

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ ДВУХДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ПОВОРОТНЫМ СТАТОРОМ

Е. Я. Иванченко, Е. К. Нечаев, Е. П. Штепа

Харьков

Применение электродинамического торможения обусловлено необходимостью сокращения времени замедления.

Электродинамическое торможение в асинхронном приводе нормального исполнения распространено достаточно широко и хорошо изучено. Использование же электродинамического торможения для двухдвигательного привода с поворотным статором не нашло отражения в специальной литературе, в связи с чем необходимо исследование этого вопроса.

В общем случае в приводе с поворотным статором электродинамическое торможение можно осуществить тремя различными схемами подачи постоянного тока в обмотки статора:

- 1) включением постоянного тока в статор двигателя нормального исполнения;
- 2) включением постоянного тока в двигатель с поворотным статором;
- 3) включением постоянного тока в статоры обоих двигателей (рис. 1).

Динамическое торможение путем подачи постоянного тока в обмотки поворотного статора, как показали лабораторные исследования, самостоятельного значения не имеет и практически ничем не отличается от первого случая. Теоретически тормозной момент зависит от скорости поворота статора в ту или иную сторону. Но так как скорость поворота статора незначительна по сравнению со скоростью вращения ротора и составляет примерно 1% от асинхронной скорости двигателя, то влияния поворота статора на величину тормозного момента и времени торможения можно не учитывать. Это подтверждает совмещенная осциллограмма, полученная наложением двух осциллограмм, снятых при повороте статора по направлению вращения ротора и против вращения (рис. 2, а).

Таким образом, первые два способа электродинамического торможения двухдвигательного привода с поворотным статором представляют собой общеизвестные случаи и в данной работе рассмотрению не подлежат.

Определенный научный интерес представляет изучение электродинамического торможения путем подачи постоянного тока в статоры обоих двигателей. В этом режиме оба асинхронных двигателя представляют

собой синхронные генераторы с неявно выраженными полюсами, работающие при переменной частоте.

Для вывода уравнения механической характеристики системы двухдвигательного привода в случае динамического торможения режимы синхронного генератора переменной частоты заменим эквива-

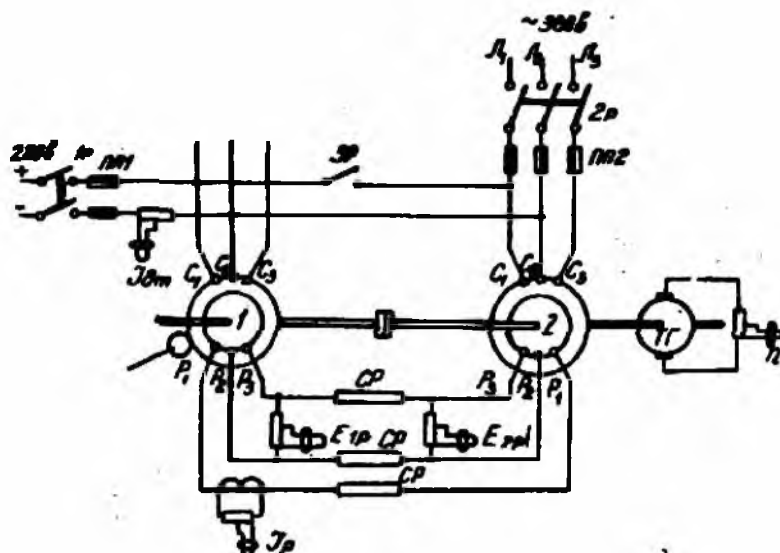


Рис. 1.

лентными им режимами работы асинхронных двигателей, полагая, что статоры последних вместо постоянного тока питаются эквивалентным по м. д. с. трехфазным током.

В связи с тем, что в приводе с поворотным статором используется два одинаковых асинхронных двигателя, при угле $\Theta = 0^\circ$ э. д. с. роторов обеих машин равны по величине и находятся в противофазе, при этом ток в цепи роторов не протекает.

