

О ПРИМЕНЕНИИ МНОГОФАЗНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

В некоторых отраслях промышленности (как например, в металлургии, на железнодорожном транспорте) мощности частотно - управляемых электроприводов составляют несколько сот и даже тысяч киловат. В этом случае определенную трудность представляет изготовление статического преобразователя частоты необходимой мощности, вызванную последовательно-параллельным включением силовых тиристоров.

При проектировании мощных асинхронных частотных электроприводов со статическими преобразователями частоты (СПЧ) целесообразно задачу решать комплексно, т.е. разрабатывать СПЧ и двигатель как единое целое. В этом случае имеет смысл проектирование многофазных СПЧ и двигателей так, чтобы каждая фаза двигателя получала питание от фазы СПЧ. Для более простого осуществления такой системы электропривода с использованием стандартных трехфазных преобразователей, выпуск которых в настоящее время налаживается промышленностью, необходимо выполнение условия

$$N = \frac{m}{3} = n, \quad (1)$$

где m — число фаз преобразователя и двигателя; $n = 1, 2, 3, \dots$; N — число трехфазных обмоток.

Рассмотрим некоторые особенности построения многофазных систем.

Для использования статоров стандартных трехфазных электродвигателей и облегчения выполнения многофазных обмоток необходимо, чтобы число пазов на полюс и фазу q_N обмотки, содержащей N трехфазных систем

$$q_N = \frac{Z}{2pm} = \frac{Z}{6pN} = \frac{q_3}{N}, \quad (2)$$

было равно целому числу. Здесь Z — число пазов; p — число пар полюсов; q_3 — число пазов на полюс и фазу трехфазной обмотки. Для m -фазной обмотки с фазной зоной $\frac{\pi}{m}$ угол γ между двумя соседними пазами равен

$$\gamma = \frac{\pi}{mq_N}. \quad (3)$$

Таблица 1. Коэффициенты распределения многофазных обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу

q_3	2	3	4	6	8	10	∞
$K_{p1(3)}$	0,966	0,960	0,958	0,957	0,956	0,955	0,955
q_6	1		2	3	4	5	
$K_{p1(6)}$	1		0,922	0,991	0,991	0,991	0,991
q_9		1		2			
$K_{p1(9)}$		1		0,998			0,996
q_{12}			1		2		
$K_{p1(12)}$			1		0,998		0,997
$K_{p1(6)}^*$	1,035		1,035	1,035	1,036	1,037	1,037
$K_{p1(9)}^*$		1,042		1,042			1,043
$K_{p1(12)}^*$			1,044		1,044		1,044

Тогда с учетом (3) получим выражение для коэффициента распределения для основной гармоники многофазной обмотки

$$K_{p1(m)} = \sin \frac{\pi}{2m} \left[q_N \sin \frac{\pi}{2mq_N} \right]^{-1} \quad (4)$$

Значение коэффициентов распределения многофазных обмоток для $m = 3, 6, 9, 12$ с целым числом на полюс и фазу даны в табл. 1. В последних трех строках табл. 1 приведены относительные коэффициенты распределения многофазных обмоток, так как отношения коэффициентов распределения многофазных обмоток ($N > > 1$) к трехфазной

$$K_{p1(6)}^* = \frac{K_{p1(6)}}{K_{p1(3)}} ; K_{p1(9)}^* = \frac{K_{p1(9)}}{K_{p1(3)}} ; K_{p1(12)}^* = \frac{K_{p1(12)}}{K_{p1(3)}} .$$

Значения относительных коэффициентов распределения показывают, что увеличение числа фаз приводит к улучшению использования машины по меди (на 3,5—4,4%) по сравнению с трехфазной машиной. Таким образом, применение многофазных ($m > 3$) двигателей целесообразно не только с точки зрения облегчения построения силовых тиристорных цепей преобразователей, но также и с точки зрения улучшения использования двигателя по мощности.

