

КПД СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ТУРБОМЕХАНИЗМОВ

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) с векторным управлением в настоящее время находят широкое применение в машино- и станкостроении, робототехнике и транспорте. Данные двигатели обладают высокими энергетическими характеристиками, что совместно с использованием скалярного частотного управления (СЧУ), как более простое по сравнению с ВУ, создает предпосылки для применения СДПМ в других областях. Перспективным является применение СДПМ для такой группы промышленных механизмов как турбомеханизмы, к которой относятся, например, центробежные вентиляторы и насосы. Для турбомеханизмов характерна зависимость момента статического сопротивления от угловой скорости и на практике для большинства турбомеханизмов принимается квадратичная зависимость момента сопротивления от скорости. Поэтому представляет интерес исследовать энергетические показатели, в частности коэффициент полезного действия, в частотно-регулируемом СДПМ применяемого в электроприводе турбомеханизмов.

Потери мощности при исследовании коэффициента полезного действия частотно-регулируемого СДПМ рассматриваются для установившегося режима работы двигателя, когда $\omega = \omega_0 = \text{const}$.

В частотно-регулируемом СДПМ постоянные потери мощности состоят из потерь в стали статора $\Delta P_{\text{ст1}}$ и механических потерь $\Delta P_{\text{мх}}$ [1]:

$$\Delta P_{\text{пост.}} = \Delta P_{\text{ст.1}} + \Delta P_{\text{мх}} = \Delta P_{\text{ст.1,ном}} \left(\frac{f_1}{f_{1\text{ном}}} \right)^{1,5} + \Delta P_{\text{мх,ном}} \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{ном}}} \right)^2, \quad (1)$$

где f_1 , $f_{1\text{ном}}$ – текущее и номинальное значение частоты изменения питающего статор напряжения; $\Delta P_{\text{ст1,ном}}$ – номинальные потери в стали статора; ω , $\omega_{\text{ном}}$ – текущее и номинальное значение угловой скорости ротора; $\Delta P_{\text{мх,ном}}$ – номинальные механические потери.

Для установившегося режима работы СДПМ при СЧУ относительная частота α равна относительной угловой скорости ротора v . Тогда постоянные потери мощности можно записать в виде:

$$\Delta P_{\text{пост.}} = \Delta P_{\text{ст.1,ном}} \alpha^{1,5} + \Delta P_{\text{мх,ном}} \alpha^2 \approx \Delta P_{\text{пост.,ном}} \alpha^2. \quad (2)$$

Переменные потери частотно-регулируемого СДПМ включают потери в обмотке статора: $\Delta P_{\text{пер,1}} = 3I_1^2 R_1$, где I_1 – действующее значение тока фазы статора, имеющего активное сопротивление R_1 .

Ток статора i_1 СДПМ можно принять равным коэффициенту загрузки k_3 , т.е.:

$$i_1 = \frac{I_1}{I_{1\text{ном}}} \approx \frac{M}{M_{\text{ном}}} = \mu = k_3.$$

В тоже время для турбомеханизмов коэффициент загрузки является функцией относительной частоты: $k_3 = \alpha^2$

С учетом принятых допущении суммарные потери в частотно-регулируемом СДПМ записываем:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{пер},1} = \Delta P_{\text{пост,ном}} \alpha^2 + \Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}} \alpha^4 = \Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}} \alpha^2 \left(\frac{\Delta P_{\text{пост,ном}}}{\Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}}} + \alpha^2 \right). \quad (4)$$

Обозначим относительные постоянные потери мощности СДПМ:

$$p_0^* = \frac{\Delta P_{\text{пост,ном}}}{\Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}}}. \quad (5)$$

В результате получаем выражение потерь мощности в виде:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}} \alpha^2 (p_0^* + \alpha^2). \quad (6)$$

Общее выражение для КПД СДПМ при СЧУ для турбомеханизмов:

$$\eta_d = \frac{P}{P + \Delta P} = \frac{\alpha^3 P_{\text{ном}}}{\alpha^3 P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}} \alpha^2 (p_0^* + \alpha^2)} = \frac{\alpha P_{\text{ном}}}{\alpha P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}} (p_0^* + \alpha^2)}. \quad (7)$$

Разделив числитель и знаменатель на $\alpha P_{\text{ном}}$, получим выражение для КПД в виде:

$$\eta_d = \left[1 + \frac{\Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}}}{P_{\text{ном}}} \cdot \frac{p_0^* + \alpha^2}{\alpha} \right]^{-1}. \quad (8)$$

Обозначим $\Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}}^* = \frac{\Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}}}{P_{\text{ном}}}$, тогда:

$$\eta_d = \left[1 + \Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}}^* \frac{p_0^* + \alpha^2}{\alpha} \right]^{-1}. \quad (9)$$

При $\alpha = 1$ имеем номинальный КПД., т.е. $\eta_d = \eta_{\text{ном}}$. При этих условиях из (9) можно найти

$$\Delta P_{\text{пер},1,\text{ном}}^* = \frac{1}{p_0^* + 1} \left(\frac{1}{\eta_{\text{ном}}} - 1 \right)$$

и записать окончательное выражение для КПД СДПМ при СЧУ для турбомеханизмов:

$$\eta_d = \left[1 + \frac{1}{p_0^* + 1} \left(\frac{1}{\eta_{\text{ном}}} - 1 \right) \frac{p_0^* + \alpha^2}{\alpha} \right]^{-1}. \quad (10)$$

1. Фираго, Б. И. Энергетические показатели синхронного частотно-регулируемого электропривода / Б. И. Фираго, С. В. Александровский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 4. С. 287–298.