

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО КОЭФФИЦИЕНТА ИНЕРЦИИ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАСС ЗАКРЫТОГО АСИНХРОННОГО КОРОТКОЗАМКНУТОГО ДВИГАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ S7

Бурковский А.Н., Рыбалко О.А.

Донецкий национальный технический университет

The paper present the method define of permissible coefficient of inertia asynchronous motor with short-circuited rotor in regime with reverses. The examples of calculate and comparison with experiment, which confirm satisfied accuracy of method.

Постановка проблемы.

Асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором работают в ряде отраслей промышленности (металлургия, машиностроение, химия) в перемежающихся режимах S7. В металлообрабатывающих станках некоторые привода работают в режимах S7. Отличительной особенностью главного привода для высокоавтоматизированных станков с числовым программным управлением является необходимость применения реверсивного привода даже в тех случаях, когда по технологии не требуется реверс. Требование обеспечения эффективного торможения и подтормаживания при снижении частоты вращения и режимов поддержания постоянной скорости резания приводит к необходимости применения реверсивного привода с целью получения нужного качества переходных процессов.

Для электроприводов, работающих в режимах S7 (работа под нагрузкой – реверс и т.д.) обычно выбираются двигатели продолжительного режима S1. При работе АД с короткозамкнутым ротором с заданной мощностью на валу и определенным числом реверсов может возникнуть задача определения допустимой величины маховой массы, соединенной с ротором (или коэффициента инерции FJ).

В литературе этот вопрос не освещен.

Анализ публикаций и исследований.

При определении параметров АД в режимах S7 одной из главных является задача определения потерь энергии в обмотках в переходных режимах. В работе [1] изложен способ определения с достаточной точностью потерь энергии в обмотках АД при реверсе на основании анализа осциллограмм токов при пуске и реверсе. Установлено, что основная составляющая потерь энергии в обмотках нагруженного двигателя за время реверса практически равна удвоенной величине потерь энергии при пуске этого двигателя с этим же механизмом ($\Delta A_{рев} \approx 2 \cdot \Delta A_{пуск}$), а время реверса (в исследованных примерах) изменялось в пределах $(1,46 \div 1,66) \cdot t_{пуск}$; в среднем $t_{рев} \approx (1,5 \div 1,56) \cdot t_{пуск}$.

Цель статьи.

Разработать способ расчета допустимого коэффициента инерции (FJ) АД в режиме S7.

Результаты исследований.

Определим допустимый коэффициент инерции в режиме S7 исходя из метода эквивалентного тока.

В связи с тем, что за время работы в режиме S7 условия охлаждения АД практически не изменяются, можно записать:

$$I_n^2 \cdot t_u = I_{S7}^2 \cdot t_{раб} + I_{э.рев}^2 \cdot t_{рев}; \quad (1)$$

где I_n , I_{S7} , $I_{э.рев}$ – ток в обмотке статора соответственно в номинальном режиме S1, в режиме S7 под нагрузкой, во время реверса;

t_u , $t_{раб}$, $t_{рев}$ – продолжительности рабочего цикла, времени работы под нагрузкой и времени реверса.

Количество тепла, которое выделяется в роторе за пуск:

$$A_{рп} = J \cdot \omega^2 \cdot \int_{S_n}^1 \frac{M/M_n}{M/M_n - M_c/M_n} \cdot dS. \quad (2)$$

где J – момент инерции вращающихся масс;

ω – угловая частота вращения;

M_n , M – номинальное и текущее значения момента двигателя;

M_c – текущее значение момента сопротивления.

Для определения величины $\dot{A}_{\partial i}$ моменты двигателя и механизма (M_c) принимаются равными средним значениям на каждом принимаемом интервале скольжения ΔS . Это позволяет рассчитать величину $\dot{A}_{\partial i}$ заменой интеграла суммами. Вначале вычисляют коэффициенты $a = M/M_i$, $b = M_{\partial}/M_i$, $c = a - b$, $d = 1/c$, $e = a/c$, $f = e \cdot S$ при фиксированных значениях величины скольжения от 1 до S_i . Для двигателей мощностью более 200 кВт при $2\delta = 2, 4$ целесообразно выбирать $\Delta S = 0,1$. Тогда:

$$A_{\partial i} = J \cdot \omega_1^2 \cdot \frac{\sum_1^n f}{n \cdot K_n};$$

где n – число интервалов скольжения;

K_n – коэффициент пропорциональности.

Общее количество тепла, выделяющегося в двигателе за пуск:

$$A_{\text{пуск}\Sigma} = A_{\partial i} \cdot \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right); \quad (3)$$

где r_1, r_2 – сопротивления обмотки статора и приведенные обмотки ротора.

Обычно величины r_1 и r_2 близки по величине, отличаясь друг от друга на 5-15%.

Примем для упрощения, что $r_1 \approx r_2$; тогда:

$$A_{\text{пуск}\Sigma} \cong 2 \cdot A_{\partial i}. \quad (3.1)$$

Значит, количество энергии, выделившееся в обмотке статора за пуск примерно равно количеству энергии, выделившееся в роторе.

