

# Разработка алгоритма векторного управления напряжением статора бесконтактного моментного двигателя Яговкин А. С.

*Яговкин Александр Сергеевич / Jagovkin Aleksandr Sergeevich – студент, магистрант,  
кафедра систем автоматического управления и контроля,  
факультет интеллектуальных технических систем,*

*Национальный исследовательский университет, Московский институт электронной техники, г. Зеленоград*

**Аннотация:** в статье рассматривается алгоритм векторного управления двухфазным бесконтактным моментным двигателем, позволяющий увеличить момент двигателя при ограниченной величине напряжения на его обмотках без сильного снижения КПД. Алгоритм был проверен в ППП Matlab Simulink на модели двухфазного бесконтактного моментного двигателя ДБМ120–1,6–0,75–2. Данный алгоритм позволил снизить время переходного процесса при режимах переброса по скорости и по положению.

**Ключевые слова:** векторное управление, алгоритм, бесконтактный моментный двигатель, напряжение на обмотках, переходной процесс, время регулирования.

В настоящее время бесконтактные моментные электродвигатели находят широкое применение во множестве областей, требующих высокой точности и величины движущего момента при относительно низких скоростях. Они используются в качестве элементов систем наведения и стабилизации, в высокоточных станках, в качестве электрических пружин и т.д. Основными преимуществами электромеханических систем с подобными двигателями являются высокая точность, большой крутящий момент и отсутствие необходимости в редукторе вследствие небольших скоростей вращения. Благодаря тому, что в роторах моментных двигателей используются постоянные магниты, уменьшается износ, потребление тока и нагрев по сравнению с двигателями постоянного тока. В отличие от асинхронных двигателей, у моментных отсутствует скольжение, что позволяет лучше реагировать на внешний момент, приложенный к ротору, и упростить управление. К недостаткам данных двигателей можно отнести более высокую цену и сравнительно низкую скорость вращения. Для более качественного управления моментным двигателем используется метод векторного управления, позволяющий повысить точность и снизить энергопотребление в сравнении с шаговым управлением.

В данном докладе представлено изменение стандартного метода векторного управления двигателем, позволяющее получить выигрыш в быстродействии в некоторых режимах работы электропривода.

При работе электропривода можно выделить 2 основных режима – переброс и слежение. В обоих случаях управление может осуществляться как по скорости вращения ротора, так и по его угловому положению. Режим переброса характеризуется резким и значительным изменением задаваемой величины относительно текущей, при этом наиболее важным параметром является время регулирования, в течение которого ошибка между задаваемой и текущей величиной установится в определенных границах. После этого наступает переход к режиму слежения – задаваемый параметр меняется со сравнительно небольшой скоростью, значительные переходные процессы не наблюдаются, основным показателем является точность. Разработанный алгоритм управления предназначен в первую очередь для режимов переброса по скорости и углу поворота ротора, так как уменьшает время переходного процесса, но при этом несколько снижает точность.

Рассмотрим стандартный метод векторного управления двухфазным электродвигателем. Суть векторного управления заключается в управлении проекциями векторов токов и напряжений, создаваемых обмотками статора в координатной системе  $\alpha\beta$ , неподвижной относительно статора, на оси системы координат  $dq$ , неподвижной относительно ротора (рис. 1).

$$V_q = V_\beta \cdot \cos(\theta_e) - V_\alpha \cdot \sin(\theta_e);$$

$$V_d = V_\beta \cdot \sin(\theta_e) + V_\alpha \cdot \cos(\theta_e);$$

$$\bar{V} = \bar{V}_\alpha + \bar{V}_\beta = \bar{V}_d + \bar{V}_q,$$

где  $\bar{V}$  – вектор электрической величины,  $V_\alpha$ ,  $V_\beta$ ,  $V_d$  и  $V_q$  – проекции этого вектора на соответствующие оси,  $\theta_e$  – электрический угол поворота ротора [1, с 12].