Обобщающий вектор напряжения m -фазной машины, отображающий действие всех a, b, c, \dots, m фаз, можно записать в виде

$$\bar{u}_s = \frac{2}{m} (U_a + dU_b + d^2U_c + \dots + d^{m-1}U_m), \quad (5)$$

где $d = \exp(j \frac{2\pi}{m})$ — оператор поворота, связанный с оператором поворота трехфазной машины соотношением

$$a = d \frac{m}{3} = d^N. \quad (6)$$

При соблюдении условия (1) выражение (5) можно переписать в виде

$$\begin{aligned} \bar{u}_s = \frac{2}{m} [& U_a^{(1)} + dU_a^{(2)} + d^{(2)}U_a^{(3)} + \dots + d^{N-1}U_a^{(N)} + \\ & d^N U_b^{(1)} + d^{N+1}U_b^{(2)} + d^{N+2}U_b^{(3)} + \dots + d^{2N-1}U_b^{(N)} + \\ & + d^{2N} U_c^{(1)} + d^{2N+1}U_c^{(2)} + d^{2N+2}U_c^{(3)} + \dots + d^{3N-1}U_c^{(N)}], \quad (7) \end{aligned}$$

где $U_a^{(N)}, U_b^{(N)}, U_c^{(N)}$ — фазные напряжения N -й трехфазной системы.

Группируя члены в (7), принадлежащие одной и той же трехфазной системе, можно получить

$$\bar{u}_s = \frac{1}{N} [\bar{u}_s^{(1)} + d\bar{u}_s^{(2)} + \dots + d^{N-1}\bar{u}_s^{(N)}], \quad (8)'$$

где $\bar{u}_s^{(1)}, \bar{u}_s^{(2)}, \dots, \bar{u}_s^{(N)}$ — обобщающие векторы напряжения

отдельных трехфазных систем. Распространяя подобное правило для получения обобщающего вектора МДС, находим [1]

$$\bar{F} = \frac{1}{N} \left[\bar{F}^{(1)} + d\bar{F}^{(2)} + \dots + d^{N-1} \bar{F}^{(N)} \right], \quad (9)$$

где $\bar{F}^{(1)}, \bar{F}^{(2)}, \dots, \bar{F}^{(N)}$ — обобщающие векторы МДС отдельных трехфазных систем.

Обобщающий вектор напряжения шестифазного двигателя ($m=6$) на основании (8) записываем так:

$$\bar{u}_S = \frac{1}{2} \left[\bar{u}_S^{(1)} + d\bar{u}_S^{(2)} \right], \quad (10)$$

где $d = \exp \left(j \frac{\pi}{3} \right)$.

Для такого двигателя целесообразен сдвиг трехфазных обмоток на 30 эл. град. при сдвиге питающих напряжений на тот же угол [2]. В таком режиме обеспечивается подавление влияния 5-, 7-й и кратных им гармоник на электромагнитный момент двигателя.

Все это справедливо в отношении систем частотного электропривода как с автономными инверторами, так и с непосредственными преобразователями частоты. В последнем случае сдвиг в 30 эл. град. между системами питающих напряжений групп вентильных мостов позволяет снизить содержание высших гармоник в кривой первичного тока [3] за счет исключения 5-й и 7-й гармоник, содержащихся в токе преобразователя при питании по обычной мостовой схеме.

Таким образом, такие схемы обладают улучшенными характеристиками в отношении влияния на питающую сеть, хотя и требуют применения либо нескольких отдельных, либо специальных многообмоточных питающих трансформаторов.

Л и т е р а т у р а

1. Петренко Ю.Н. Разработка и исследование частотного электропривода с асинхронным двигателем при питании от инвертора напряжения. Дис. Минск, 1971. 2. Ильин О.П., Шейна Г.П., Петренко Ю.Н. Об улучшении режима работы тиристорного частотного электропривода. — "Изв. вузов. Энергетика", 1971, № 4. 3. Слежановский О.В. и др. Современное состояние и перспективы развития электроприводов переменного тока с преобразователями частоты с непосредственной связью. — "Электричество", 1973, № 11.