Если же повернуть статор одной из машин на угол Θ , то соответственно на такой же угол сдвигаются и э. д. с. роторов. Как следствие сдвига в цепи роторов появится некоторая результирующая э. д. с., которая, в свою очередь, обусловит появление тока. Величины этой э. д. с. и тока можно определить по формулам

$$\Delta E_p' = 2 E_{1p}' \sin \frac{\Theta}{2},$$

$$I_{12p} = \frac{E_{1p}' \sin \frac{\Theta}{2}}{\sqrt{\left(\frac{r_2' + \frac{R_s'}{2}}{s}\right)^2 + (x_2')^2}}.$$

Последнее выражение можно записать так

$$I_{12p} = I_p' \sin \frac{\Theta}{2},$$

где I_p' — приведенный к статору ток ротора одного асинхронного двигателя.

Сдвиг фаз между э. д. с. $\Delta E'_p$ и током I_{12p} определяется, как и при обычных условиях работы асинхронного двигателя, по следующему уравнению:

$$\cos \varphi = \frac{r'_2 + \frac{R'_1}{2}}{\sqrt{\left(\frac{r'_2 + \frac{R'_1}{2}}{s}\right)^2 + (x'_2)^2}}.$$

Моменты, развиваемые каждым двигателем, определяем из следующих соотношений:

$$M_1 = \frac{3E'_{1p} I_{12p} \cos \varphi_1}{\omega_0};$$

$$M_2 = \frac{3E'_{1p} I_{12p} \cos \varphi_2}{\omega_0}.$$

Здесь

$$\varphi_1 = \varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2} \right);$$

$$\varphi_2 = \varphi + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2} \right)$$

или

$$\cos \varphi_1 = \cos \left[\varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2} \right) \right];$$

$$\cos \varphi_2 = \cos \left[\varphi + \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2} \right) \right].$$

После тригонометрических преобразований

$$\cos \varphi_1 = \cos \varphi \left(\sin \frac{\theta}{2} + \operatorname{tg} \varphi \cos \frac{\theta}{2} \right) = \cos \varphi \left(\sin \frac{\theta}{2} + \frac{x'_2 s}{r'_2 + \frac{R'_1}{2}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \right).$$

Аналогично

$$\cos \varphi_2 = \cos \varphi \left(\sin \frac{\theta}{2} - \frac{x'_2 s}{r'_2 + \frac{R'_1}{2}} \cos \frac{\theta}{2} \right).$$

Подставив значения $\cos \varphi_1$ и $\cos \varphi_2$ в выражения для моментов M_1 и M_2 , получим

$$M_1 = 3E_{1p} \frac{I_p}{\omega_0} \cdot \cos \varphi \sin \frac{\Theta}{2} \left(\sin \frac{\Theta}{2} + \frac{x_2 s}{r_2 + \frac{R_1}{2}} \cos \frac{\Theta}{2} \right)$$

но выражение $M_m = 3E_{1p} \frac{I_p}{\omega_0} \cos \varphi$ определяет тормозной момент, развиваемый в режиме динамического торможения одним асинхронным двигателем нормального исполнения.

