех}$ – коэффициент, учитывающий зависимость механических потерь электродвигателя от угловой частоты вращения ротора; β – коэффициент, учитывающий зависимость потерь в стали от потока сцепления ротора; $m = (3p_n L_m^2) / (2L_r)$ – конструктивный коэффициент; p_n – число пар полюсов асинхронного электродвигателя; L_r, L_m – индуктивность цепи ротора и взаимная индуктивность, Гн; R_s, R_r – активные сопротивления обмоток статора и ротора, Ом; $R_{д}$ – сопротивление, характеризующее добавочные потери, Ом; ω_r – угловая частота вращения ротора, рад/с; M – электромагнитный момент, Н·м.

Потребляемую электроприводом из сети электрическую мощность определим из баланса мощностей:

$$P_{\Sigma} = P_{мех} + \Delta P_{AЭП} = \frac{M\omega_r}{i_p \eta_p} + \Delta P_{AЭП}, \quad (2)$$

где $P_{мех}$ – механическая мощность на валу, Вт; i_p, η_p – передаточное число и КПД редуктора.

После преобразования (1), (2) с учетом потерь в редукторе получим:

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{M\omega_r}{i_p} \left(\frac{1-\eta_p}{\eta_p} \right) + k_{мех} \omega_r^{3/2} + \frac{3M\alpha}{2m} \left[R_r \left(\frac{L_m}{L_r} \right)^2 + \left(1 + \frac{1}{\alpha^2} \right) \left(R_s + k_{и} + \frac{2}{3} R_{д} \right) + \frac{2\beta L_m^2}{3\alpha^2} \right]. \quad (3)$$

Определим оптимальное значение коэффициента связи, соответствующее

минимуму потерь, приняв $\frac{d\Delta P_{\Sigma}}{d\alpha} = 0$.

После взятия производной имеем:

$$\frac{d\Delta P_{\Sigma}}{d\alpha} = \frac{3M}{2m} \times \left[R_r \left(\frac{L_m}{L_r} \right)^2 + \left(R_s + k_{и} + \frac{2}{3} R_{д} \right) - \left(R_s + k_{и} + \frac{2}{3} R_{д} \right) \frac{1}{\alpha^2} - \frac{2\beta L_m^2}{3} \frac{1}{\alpha^2} \right]. \quad (4)$$

Тогда оптимальное значение коэффициента связи:

$$\alpha_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{k_{\text{и}} + R_{\text{с}} + \frac{2}{3}R_{\text{д}} + \frac{2}{3}\beta L_{\text{м}}^2}{k_{\text{и}} + R_{\text{с}} + \frac{2}{3}R_{\text{д}} + R_{\text{г}} \left(\frac{L_{\text{м}}}{L_{\text{г}}}\right)^2}}. \quad (5)$$

Добавочные потери в асинхронном электродвигателе, обусловленные наличием полей рассеяния и зубцовыми пульсациями, составляют в зависимости от частоты вращения поля не более 0,5 % от

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{M_{\text{н}} \omega_{\text{н}}}{i_{\text{п}}} \left(\frac{1 - \eta_{\text{п}}}{\eta_{\text{п}}} \right) + 1,055 \frac{3M_{\text{н}}}{2m} \alpha \left(\frac{R_{\text{г}} L_{\text{м}}^2}{L_{\text{г}}^2} + R_{\text{с}} \left(1 + \frac{1}{\alpha^2} \right) \right) = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{пер}}, \quad (6)$$

а оптимальное значение коэффициента связи:

$$\alpha_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{R_{\text{с}}}{R_{\text{с}} + R_{\text{г}} \left(\frac{L_{\text{м}}}{L_{\text{г}}} \right)^2}}. \quad (7)$$

Рассчитаем зависимость потерь от коэффициента связи в статическом режиме работы электропривода механизма намотки сновального вала с асинхронным электродвигателем типа 4А132S4У3 с параметрами: $P_{\text{н}}=7,5$ кВт; $U_{\text{н}}=220$ В; $I_{\text{н}}=15,1$ А; $M_{\text{н}} = 49$ Н·м; $2p = 4$; $\Omega_{\text{н}} = 153$ рад/с; $L_{\text{г}}=0,145$ Гн; $L_{\text{с}}=0,143$ Гн; $L_{\text{м}}=0,139$ Гн; $R_{\text{г}}=0,455$ Ом; $L_{\text{с}} = 0,143$ Гн; $R_{\text{с}} = 0,68$ Ом; $\eta_{\text{д}}=87,5\%$ и редуктора с параметрами: $i_{\text{п}} = 1,2$; $\eta_{\text{п}} = 0,95$.

Тогда в соответствии с (7) значение оптимального коэффициента связи $\alpha_{\text{опт}}=0,79$.

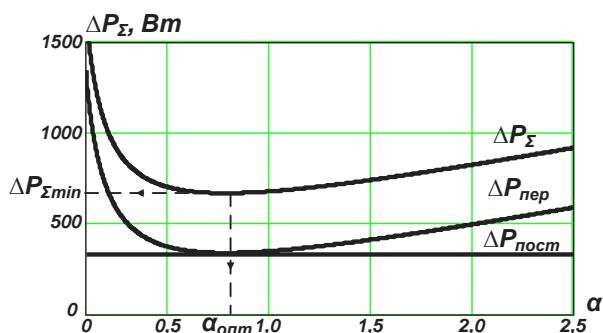


Рис. 1

суммарных потерь в двигателе, а механические потери, обусловленные трением в подшипниках и ротора о воздух, – не более 5 % [5]. Учитывая, что частота перемагничивания ротора достаточно мала в номинальном режиме работы привода, потерями в стали можно пренебречь. Также пренебрегаем потерями в автономном инверторе напряжения, принимая $k_{\text{и}} = 0$.