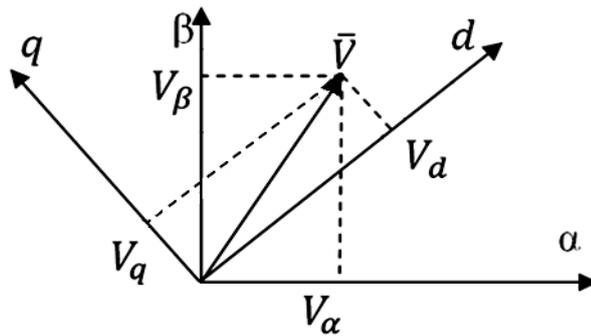


Рис. 1.  $\alpha\beta$  и  $dq$  системы координат

При этом электромагнитный момент двигателя целиком зависит от вектора тока  $\bar{I}_q$  и не зависит от вектора  $\bar{I}_d$ . Следовательно, для максимального момента при минимальных значениях токов достаточно поддерживать максимальной проекцию токов по оси  $q$  и минимальной проекцию по оси  $d$ . Для двухфазного синхронного двигателя

$$M_d = c_m \cdot I_q.$$

Авторы работ по векторному управлению предлагают удерживать постоянное значение напряжения  $U_q$  вне зависимости от текущего электрического угла поворота ротора. На рисунке 2 траектория движения этого вектора при изменении  $\theta_e$  от 0 до  $2\pi$  показана окружностью. Радиус данной окружности равен максимальному напряжению на обмотке статора  $U_m$ .  $U_{sd}$  слабо влияет на  $I_q$ , поэтому его можно не учитывать и приравнять к 0. При задании напряжений фаз таким образом, чтобы  $U_d$  был равен 0, а  $U_q$  был максимальным, ток  $I_d \ll I_q$ , большая часть мощности идет на вращение двигателя и его КПД остается высоким.

$$U_q = U_\beta \cdot \cos(\theta_c) - U_\alpha \cdot \sin(\theta_c).$$

$$U_a = -U_q \cdot \sin(\theta_c).$$

$$U_b = U_q \cdot \cos(\theta_c).$$

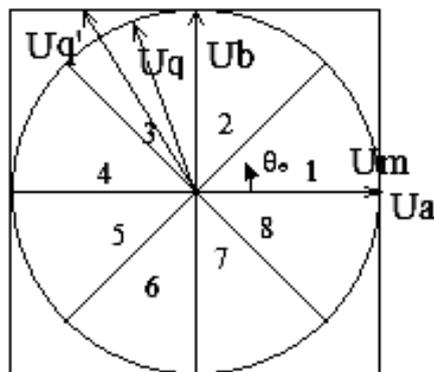


Рис. 2. Траектории векторов напряжений  $U_q$  и  $U_q'$  при изменении  $\theta_e$  на  $2\pi$

Однако ограничения на двух обмотках позволяют двигаться не только по этой траектории, но и по траектории, описываемой вектором  $U_q'$ . При этом, в зависимости от  $\theta_e$ , значение  $U_q'$  изменяется от  $U_m$  до  $\sqrt{2}U_m$  (рисунки 2, 3).

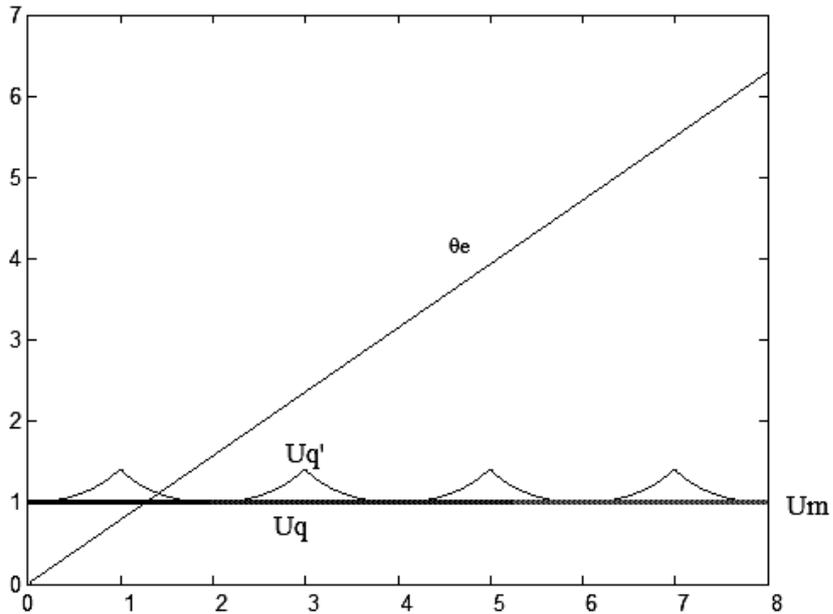
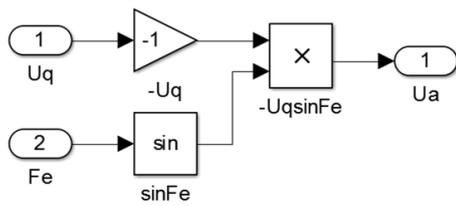


