

К РАСЧЕТУ РЕЖИМА ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

к.т.н., с.н.с. Леонов А.П.
филиал «Протвино» университета «Дубна», г. Протвино

Предлагается методика расчета величины постоянного тока в обмотке статора, обеспечивающей остановку двигателя в течение заданного времени.

ABOUT DYNAMIC BRAKING REGIME CALCULATION OF THE THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR WITH A SHORT-CIRCUITED ROTOR

Leonov A.P.

The constant current value calculation is offered in stator winding ensuring motor stop within the preset time.

Динамическое торможение трехфазного асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым (кз) ротором, при котором потери энергии в двигателе примерно в три раза меньше, чем при торможении противовключением, находит достаточно широкое применение в электроприводах производственных механизмов [1, 2].

Исходные данные для расчета режима динамического торможения заданы в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные	Вид движения нагрузки	
	вращательное	поступательное
Время динамического торможения $t_{\text{дт}}$, [с]	+	+
КПД механической части привода η	+	+
Момент инерции ротора двигателя $J_{\text{дв}}$, [кгм ²]	+	+
Начальная угловая скорость нагрузки $\omega_{\text{уст}}$, [рад / с]	+	
Передаточное отношение редуктора i	+	
Момент сопротивления нагрузки M_c , [Нм]	+	
Момент инерции нагрузки J_n , [кгм ²]	+	
Начальная линейная скорость нагрузки $V_{\text{уст}}$, [м / с]		+
Передаточное отношение редуктора ρ , [м / рад]		+
Сила сопротивления (трения) F_c , [Н]		+
Масса нагрузки m_n , [кг]		+

По исходным данным определяются:

- приведенная начальная скорость нагрузки $\omega_{\text{нп}} = \omega_{\text{уст}} \cdot i$ или $\omega_{\text{нп}} = V_{\text{уст}} / \rho$;
- приведенный момент сопротивления $M_{\text{сн}} = M_c / i\eta$ или $M_{\text{сн}} = F_c \rho / \eta$;
- приведенный момент инерции $J_n = J_{\text{дв}} + J_n / i^2$ или $J_n = J_{\text{дв}} + m_n \rho^2$.

При динамическом торможении трехфазного АД с кз ротором обмотка статора отключается от сети трехфазного переменного напряжения U_c и подключается к источнику постоянного напряжения U_n (рис. 1а). В виду относительной простоты технической реализации наибольшее распространение получил несимметричный вариант, когда постоянное напряжение подключается к двум последовательно включенным фазам статора. Постоянный ток I_n , протекая по обмотке статора, создает неподвижное в пространстве магнитное поле, которое наводит ЭДС и ток в обмотке вращающегося ротора. Ток обмотки ротора создает свое магнитное поле,

взаимодействие которого с магнитным потоком статора приводит к появлению тормозного момента.

Расчет режима динамического торможения заключается в определении величины постоянного тока I_n , обеспечивающей заданное время торможения $t_{\text{дт}}$.

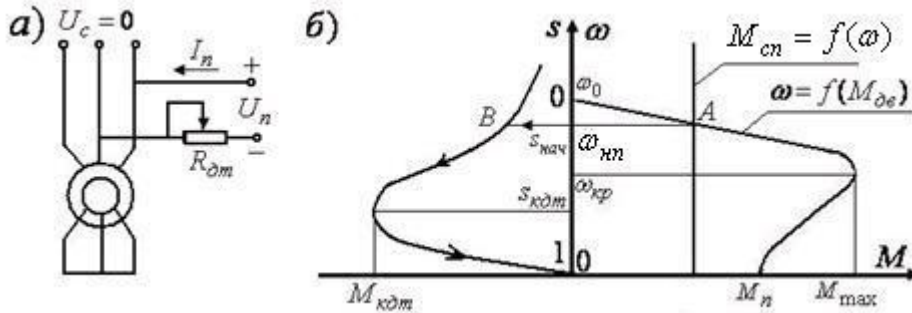


Рис. 1 Режим динамического торможения трехфазного АД с кз ротором;
а) схема включения двигателя; б) механические характеристики

Если точка А соответствует установившемуся режиму работы при моменте двигателя $M_{\text{дв}} = M_{\text{сн}}$ и при скорости $\omega = \omega_{\text{нп}}$ (рис. 1б), то при переходе к режиму динамического торможения рабочая точка из А перемещается в В и в процессе торможения скорость уменьшается по механической кривой динамического торможения от начальной $\omega_{\text{нач}} = \omega_{\text{нп}}$ до конечной $\omega_{\text{кон}} = 0$ под действием тормозного момента двигателя $M_{\text{дт}}$ и момента сопротивления $M_{\text{сн}}$. Механическая характеристика двигателя в режиме динамического торможения располагается во втором квадранте и величина критического момента $M_{\text{кдт}}$ определяется величиной тока I_n [1, 2].