Тогда с учетом сделанных допущений (3) для номинального режима принимает вид:

На рис. 1 приведена рассчитанная для электродвигателя с вышеуказанными параметрами зависимость потерь мощности в приводе механизма формирования сновальных валов от коэффициента связи в номинальном режиме работы, на которой $\alpha_{\text{опт}}$ соответствует глобальному минимуму общих потерь в системе электропривода.

Анализ (7) показывает, что оптимальное значение коэффициента связи существенно зависит от параметров двигателя, в частности, от активного сопротивления обмотки ротора, изменение которого в функции нагрузки влияет на статическую ошибку по скорости. Активное сопротивление обмотки статора находится в наиболее выгодных условиях охлаждения, поэтому изменяется в меньших пределах по отношению к роторному сопротивлению при одинаковых режимах эксплуатации, но воздействует как на статические, так и на динамические характеристики. Взаимная индуктивность зависит от степени насыщения магнитной цепи, а ее влияние начинает проявляться лишь при глубоком насыщении магнитной системы электродвигателя.

Проанализируем влияние вариаций параметров асинхронного электродвигателя на величину коэффициента связи. Для этого представим коэффициент связи (7) в функции активного сопротивления обмотки ротора и индуктивности намагничива-

ния при постоянном активном сопротивлении обмотки статора:

$$\alpha_{\text{опт}}(R_r, L_m) = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{R_r}{R_s} \left(\frac{L_m}{L_r}\right)^2}} = \sqrt{\frac{1}{1 + R_r L_m^2 \chi_1}}, \quad (8)$$

где $\chi_1 = (1/R_s L_r^2)$.

Также построим зависимость коэффициента связи от активного сопротивления обмотки статора в соответствии с функцией

$$\alpha_{\text{опт}}(R_s) = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{\chi_2}{R_s}}}, \quad (9)$$

где $\chi_2 = R_r \left(\frac{L_m}{L_r}\right)^2$.

Трехмерная графическая зависимость $\alpha_{\text{опт}}(R_r, L_m)$, построенная с помощью Microsoft Excel, приведена на рис. 2, а зависимость $\alpha_{\text{опт}}(R_s)$ – на рис. 3.

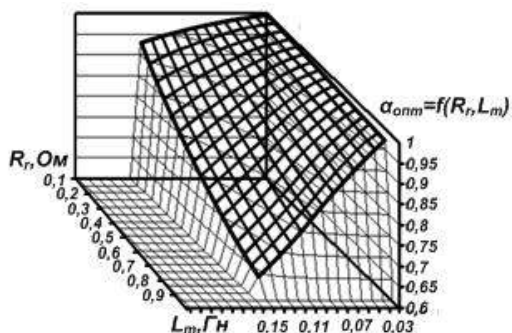


Рис. 2

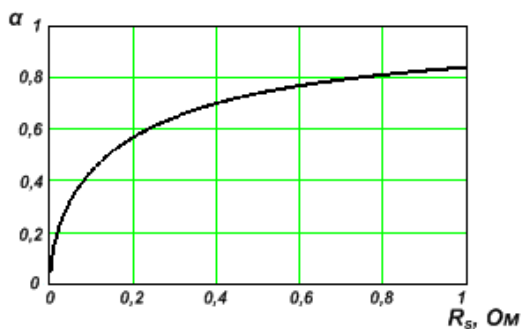


Рис. 3

Анализ представленных на рис. 2, 3 зависимостей показывает, что коэффициент связи возрастает при глубоком насыщении магнитной системы на 25 % и снижается на 12,5 % при увеличении сопротивления обмотки ротора на 50 % по отношению к его значению при номинальных параметрах. Увеличение активного сопротивления обмотки статора на 25 % приводит к возрастанию коэффициента связи более чем на 6,5 %.

Нестабильность параметров асинхронного электродвигателя подтверждает необходимость их идентификации в процессе работы для точной оценки оптимальной величины коэффициента связи. Учитывая, что в современных адаптивных векторно-управляемых асинхронных электроприводах идентификация параметров двигателя является составной частью привода [1], включение звена, формирующего оптимальный энергетический закон управления, на структуру системы не повлияет.

ВЫВОДЫ

1. Показана возможность использования коэффициента связи как отношения проекций вектора тока статора на оси ортогональной системы координат d и q асинхронного электропривода с векторной системой управления в качестве критерия оценки минимизации потерь мощности.

2. Установлено существенное влияние на коэффициент связи взаимной индуктивности обмоток статора и ротора при глубоком насыщении магнитной системы асинхронного электродвигателя, а также активного сопротивления его роторной обмотки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Виноградов А.Б.* Векторное управление электроприводами переменного тока. – Иваново: ИГЭУ, 2008.
2. *Шишков К.С., Глазунов В.Ф.* О совершенствовании электропривода механизма намотки сноуальных валов // Сб. мат. Междунар. научн.-техн. конф.: Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности ПОИСК-2011. – Ч. 2. – ИГТА, 2011. С. 65...67.

3. *Браславский И.Я., Ииматов З.Ш., Поляков В.Н.* Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студентов высших учебных заведений / Под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр “Академия”, 2004.

4. *Браславский И.Я., Ииматов З.Ш., Плотников Ю.В.* Энерго- и ресурсосберегающие технологии на основе регулируемых асинхронных электроприводов // *Электротехника*. – 2004, № 9. С.33...39.

5. *Бурковский А.Н., Снопик Л.Ф., Макеев В.В.* Определение полезной мощности взрывозащищенных обдуваемых асинхронных двигателей в перемежающихся режимах работы // *Электротехника*, 1977, №12.

Рекомендована кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок. Поступила 20.09.11.
