

Таблица 1.

Таблица нормального времени для регулировки
счетчика потерь

Потери в % от номинальной	Нагрузка А	N ₁ = 2000		N ₂ 2500	
		n, об.	T _{1НОМ}	n, об.	T _{2НОМ}
100	1	40	72	40	57,6
64	0,8	20	56,4	24	54
36	0,6	10	50	15	60
16	0,4	6	67,5	6	54
4	0,2	1	45	2	72
1	1	1	180	1	144

ровки при этом же токе. Это объясняется тем, что регулируя скорость вращения диска при нагрузках 0,1 – 0,2 А устройством для компенсации трения, несколько увеличиваем скорость вращения диска при нагрузке 0,4 А. Подрегулировка при нагрузке 0,4 А осуществляется устройством для регулировки обычных счетчиков при 10%-ной нагрузке. Погрешность счетчика потерь при всех нагрузках составляет $\pm 2,5\%$.

Л и т е р а т у р а

1. Илюкович А.М. Электрические счетчики. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 2. Горюнов П.Н., Пигин С.М., Шумиловский Н.Н. Электрические счетчики. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1951.

УДК 621.313.3

А.И. Лapidус, канд. техн. наук (БПИ)

СХЕМА ИНДУКЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКОГО ТОРМОЖЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ДАТЧИКОМ КОНТРОЛЯ СКОРОСТИ

Принцип индукционно-динамического торможения асинхронных двигателей может быть реализован различными схемными решениями [1, 2]. Однако большинство известных схем этого способа торможения обладает следующими недостатками.

1. Во время торможения из сети потребляется значительная составляющая постоянного тока, что отрицательно сказывается на работе всей сети.

2. Обычно в таких схемах контроль длительности торможения осуществляется в функции времени. Разброс выдержки времени у реле времени неизбежен, кроме того, из-за возможных колебаний напряжения сети, изменения момента сопротивления на валу двигателя и т. д., выдержка времени выбирается с некоторым запасом. Все это приводит к тому, что заторможенный двигатель некоторое время еще остается под током, что обуславливает его дополнительный нагрев и дополнительное потребление энергии из сети.

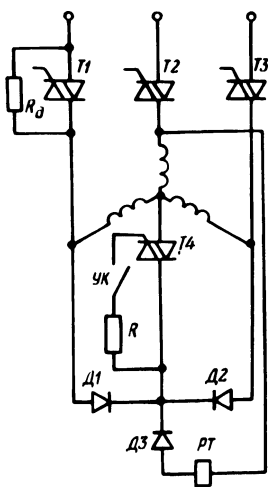


Рис. 1. Схема торможения.

Указанных недостатков лишена разработанная схема, которая представлена на рис.1. Здесь из сети потребляется только переменный ток, и контроль длительности торможения осуществляется в функции скорости. Схема работает следующим образом: С подачей команды на торможение отключаются симисторы Т1 и Т2, после чего включается ключ УК. В любой полупериод напряжения питающей сети через резистор $R_{д}$, симистор Т3 через вентиль Д1 или Д2, резистор R и ключ УК включается симистор Т4, образуя замкнутый контур из токового реле РТ, вентиля Д3 и фазной обмотки статора, подсоединенной к отключенному симистору Т2. Половину периода питающего напряжения ток из сети идет через резистор $R_{д}$, вентиль Д1,

симистор Т4, фазную обмотку статора и симистор Т3. Вторую половину периода питающего напряжения ток из сети идет через симистор Т3, вентиль Д2, симистор Т4, вторую фазную обмотку статора и резистор $R_{д}$.

Таким образом, каждая из двух обмоток статора, подключенных к сети, периодически шунтируется вентиляем. В ту часть периода, когда происходит шунтирование обмотки, через нее продолжает идти ток прежнего направления, обусловленный не только индуктивностью статора, но и электродвижущей силой, наведенной магнитным полем ротора. Следовательно, тормозной эффект достигается здесь в результате действия двух факторов:

короткого замыкания обмоток статора через вентиль и динамического торможения. Добавочное сопротивление R_d ограничивает ток и момент при торможении.

Анализ осциллограмм показал, что ток в фазе двигателя в процессе торможения изменяется незначительно, поэтому с целью упрощения расчет токов целесообразно проводить для заторможенного двигателя.

