

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК АСИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ВЕЛИЧИНУ КРИТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ МОМЕНТА И АБСОЛЮТНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ

Стаття присвячена дослідженню впливу нагріву обмоток асинхронного двигуна на величину критичних значень моменту і абсолютного ковзання.

Статья посвящена исследованию влияния нагрева обмоток асинхронного двигателя на величину критических значений момента и абсолютного скольжения.

The article is devoted to study of influence of the heating of asynchronous engine coils on the size of critical values of moment and absolute sliding.

В системы управления тяговыми асинхронными двигателями, кроме датчиков тока и скорости вращения, вводится еще и датчик температуры. Это необходимо, т.к. температура влияет как на величину критического момента $M_{кр}$, так и на величину абсолютного критического скольжения $f_{2кр}$. А это изменяет жесткость характеристик и, следовательно, требует коррекции в управлении.

Покажем влияние температуры обмоток на примере расчета механических характеристик тягового двигателя АД 914 электровоза ДСЗ, используя известные параметры этого двигателя.

Поскольку Международная электротехническая комиссия (МЭК) рекомендует делать расчет потерь и характеристик тяговых асинхронных двигателей для температуры 150 °С, то приведем значения активных сопротивлений для этой температуры:

r_1 – активное сопротивление обмотки статора, $r_1 = 0,0344$ Ом;

r'_2 – приведенное активное сопротивление алюминиевой обмотки ротора, $r'_2 = 0,0308$ Ом.

При номинальной частоте $f_{1н} = 55,9$ Гц:

x_1 – индуктивное сопротивление обмотки статора, $x_1 = 0,23$ Ом;

x'_2 – индуктивное сопротивление обмотки ротора, $x'_2 = 0,21$ Ом.

Критический момент для асинхронного двигателя [1]:

$$M_{кр} = \frac{m_1 \cdot p}{2\pi \cdot f_1} \cdot \frac{U_{1ф}^2}{2 \cdot \left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2} \right]}, \quad (1)$$

где m_1 – число фаз статора, $m_1 = 3$; p – число пар полюсов, $p = 3$; f_1 – текущее значение частоты питающего напряжения, Гц; $U_{1ф}$ – текущее значение фазного напряжения, В.

Величина критического относительного скольжения:

$$s_{кр} = \frac{r'_2}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}}. \quad (2)$$

Абсолютное критическое скольжение:

$$f_{2кр} = f_1 \cdot s_{кр}. \quad (3)$$

Расчеты произведены для частот тока статора: $f_1 = 1$ Гц; 55,9 Гц; 146 Гц и температур $t = 20$; 60; 100; 150 °С, так как двигатель может работать при температурах охлаждающего воздуха от –40 °С до +40 °С.

Пересчет величин сопротивлений для принятых значений температуры производился по формуле [2]:

$$r_{гор} = r_{хол} \cdot \left[1 + \alpha_t \cdot (t_{гор}^\circ - t_{хол}^\circ) \right], \quad (4)$$

где $r_{хол}$ – сопротивление проводника в холодном состоянии (обычно принимается температура 20 °С); α_t – температурный коэффициент сопротивления, для алюминия $\alpha_t = 0,00426$, для меди $\alpha_t = 0,00433$; $t_{гор}, t_{хол}$ – известные, расчетные или принимаемые величины температур.

Примем в диапазоне изменения частот от f_{1min} до $f_{1н}$ величину $\frac{E}{f_1} = const$, а в диапазоне

от $f_{1н}$ до $f_{1м}$ $U_{1ф} = \text{const}$.

Известно, что при частотном регулировании по закону $\frac{E}{f_1} = \text{const}$ будет иметь место постоянный магнитный поток $\Phi = \text{const}$.

А при одинаковых значениях магнитного потока на разных частотах f_1 значения критических моментов также будут практически одинаковыми. Исходя из вышеизложенного, можно, используя формулу (1), решить обратную задачу – по известному критическому моменту найти для любой частоты f_1 необходимую величину напряжения $U_{1ф}$, что позволит рассчитать величину момента для соответствующих частот.

Задавая величину абсолютного скольжения f_2 , можно построить зависимость $M = \varphi(f_2)$, предварительно рассчитав абсолютное критическое скольжение $f_{2кр}$.

Характеристики, рассчитанные для температур 20 °С и 150 °С, изображены на рис. 1.