При построении механических характеристик в режиме динамического торможения постоянный ток I_n заменяют переменным током $I_{1\text{экв}}$, который равнозначен ему по создаваемой магнитодвижущей силе. При соединении обмоток статора в звезду

$$I_{1\text{экв}} = I_n \cdot \sqrt{2/3} \approx 0.816 I_n \quad (1)$$

Предлагается следующая методика определения требуемой величины тока I_n . В литературе [3] получено выражение, позволяющее с достаточно высокой степенью точности определить значение $M_{\text{кдт}}$

$$M_{\text{кдт}} = \frac{2.53(I_{1\text{экв}}^*)^2}{1 + 0.505 I_{1\text{экв}}^*} \cdot \frac{U_{1\phi} I_0}{\omega_0} \quad (2)$$

где $U_{1\phi}$ - номинальное напряжение обмотки статора; I_0 - ток намагничивания (холостого хода) двигателя; ω_0 - скорость холостого хода двигателя;

$$I_{1\text{экв}}^* = I_{1\text{экв}} / I_0 \approx 0.816 I_n / I_0 \quad (3)$$

Из выражения (2) получаем квадратное уравнение относительно тока $I_{1\text{экв}}^*$

$$2.53 U_{1\phi} I_0 (I_{1\text{экв}}^*)^2 - 0.505 M_{\text{кдт}} \omega_0 I_{1\text{экв}}^* - M_{\text{кдт}} \omega_0 = 0 \quad (4)$$

Величина тока I_0 определяется по формуле

$$I_0 \approx I_{1\text{ном}} (\sin \varphi - \cos \varphi / 2 \lambda_m) \quad (5)$$

где $I_{1\text{ном}}$ - номинальная величина тока обмотки статора; λ_m - паспортная величина коэффициента механической перегрузки.

Для определения величины $M_{\kappa\partial m}$ введем понятие среднего момента двигателя при динамическом торможении $M_{\text{ср}\partial\partial}^{\partial m}$. Это постоянный в течение времени торможения момент, обеспечивающий то же время торможения, что и реальный момент двигателя

$$M_{\text{ср}\partial\partial}^{\partial m} = M_{\text{сн}} - J_n \omega_{\text{нн}} / t_{\partial m} \approx M_{\kappa\partial m} / 2 \quad (6)$$

Из выражения (6) определяем значение $M_{\kappa\partial m}$ и вставляем его в уравнение (4)

$$M_{\kappa\partial m} \approx 2M_{\text{ср}\partial\partial}^{\partial m} \approx 2 \cdot (M_{\text{сн}} - J_n \omega_{\text{нн}} / t_{\partial m})$$

Решив уравнение (4) определяем требуемое значение

$$I_{1\text{экв}}^* = \frac{0.505 M_{\kappa\partial m} \omega_o \pm \sqrt{(0.505 M_{\kappa\partial m} \omega_o)^2 + 10.12 U_{1\phi} I_0 M_{\kappa\partial m} \omega_o}}{5.06 M_{\kappa\partial m} \omega_o} \quad (7)$$

Из выражения (3) определяем требуемое значение постоянного тока, обеспечивающее заданную величину $M_{\kappa\partial m}$

$$I_n = I_{1\text{экв}}^* I_o / 0.816 \quad (8)$$

В реальной схеме (рис. 1а) величина постоянного тока I_n ограничивается только активным сопротивлением 2-х фаз обмотки статора ($2R_{1\phi}$) и сопротивлением настроечного резистора $R_{\partial m}$ и не должна превышать номинального значения тока в обмотке статора $I_{1\text{ном}}$.

Однако, поскольку у трехфазных АД с кз ротором начальные тормозные моменты малы для их увеличения (обеспечения заданного времени торможения) в обмотку статора подают постоянный ток, равный 4 – 5 – кратному значению тока холостого хода

$$I_n \leq (4 \div 5) I_0 \quad (9)$$

Если полученное значение I_n превышает $I_{1\text{ном}}$, то необходимо осуществить проверку двигателя на нагрев. Нагрев двигателя не будет превышать допустимой температуры при выполнении условия

$$M_{\text{экв}} \leq M_{\text{ном}} \quad (10)$$

где $M_{\text{экв}}$ – эквивалентный момент двигателя, определяемый за цикл работы и учитывающий долю времени динамического торможения в общем цикле работы двигателя; $M_{\text{ном}}$ – номинальный момент двигателя.

Заключение

Предлагаемая методика позволяет оценить возможность использования трехфазного АД с кз ротором в режиме динамического торможения при заданном времени $t_{\partial m}$ без экспериментального исследования, а именно:

1. Определить требуемую величину постоянного тока I_n (7, 8), обеспечивающую заданное время торможения $t_{\partial m}$.
2. Оценить полученное значение I_n с точки зрения допустимого нагрева двигателя (9, 10).
3. Если требуемая величин I_n не удовлетворяет условиям (9) или (10), то следует рассмотреть возможность торможения противовключением или выбрать другой двигатель данной серии ближайшей большей мощности.

Литература

1. Чиликин М.Г. Общий курс электропривода: Учебник для вузов / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.: ил.
2. Ильинский Н.Ф. Основы электропривода: Учеб. пособие для вузов / Н.Ф. Ильинский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 224 с.: ил.
3. Мейстель А.М. Электроприводы с полупроводниковым управлением. Динамическое торможение приводов с асинхронными двигателями : Под редакцией М.Г. Чиликина / А.М. Мейстель. – М.: Л.: Издательство «Энергия», 1967. – 136 с.: ил.