При определении тока фазы двигателя i_ϕ для проводящей части периода может быть составлено дифференциальное уравнение

$$\frac{X_k}{\omega} \cdot \frac{di_\phi}{dt} + (R_k + R_d) \cdot i_\phi = \sqrt{2} U \sin \omega t, \quad (1)$$

где $X_k = X_1 + X_2'$ и $R_k = R_1 + R_2'$ - соответственно индуктивное и активное сопротивление фазы двигателя в режиме короткого замыкания; X_1 и X_2' - индуктивное сопротивление рассеяния фазы статора и индуктивное приведенное сопротивление фазы ротора; R_1 и R_2' - активное сопротивление фазы статора и приведенное сопротивление фазы ротора; U - действующее значение линейного напряжения.

Для непроводящей части периода, когда происходит шунтирование вентилем обмотки статора, справедливо уравнение

$$\frac{X_k}{\omega} \cdot \frac{di_\phi}{dt} + R_k \cdot i_\phi = 0. \quad (2)$$

Решение уравнения (1) имеет вид

$$i_\phi = \frac{\sqrt{2} U}{\sqrt{(R_d + R_k)^2 + X_k^2}} \left[\sin(\omega t - \varphi) + C_1 \cdot e^{-\frac{R_d + R_k}{X_k} \omega t} \right] \quad (3)$$

где C_1 - постоянная интегрирования свободной составляющей тока;

$$\varphi = \arctg \frac{X_k}{R_d + R_k}.$$

Решение уравнения (2) может быть записано в виде

$$i_\phi = C_2 e^{-\frac{R_k}{X_k}(\omega t - \theta)}, \quad (4)$$

где C_2 - постоянная интегрирования; θ - расчетный угол, который соответствует моменту начала протекания тока в контуре, состоящем из фазной обмотки и вентиля.

Зависимость $\theta = f\left(\frac{X_k}{R_d + R_k}\right)$ вычисляется в соответствии с

рекомендациями, приведенными в [3]. Постоянные интегрирования C_1 и C_2 находятся путем совместного решения уравнений (3) и (4), исходя из условия, что ток в обмотке скачком измениться не может. И в моменты времени, соответствующие углам 0 и θ , ток в фазе одновременно описывается как уравнением (3), так и (4).

Постоянную составляющую фазного тока, которая обуславливает динамическое торможение двигателя, можно представить в виде

$$I_{\phi-} = I'_{\phi-} + I''_{\phi-} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\theta} i_{\phi} d\omega t + \frac{1}{2\pi} \int_{\theta}^{2\pi} i_{\phi} d\omega t, \quad (5)$$

где $I'_{\phi-}$ - составляющая тока фазы двигателя, протекающая в проводящую часть периода, определяется из уравнения (3); $I''_{\phi-}$ - составляющая тока фазы двигателя, протекающая в непроводящую часть периода, определяется из уравнения (4).

Магнитное поле вращающегося ротора наводит эдс вращения в короткозамкнутом контуре, образованном третьей фазной обмоткой статора и токовым реле РТ. Ток в этом контуре создает дополнительную составляющую тормозного момента, величина которого особенно велика в области высоких скоростей. Пик этого момента качественно можно оценить по приближенной формуле [4]

$$M_m = -2M_k V_o^2 \frac{\omega}{(1 - \sigma)(\alpha_r^2 + \omega^2)} \cdot (\alpha_r - \omega e^{-\frac{\pi\alpha_r}{2\omega_o}}), \quad (6)$$

где M_k - критический момент двигателя по статической характеристике; V_o - коэффициент, характеризующий степень уменьшения наведенной эдс в статорной обмотке затухающим магнитным потоком; σ - коэффициент рассеяния по Блонделю; α_r - коэффициент затухания роторной обмотки при замкнутой статорной; ω_o , ω - соответственно синхронное и текущее значение угловой скорости ротора.

Одним из существенных достоинств рассматриваемой схемы торможения является возможность использования короткозамкнутого контура с токовым реле РТ в качестве датчика контроля скорости. Токовое реле настраивается так, что при остановке двигателя оно дает сигнал на отключение всей схемы от сети. Тем самым обеспечивается высокая степень точности останова и исключается дополнительный нагрев двигателя, который имел бы место при контроле длительности торможения, например в функции времени.