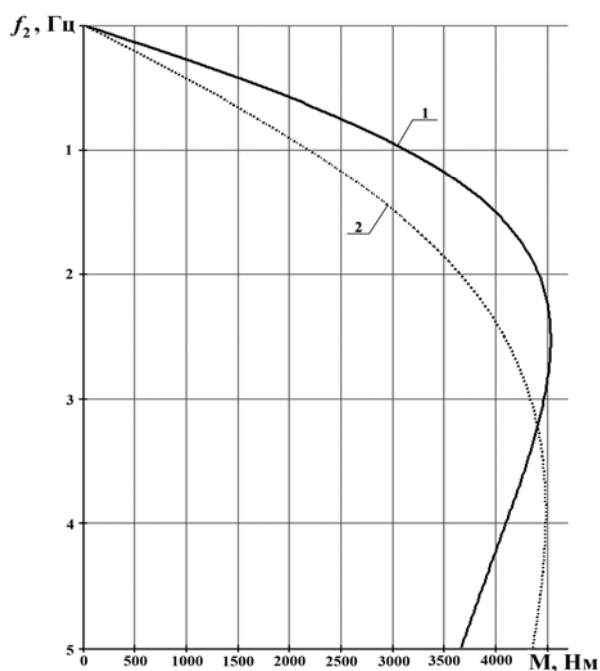


Рис. 1. Влияние температуры на зависимость $M = \varphi(f_2)$ при $f_1 = 146$ Гц:
1 – при $t = 20$ °С; 2 – при $t = 150$ °С

При нагревании обмоток двигателя увеличение r_2' приводит к существенному увеличению $s_{кр}$ и $f_{2кр}$. Т.к. при частоте 146 Гц $r_1 \ll (x_1 + x_2')$, то сопротивление статорной обмотки r_1 практически не влияет на величины $s_{кр}$ и $f_{2кр}$. Это приводит к значительному смягчению характеристики при той же частоте

f_1 (кривая 2).

На рис. 2 показан график зависимости $M = \varphi(f_2)$ для пусковой частоты $f_1 = 1$ Гц. В этом случае, как и при частоте $f_1 < 1$, величина $f_{2кр}$ практически неизменна, т.к. $r_1 \gg (x_1 + x_2')$, в то же время величина критического момента уменьшается существенно.

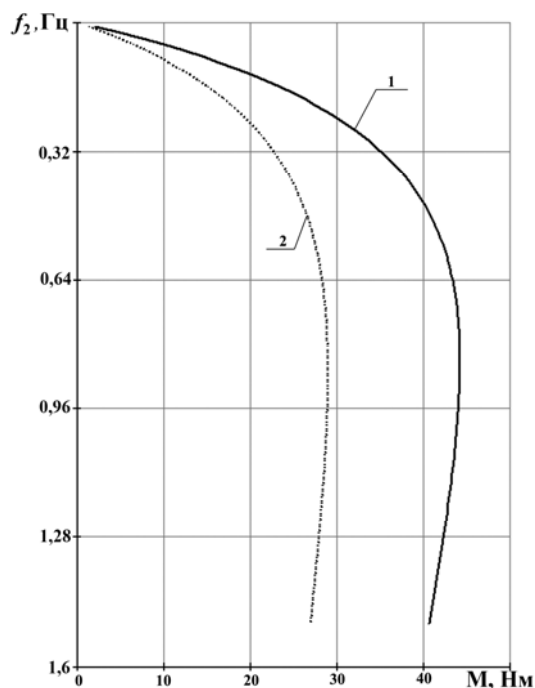


Рис. 2. Влияние температуры на зависимость $M = \varphi(f_2)$ при $f_1 = 1$ Гц:
1 – при $t = 20$ °С; 2 – при $t = 150$ °С

Далее были рассчитаны значения критических моментов $M_{кр}$ и абсолютных критических скольжений $f_{2кр}$ для ранее принятых величин частот f_1 и температур. По результатам расчета построены графики зависимости $M_{кр} = \varphi(t)$ и $f_{2кр} = \psi(t)$ (соответственно рис. 3 и 4).

Проанализировав график зависимости $M_{кр} = \varphi(t)$, можно сказать, что с увеличением температуры обмоток двигателя критический момент уменьшается, и тем значительно, чем ниже частота питающего напряжения f_1 .

Величина $f_{2кр}$ не зависит от величины питающего напряжения, а только от соотношения активных и индуктивных сопротивлений. Величина индуктивных сопротивлений не зависит от температуры, а активных – зависит существенно. Поэтому при увеличении температуры обмоток значение абсолютного критического

скольжения $f_{2кр}$ возрастает тем больше, чем выше температура и частота питающего напряжения f_1 (см. рис. 4).

