

Линеаризация момента

при управлении двухфазным ДБМ-электродвигателем

Авторами описан метод увеличения срока службы механических частей, входящих в состав систем, приводящихся в движение двухфазными вентильными электродвигателями. Рассматривается проблема неравномерного момента двухфазного вентильного электродвигателя серии ДБМ (двигатель бесконтактный моментный) от угла поворота вала. Предложен метод линеаризации момента двухфазного вентильного электродвигателя серии ДБМ.

Михаил Воробьев

mixache@list.ru

Константин Лялин

kslyalin@gmail.com

Дмитрий Суворов

sur0vy@yandex.ru

Алексей Переверзев

apereverzev@gmail.com

Введение

Двухфазные электродвигатели серии ДБМ с постоянными магнитами на роторе находят широкое применение в отраслях промышленности, где требуются большие скорости вращения — свыше 10 000 об/мин [1, 2]. Их несомненным достоинством является высокий срок службы благодаря отсутствию подвижного электрического контакта. Также оправданно применение низкоскоростных бесколлекторных двигателей (с большим числом полюсов) в сборках из двигателя с редуктором. В то же время для их применения необходим контроллер управления питанием, алгоритм формирования которого и способ его модернизации описаны далее.

Общая схема управления

Каждую обмотку двухфазного электродвигателя можно подключить при помощи полного H-моста. Меняя скважность ШИМ (широтно-импульсной модуляции), можно регулировать магнитное поле от каждой фазы. Момент на электродвигателе M_0 будет пропорционален току I_d , протекающему через обмотку [3]:

$$M_0 \sim I_d, \quad (1)$$

Рассмотрим момент, развиваемый электродвигателем в зависимости от приложенного тока к одной из фаз и угла поворота вала электродвигателя.

Предположим, число пар полюсов (редукция) электродвигателя равно 8, это означает, что период одного оборота электрического угла будет 8 раз повторяться за один период физического оборота вала электродвигателя. В этом случае количество точек устойчивого и неустойчивого положения вала электродвигателя за один оборот будет равно 8, как показано на рис. 1а.

Момент на валу электродвигателя при подаче питания прямой полярности на фазу один (Φ_1) в зависимости от угла поворота вала электродвигателя меняется по закону \sin , при этом пересечение графика \sin с осью X образуют точки устойчивого и неустойчивого положения. В этих точках момент, развиваемый электродвигателем, равен нулю.

Точка устойчивого положения — это угол β , в который вал электродвигателя возвращается при его отклонении при подаче напряжения питания на одну из фаз. Точка неустойчивого положения — это угол β , из которого вал электродвигателя проворачивается при его отклонении при подаче напряжения питания на одну из фаз. При этом момент, развиваемый на валу электродвигателя от Φ_1 , запитанной прямой полярностью, будет иметь следующий вид:

$$M_{\Phi_1} = M \times \sin\beta, \quad (2)$$

где M — момент на валу электродвигателя, обусловленный током в Φ_1 .

Подача напряжения питания обратной полярности на эту же фазу электродвигателя приведет к смене местами точек устойчивого и неустойчивого положения, как показано на рис. 1б.

При этом момент, развиваемый на валу электродвигателя от Φ_1 , запитанной обратной полярностью, будет иметь следующее выражение:

$$M_{\Phi_1} = -M \times \sin\beta, \quad (3)$$

где M — момент на валу электродвигателя, обусловленный током в Φ_1 .

