

ИЗНОС ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ПРИ СЛУЧАЙНОЙ НАГРУЗКЕ

Ю. М. БАШАГУРОВ, А. С. ГИТМАН, Э. К. СТРЕЛЬБИЦКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедры электрических машин и отделом
электрических машин НИИ АЭМ)

Важнейшим моментом при выборе асинхронного двигателя для определенного привода является его проверка по перегреву обмотки. Если нагрузка привода является случайной функцией времени, то расчет перегрева обмотки по методу средних потерь может привести к ошибочным результатам. Знание средних потерь не дает сведений о распределении температур, которые в некоторые промежутки времени могут превышать допустимую температуру для данного класса изоляции. Из-за экспоненциальной зависимости износа изоляции от температуры возникающая ошибка возрастает при увеличении размаха колебаний температуры. В этом случае проверка по методу средних потерь должна быть дополнена проверкой на износ изоляции за расчетный срок службы двигателя.

Для определения дополнительного износа используется задача о выбросах случайной функции за данный уровень, где исходными являются распределения амплитуды выбросов k , длительности выбросов на данном уровне и распределение пауз t_0 между выбросами.

Износ изоляции в течение времени t можно найти по формуле

$$V(t) = \frac{1}{C} \int_0^t e^{b\theta} dt, \quad (1)$$

где θ — температура обмотки; b и C — постоянные для данного класса изоляции.

Для кратковременных перегрузок двигателя можно пренебречь теплоотдачей. Зная перегрев обмотки двигателя в номинальном режиме $\Delta\theta_{\text{ном}}$ при номинальном токе $i_{\text{ном}}$, можно с удовлетворительной точностью получить перегрев для тока i

$$\Delta\theta = \left(\frac{i}{i_{\text{ном}}} \right)^2 \Delta\theta_{\text{ном}}. \quad (2)$$

В общем случае, когда время выброса соизмеримо с постоянной времени нагревания обмотки, необходим учет теплоотдачи. Обозначим через

$\kappa = \frac{i}{i_{\text{ном}}}$, через $\kappa_{\text{нач}}$ — отношение начального тока $i_{\text{нач}}$ к номинальному и через $\Theta_{\text{нач}}$ — начальную температуру. Тогда температура обмотки при нагревании с учетом температуры окружающей среды $\Theta_{\text{окр}}$

$$\Theta_{\text{нагр}} = \Theta_{\text{окр}} + \Delta\Theta_{\text{ном}} \kappa^2 - \Delta\Theta_{\text{ном}} (\kappa^2 - \kappa_{\text{нач}}^2) e^{-\frac{t}{T}}, \quad (3)$$

а температура обмотки при охлаждении в течение времени t

$$\Theta_{\text{охл}} = \Theta_{\text{окр}} + [\Delta\Theta_{\text{ном}} \kappa^2 - \Delta\Theta_{\text{ном}} (\kappa^2 - \kappa_{\text{нач}}^2) e^{-\frac{t_{\text{в}}}{T}}] e^{-\frac{t_0}{T}}, \quad (4)$$

где T — постоянная времени нагревания и охлаждения.

Дополнительный износ от действия выброса состоит из износа при нагревании и охлаждении

$$V(t) = V_{\text{нагр}} + V_{\text{охл}}. \quad (5)$$

Найдем слагаемые формулы (5). Износ изоляции при нагревании

$$\begin{aligned} V_{\text{нагр}} &= \frac{1}{C} \int_0^{t_{\text{в}}} e^{b\Theta_{\text{нагр}}} dt = \frac{1}{C} \int_0^{t_{\text{в}}} \exp b [\Theta_{\text{окр}} + \Delta\Theta_{\text{ном}} \kappa^2 + \\ &+ \Delta\Theta_{\text{ном}} (\kappa_{\text{нач}}^2 - \kappa^2) e^{-\frac{t}{T}}] dt = \frac{1}{C} \exp b (\Theta_{\text{окр}} + \Delta\Theta_{\text{ном}} \kappa^2) \times \\ &\times \int_0^{t_{\text{в}}} \exp [b\Delta\Theta_{\text{ном}} (\kappa_{\text{нач}}^2 - \kappa^2) e^{-\frac{t}{T}}] dt. \end{aligned} \quad (6)$$

Интеграл вида

$$\int_0^x e^{-ae^{-nt}} dt \quad (a > 0)$$

подстановкой $-ae^{-nt} = u$ преобразуется к выражению, в котором используются табличные интегралы интегральной показательной функции $E_i(-u)$

$$\int_0^t e^{-ae^{-nt}} dt = \frac{1}{n} [E_i(-a) - E_i(-ae^{-nt})],$$

тогда

$$\begin{aligned} V_{\text{нагр}} &= \frac{T}{C} \exp b (\Theta_{\text{окр}} + \Delta\Theta_{\text{ном}} \kappa^2) \times \{E_i [b\Delta\Theta_{\text{ном}} (\kappa_{\text{нач}}^2 - \kappa^2)] - \\ &- E_i [b\Delta\Theta_{\text{ном}} (\kappa_{\text{нач}}^2 - \kappa^2) e^{-\frac{t_{\text{в}}}{T}}]\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Износ изоляции при охлаждении

$$\begin{aligned} V_{\text{охл}} &= \frac{1}{C} \int_0^{t_0} e^{b\Theta_{\text{охл}}} dt = \frac{T}{C} e^{b\Theta_{\text{окр}}} \left\{ E_i [b\Delta\Theta_{\text{ном}} \kappa^2 + \right. \\ &+ b\Delta\Theta_{\text{ном}} (\kappa_{\text{нач}}^2 - \kappa^2) e^{-\frac{t_{\text{в}}}{T}}] - E_i [b\Delta\Theta_{\text{ном}} \kappa^2 e^{-\frac{t_0}{T}} + \\ &\left. + b\Delta\Theta_{\text{ном}} (\kappa_{\text{нач}}^2 - \kappa^2) e^{-\frac{(t_{\text{в}}+t_0)}{T}}] \right\}. \end{aligned} \quad (8)$$

По приведенным формулам был произведен расчет для определения дополнительного износа двигателей, установленных на универсальных токарных станках при следующих распределениях параметров выбросов:

$$f(\kappa) = \frac{1}{\beta - \alpha} = 1,37 \quad \text{при } 1,22 < \kappa < 1,95 \quad (9)$$

$$f(\kappa) = 0 \quad \text{при } \kappa < 1,22 \text{ и } \kappa > 1,95 \quad (10)$$

$$f(t_b) = 0,05 \exp(-0,05 t_b) \quad (11)$$

$$f(t_0) = 0,01 \exp(-0,01 t_0). \quad (12)$$

Дополнительный износ в этом случае составил величину около 3% от износа от средней температуры. При увеличении степени загрузки двигателя доля дополнительного износа возрастает.