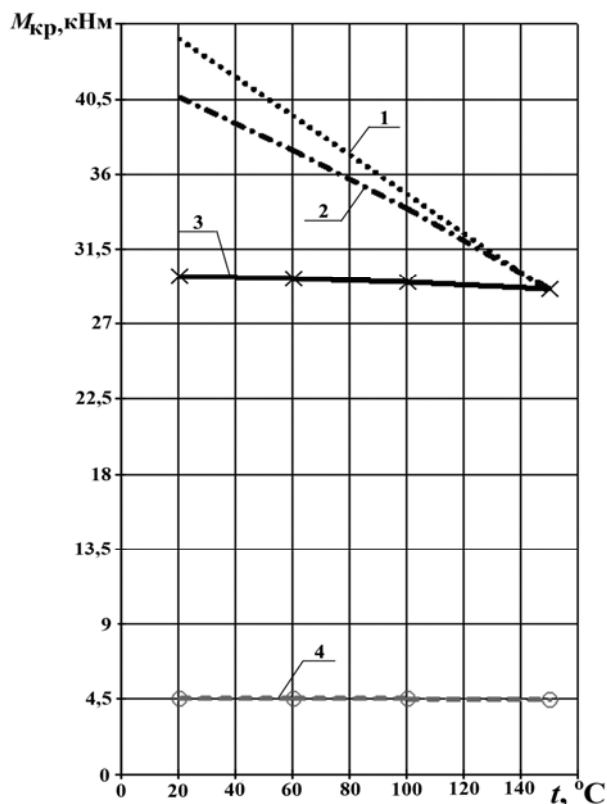


Рис. 3. Зависимость $M_{кр} = \varphi(t^\circ)$ при $f_1 = \text{var}$:

1 – при $f_1 = 1$ Гц; 2 – при $f_1 = 3$ Гц;

3 – при $f_1 = 55,9$ Гц; 4 – при $f_1 = 146$ Гц ($U_{1ф} = U_{1н}$)

Зависимости $f_{2кр} = \psi(t^\circ)$ (рис. 4) показывают, что при увеличении температуры обмоток значение абсолютного критического скольжения увеличивается, и тем значительнее, чем больше величина частоты питающего напряжения f_1 .

ВЫВОДЫ

1. Увеличение температуры обмоток двигателя от 20 °С до 150 °С приводит к уменьшению критического момента $M_{кр}$ и тем больше, чем ниже частота питающего напряжения. При самых низких пусковых частотах, например 1 Гц, критический момент для двигателя АД 914 снижается примерно на 30%. При 146 Гц – не более 3%.

2. Абсолютное критическое скольжение $f_{2кр}$ с повышением температуры возрастает, что приводит к существенному смягчению характеристик, за исключением самых низких пусковых частот, при которых изменения незначительные. При этих частотах характеристики сильно смягчаются из-за значительного уменьшения критического момента.

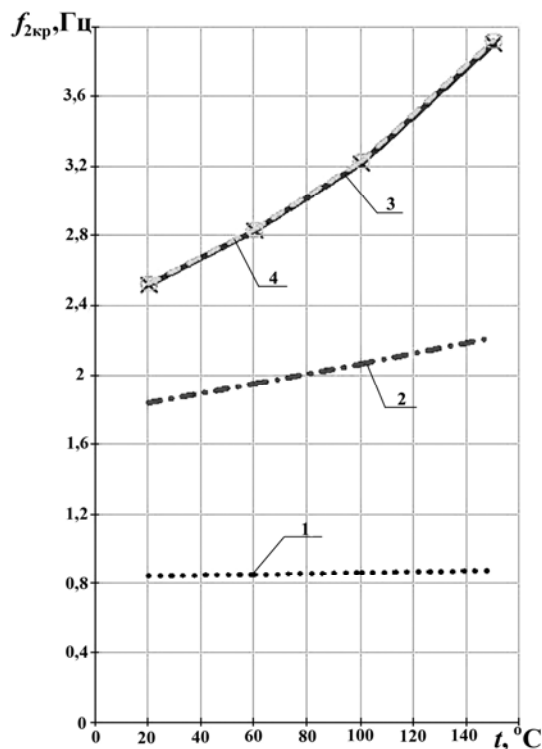


Рис. 4. Зависимость $f_{2кр} = \psi(t^\circ)$:

1 – при $f_1 = 1$ Гц; 2 – при $f_1 = 3$ Гц;

3 – при $f_1 = 55,9$ Гц; 4 – при $f_1 = 146$ Гц

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пиотровский, Л. М. Электрические машины: учебник для техн. [Текст] / Л. М. Пиотровский. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 504 с.
2. Ротанов, Н. А. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями [Текст] / Н. А. Ротанов. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.

Поступила в редколлегию 03.12.2008.