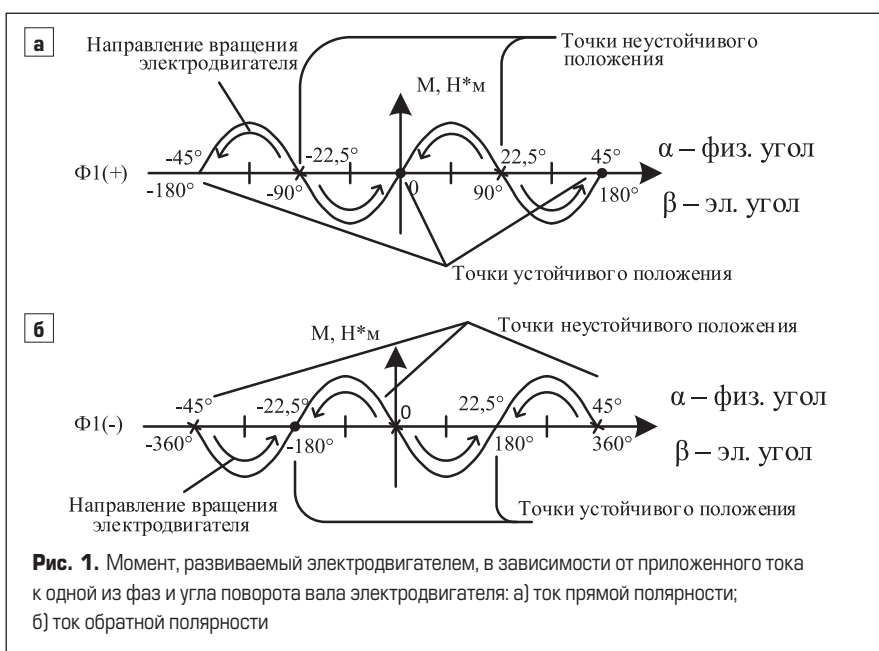


Рис. 1. Момент, развиваемый электродвигателем, в зависимости от приложенного тока к одной из фаз и угла поворота вала электродвигателя: а) ток прямой полярности; б) ток обратной полярности

Вторая фаза электродвигателя (Φ_2) по отношению к первой расположена на статоре под углом 90° . Соответственно, подача напряжения прямой и обратной полярности на вторую фазу электродвигателя приведет к появлению еще 8 точек устойчивого и неустойчивого положения, но смещенных на 90° эл. относительно точек устойчивого и неустойчивого положения от первой фазы. Соответственно, при подаче напряжения распределение момента на валу будет меняться по закону \cos (4) и $-\cos$ (5) в зависимости от полярности:

$$M_{\Phi_2} = M \times \cos\beta, \quad (4)$$

$$M_{\Phi_2} = -M \times \cos\beta, \quad (5)$$

где M — момент на валу электродвигателя, обусловленный током в Φ_2 .

Таким образом, для вращения вала электродвигателя необходимо коммутировать фазы электродвигателя в зависимости от угла поворота вала (табл.).

На рис. 2 представлено распределение момента при коммутации фаз электродвигателя, представленной в таблице.

Суммарный момент, развиваемый электродвигателем от Φ_1 и Φ_2 в любой момент времени и в любом угловом положении, будет равен:

$$M_{\Sigma} = M_{\Phi_1} + M_{\Phi_2}. \quad (6)$$

Подставляя в это выражение (2) и (4), получим:

$$M_{\Sigma} = M \times \sin\beta + M \times \cos\beta = M \times (\sin\beta + \cos\beta), \quad (7)$$

где M — момент на валу электродвигателя, обусловленный токами в фазе один и два.

Из выражения (7) видно, что момент на валу электродвигателя будет не равномерным, а промодулированным суммой синуса и косинуса электрического угла поворота вала электродвигателя (β). Эту неравномерность вносит сам электродвигатель. Неравномерность момента на валу электродвигателя будет приводить к отрицательным последствиям, таким как различного рода биения на валу, что отрицательно скажется на элементах крепления и подшипниках механизма, в котором работает электродвигатель.

Метод линеаризации момента

Для сглаживания момента и, как следствие, продления срока службы механических составляющих системы предложен следующий метод.

Зная физический угол поворота вала электродвигателя, можно вычислить электрический угол поворота вала электродвигателя.

Исходя из выражения (1) момент на валу электродвигателя пропорционален току в фазе. Ток в фазе задается при помощи ШИМ при работе полного H-моста. Таким образом, зная электрический угол, можно промодулировать ток в фазе электродвигателя по закону \sin или \cos от электрического угла вала электродвигателя. Тогда момент M на валу электродвигателя, обусловленный токами в Φ_1 и Φ_2 , будет иметь следующий вид:

$$M = M_0 \times \sin\beta, \quad (8)$$

$$M = M_0 \times \cos\beta, \quad (9)$$

где M_0 — амплитуда момента, развиваемого на валу электродвигателя.