На рис. 2 приведена осциллограмма изменения частоты вращения n , тока фазы i_ϕ , подключенной к сети, и тока в короткозамкнутом контуре i_k двигателя АОЛ2-21-4 ($P_H = 1,1$ кВт), снятая при добавочном сопротивлении в цепи статора $R_d = 12$ Ом. Из осциллограммы видно, что время торможения составило 0,09 с.

Для оценки времени торможения целесообразно действительный процесс торможения заменить эквивалентным, при котором снижение скорости до полной остановки производится как бы в два этапа. На первом этапе, в зоне высоких скоростей, действует момент короткого замыкания, а на втором этапе, в зоне средних и низких скоростей, действует момент динамического торможения. Усредненное значение продолжительности первого этапа торможения может быть получено по эмпирической формуле [5]

$$t_1 = 0,45 \frac{GD_p^2}{GD_{\text{прив}}^2} \cdot \sqrt{\frac{GD_p^2 \cdot n}{375(K_{\text{п}} + K_{\text{м}})M_H}}, \quad (7)$$

где GD_p^2 , $GD_{\text{прив}}^2$ - маховой момент соответственно ротора двигателя и привода; n - номинальная частота вращения; M_H - номинальный момент; $K_{\text{п}}$, $K_{\text{м}}$ - соответственно кратность пускового и максимального моментов по отношению к номинальному.

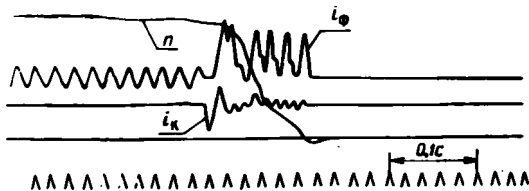


Рис. 2. Осциллограмма процесса торможения двигателя типа АОЛ2-21-4.

Продолжительность второго этапа торможения вычисляется по обычной для динамического торможения методике и может быть найдена как

$$t_2 = \frac{T_d \cdot s_{2m}}{2} \left(\frac{s_1^2 - s_2^2}{2s_{2m}^2} + \ln \frac{s_1}{s_2} \right), \quad (8)$$

где T_d - постоянная времени привода; s_{2m} - критическое скольжение; s_1 - скольжение, с которого начинается второй этап торможения; s_2 - можно принять равным 0,03.

Общее время торможения равно

$$t_{\tau} = t_1 + t_2. \quad (9)$$

Литература

1. Лapidус А.И. Индукционно-динамическое торможение асинхронных двигателей в станочных электроприводах. - В сб.: Электротехническая промышленность. Сер. "Электропривод", 1975, вып. 4, с. 26-28.
2. Лapidус А.И. Тиристорная схема торможения асинхронного двигателя. - В сб.: Научные и прикладные проблемы энергетики, 1979, вып. 6, с. 98-101.
3. Розенблат М.А. Магнитные усилители. - М., 1960, с. 538.
4. Соколов М.М. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. - М., 1967, с. 201.
5. Каплан Н.А., Лapidус А.И. Безвибрационное торможение асинхронных двигателей по несимметричным схемам с вентилями, - Электротехника, 1972, № 11, с. 19-23.

УДК 621.314.53

В.Л.Анхимюк, докт. техн. наук,
В.А.Новицкая, канд. техн. наук,
Е.П.Раткевич, инженер (БПИ)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИРИСТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В РЕЖИМЕ ПРЕРЫВИСТЫХ ТОКОВ

Одной из задач проектирования систем тиристорных электроприводов является прогнозирование динамических свойств заданной структуры объекта управления при различных режимах работы и значениях ее параметров.

В литературе недостаточно освещен вопрос динамических характеристик электроприводов в режиме прерывистых токов.

Наиболее полное решение поставленной задачи возможно при использовании в процессе исследования переходных режимов мгновенных значений фазовых координат объекта управления (ОУ), под которым будем понимать электродвигатель совместно с преобразователем. Динамическая модель ОУ представлена на рис. 1, где ФУ - фазосдвигающее устройство тиристорного преобразователя ТП; ДИС - ключ, имитирующий дискретность ТП, замыкающийся в контактные моменты времени и находящийся в разомкнутом состоянии в течение всего интервала дискретности,