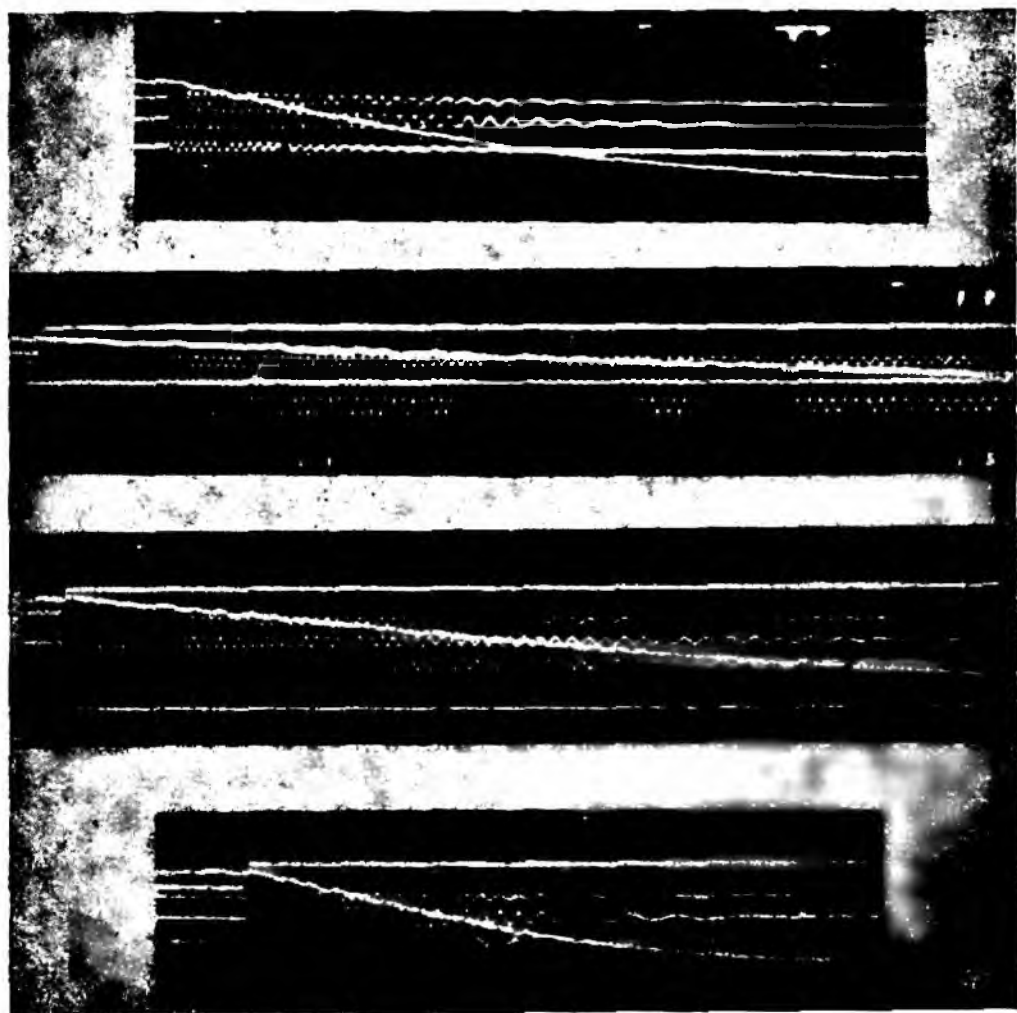


Рис. 2

Тогда после несложных тригонометрических преобразований можно записать

$$M_1 + M_m \left(\frac{1 - \cos \Theta}{2} + \frac{x_2 s}{r_2 + \frac{R_1}{2}} \frac{\sin \Theta}{2} \right);$$

$$M_2 = M_m \left(\frac{1 - \cos \Theta}{2} - \frac{x_2 s}{r_2 + \frac{R_1}{2}} \frac{\sin \Theta}{2} \right).$$

Оба двигателя механически связаны между собой, поэтому результирующий момент

$$M = M_1 + M_2 = M_m(1 - \cos \theta).$$

Анализируя это уравнение, видим, что результирующий тормозной момент двухдвигательного электропривода с поворотным статором можно регулировать поворотом статора. При $\theta = 0$ эл. град. момент равен нулю, а при $\theta = 180$ эл. град. он становится равным удвоенному значению тормозного момента одного асинхронного двигателя в режиме электродинамического торможения в нормальной схеме.

Эти результаты подтверждаются приведенными на рис. 2, б оциллограммами, полученными на лабораторном макете электропривода с поворотным статором. Для экспериментальных испытаний были приняты два одинаковых асинхронных двигателя типа МК—МАР 14 мощностью 5,3 кВт каждый. Поворот статора одного из двигателей обеспечивался с точностью до одного градуса геометрического.

Таким образом, при подаче постоянного тока в статоры обоих двигателей можно плавно регулировать величины тормозного момента, а, следовательно, и время торможения системы путем поворота статора одного из двигателей.