Подставляя выражения (8) и (9) в выражения (2) и (4), получим соответственно:

$$M_{\Phi_1} = M_0 \times \sin\beta \times \sin\beta = M_0 \times \sin^2\beta, \quad (10)$$

$$M_{\Phi_2} = M_0 \times \cos\beta \times \cos\beta = M_0 \times \cos^2\beta. \quad (11)$$

Используя выражение (6), получим следующий суммарный момент на валу электродвигателя:

$$M_{\Sigma} = M_{\Phi_1} + M_{\Phi_2} = M_0 \times (\sin^2\beta + \cos^2\beta) = M_0. \quad (12)$$

Таблица. Коммутация фаз электродвигателя в зависимости от угла поворота вала

Диапазон углов $\beta, ^\circ$	-45	-33,75	-22,5	-11,25	0	11,25	22,5	33,75	45
	-33,75	-22,5	-11,25	0	11,25	22,5	33,75	45	
Коммутируемые фазы	$\Phi_1(+)$	$\Phi_1(+)$	$\Phi_1(-)$	$\Phi_1(-)$	$\Phi_1(+)$	$\Phi_1(+)$	$\Phi_1(-)$	$\Phi_1(-)$	
	$\Phi_2(+)$	$\Phi_2(-)$	$\Phi_1(-)$	$\Phi_2(+)$	$\Phi_2(+)$	$\Phi_2(-)$	$\Phi_2(-)$	$\Phi_2(+)$	

Из выражения (12) видно, что суммарный момент M_{Σ} на валу электродвигателя будет пропорционален M_0 — амплитуде момента, развиваемого на валу электродвигателя, и не зависит от синуса и косинуса электрического угла поворота вала электродвигателя β . Таким образом, негативные биения на валу электродвигателя будут исключены.

Отрицательной стороной такого метода управления является невозможность получить максимальный момент на валу, поэтому для получения необходимого момента следует при проектировании системы закладывать электродвигатель с определенным запасом по мощности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-11-2019-061 от 26.11.2019 г. с АО «Автоэлектроника» по комплексному проекту «Разработка и освоение серийного производства универсальной модульной платформы управления приводами, различными типами электрических двигателей, подвижными узлами и механизмами», при участии ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» в части выполнения НИОКТР

Литература

1. Krishnan R., Oh S.-G. Two Phase SRM With Flux Reversal Free Stator: Concept, Analysis, Design, and Experimental Verification // IEEE Transactions on Industry Applications. 2007. Vol. 43. Iss. 5.
2. Захаров А. Перспективы внедрения вентильно-индукторного электропривода // Конструктор. Машиностроитель. 2008. № 5.
3. Ключев В. И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1998.

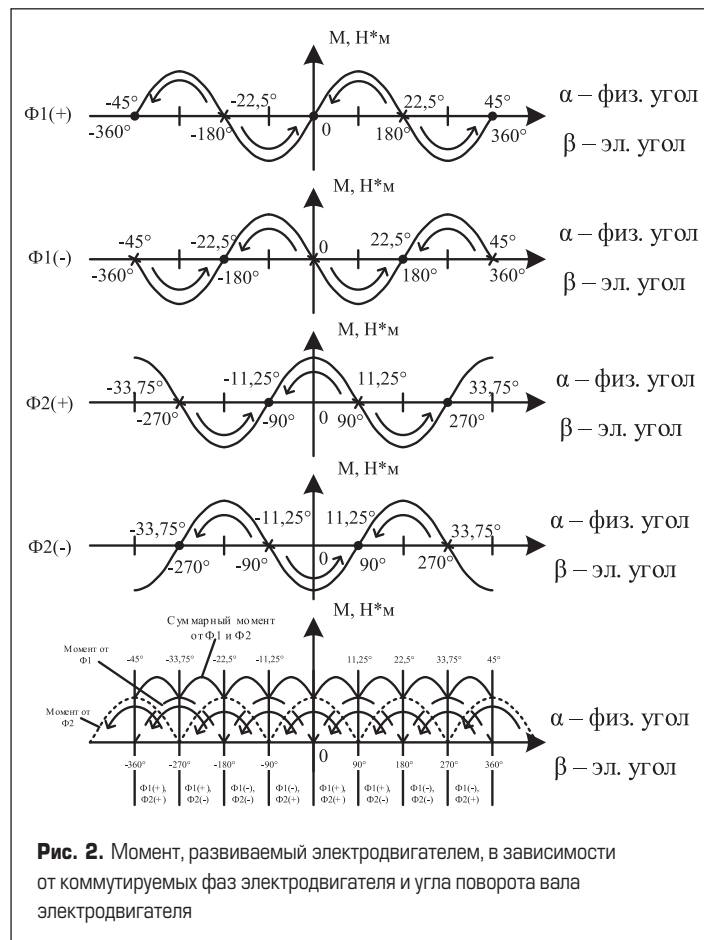


Рис. 2. Момент, развиваемый электродвигателем, в зависимости от коммутируемых фаз электродвигателя и угла поворота вала электродвигателя