Далее, учитывая, что за реверс количество выделяемой энергии в каждой из обмоток равно удвоенному количеству энергии, выделяемой за пуск ($\Delta A_{\text{рев, обм. ст}} = 2 \cdot \Delta A_{\text{пуск, обм. ст}}$), можем записать (при условии, что обмотка статора соединена в звезду):

$$I_{\text{э, рев}}^2 \cdot t_{\text{рев}} = \frac{2 \cdot \Delta A_{\text{пуск, ст}}}{3 \cdot r_1}. \quad (4)$$

Подставим выражение (4) в (1) и определим из него допустимую величину потерь энергии в обмотке статора при реверсе:

$$[\Delta A_{\text{ст}}]_{\text{рев}} = \left[(I_{\text{н}}^2 - I_{\text{ст}}^2) \cdot (t_{\text{н}} - t_{\text{рев}}) + I_{\text{н}}^2 \cdot t_{\text{рев}} \right] \cdot 3 \cdot r_1. \quad (5)$$

Считаем, что нам известна величина потерь энергии в обмотке статора при реверсе при каком-либо заданном (известном) коэффициенте инерции $\Delta A_{\text{ст, рев}(FJ_i)}$. Тогда коэффициент изменения допустимой величины потерь энергии при реверсе в обмотке статора по сравнению с известной величиной при FJ_i :

$$[K_{FJ}] = \frac{[\Delta A_{\text{ст}}]_{\text{рев}}}{\Delta A_{\text{ст, рев}(FJ_i)}}; \quad (6)$$

и допустимый коэффициент инерции:

$$[FJ] = [K_{FJ}] \cdot FJ_i \quad (7)$$

Примеры расчетов.

Двигатель В100Л4 $P_{2H(S1)} = 4$ кВт; $I_{H(S1)} = 9,2$ А; $r_{1r} = 1,73$ Ом.

1) Режим S7-120 реВ/ч; $I_{S7} = 8,1$ А; $t_{\mu} = 3000/120 = 30$ с. Известна расчетная величина потерь энергии в обмотке статора при $FJ_i = 4,2$: $\Delta A_{cm,рев}(FJ_i=4,2) = 2073$ Вт с; $t_{рев}(FJ=4,2) = 1,56 \cdot t_{n(FJ=4,2)} = 1,56 \cdot 0,247 = 0,39$ с.

Допустимая величина потерь энергии за реверс в обмотке статора:

$$\begin{aligned} [\Delta A_{cm}]_{рев} &= \left[(I_H^2 - I_{S7}^2) \cdot (t_{\mu} - t_{рев}) + I_H^2 \cdot t_{рев} \right] \cdot 3 \cdot r_{1r} = \\ &= \left[(9,2^2 - 8,1^2) \cdot (30 - 0,39) + 9,2^2 \cdot 0,39 \right] \cdot 3 \cdot 1,73 = 3095,7 \text{ Вт с;} \end{aligned}$$

$$[K_{FJ}] = \frac{[\Delta A_{cm}]_{рев}}{\Delta A_{cm,рев}(FJ_i=4,2)} = \frac{3095,7}{2073} = 1,49;$$

$$[FJ] = [K_{FJ}] \cdot FJ_i = 1,49 \cdot 4,2 = 6,27; \text{ (опыт } FJ = 6,2).$$

Примечание. Учет уточненного $t_{рев}(FJ=6,2) = \frac{6,2}{4,2} \cdot 0,39 = 0,58$ с, дает величину $[\Delta A_{cm}]_{рев} = 3160$ Втс и

$[FJ] = 6,4$, что не дает дополнительного существенного уточнения $[FJ]$; следовательно, можно не учитывать изменение $t_{рев}$ с изменением $[\Delta A_{cm}]_{рев}$ по сравнению с известной величиной $\Delta A_{cm,рев}$.

2) Режим S7-120 реВ/ч; $I_{S7} = 7,2$ А.

$$[\Delta A_{cm}]_{рев} = \left[(9,2^2 - 7,2^2) \cdot (30 - 0,39) + 9,2^2 \cdot 0,39 \right] \cdot 3 \cdot 1,73 = 5212 \text{ Втс;}$$

$$[K_{FJ}] = \frac{5212}{2073} = 2,51;$$

$$[FJ] = 2,51 \cdot 4,2 = 10,55; \text{ (опыт } FJ = 10,2).$$

Вывод. Разработан метод определения допустимого коэффициента инерции закрытого АД с короткозамкнутым ротором в режиме S7 с удовлетворительной для практики точностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурковский А.Н., Кустовая Е.Ю., Рыбалко О.А. Методика определения допустимого тока статора асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в перемежающемся режиме с реверсами // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика", випуск 98: Донецьк: ДонНТУ, 2005. – С. 35-38.

Рекомендовано проф., д.т.н. Ковалевым Е.Б.