Рис. 3. Сравнение значений  $U_q$  и  $U_q'$  при изменении  $\theta_e$  на  $2\pi$

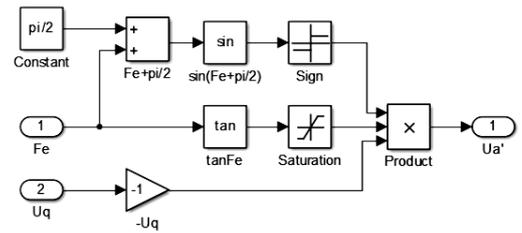
Составив общие формулы для  $U_a'$  и  $U_b'$ , получили:

$$\begin{cases} U_a' = U_q \cdot \text{sign}(\sin(\theta_e + \frac{\pi}{2})), \text{tg}(\theta_e) \geq 1; \\ U_a' = U_q \cdot \text{sign}(\sin(\theta_e + \frac{\pi}{2})) \cdot \text{tg}(\theta_e), \text{tg}(\theta_e) < 1; \\ U_b' = U_q \cdot \text{sign}(\cos(\theta_e + \frac{\pi}{2})), \text{ctg}(\theta_e) \geq 1; \\ U_b' = U_q \cdot \text{sign}(\cos(\theta_e + \frac{\pi}{2})) \cdot \text{ctg}(\theta_e), \text{ctg}(\theta_e) < 1. \end{cases}$$

На основании модели системы векторного управления двухфазным синхронным двигателем [1] в ПП Matlab Simulink [2, 3] построили и сравнили модель векторного управления двигателем ДБМ120–1,6–0,75–2 [4] с исходными и полученными нами алгоритмами формирования напряжения на фазах при подаче на вход ступенчатого воздействия по скорости и по положению. Блок формирования сигнала задания напряжения фазы А в старом и новом вариантах представлен на рисунке 4 а) и б), блок фазы В на рисунке 5 а) и б).

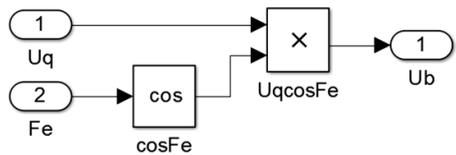


а)

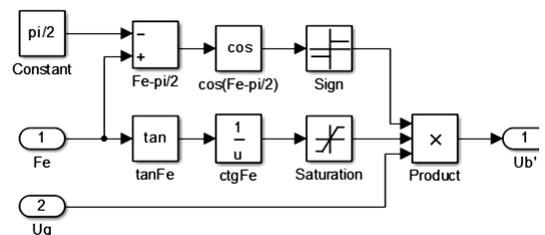


б)

Рис. 4 а). Модель старого варианта блока формирования  $U_a$ ; б) – модель нового варианта блока формирования  $U_a'$



а)



б)

Рис. 5 а). Модель старого варианта блока формирования  $U_b$ ; б). Модель нового варианта блока формирования  $U_b$

Затем провели моделирование переходных процессов со старым и новым алгоритмами формирования сигнала. Переходные характеристики представлены на рисунке 5 а) и б). В первом случае мы подаем ступеньку по скорости величиной 200 градусов в секунду, во втором – ступеньку по углу поворота величиной 100 градусов. В обоих случаях ступенька подается в момент времени 0.2 секунды.

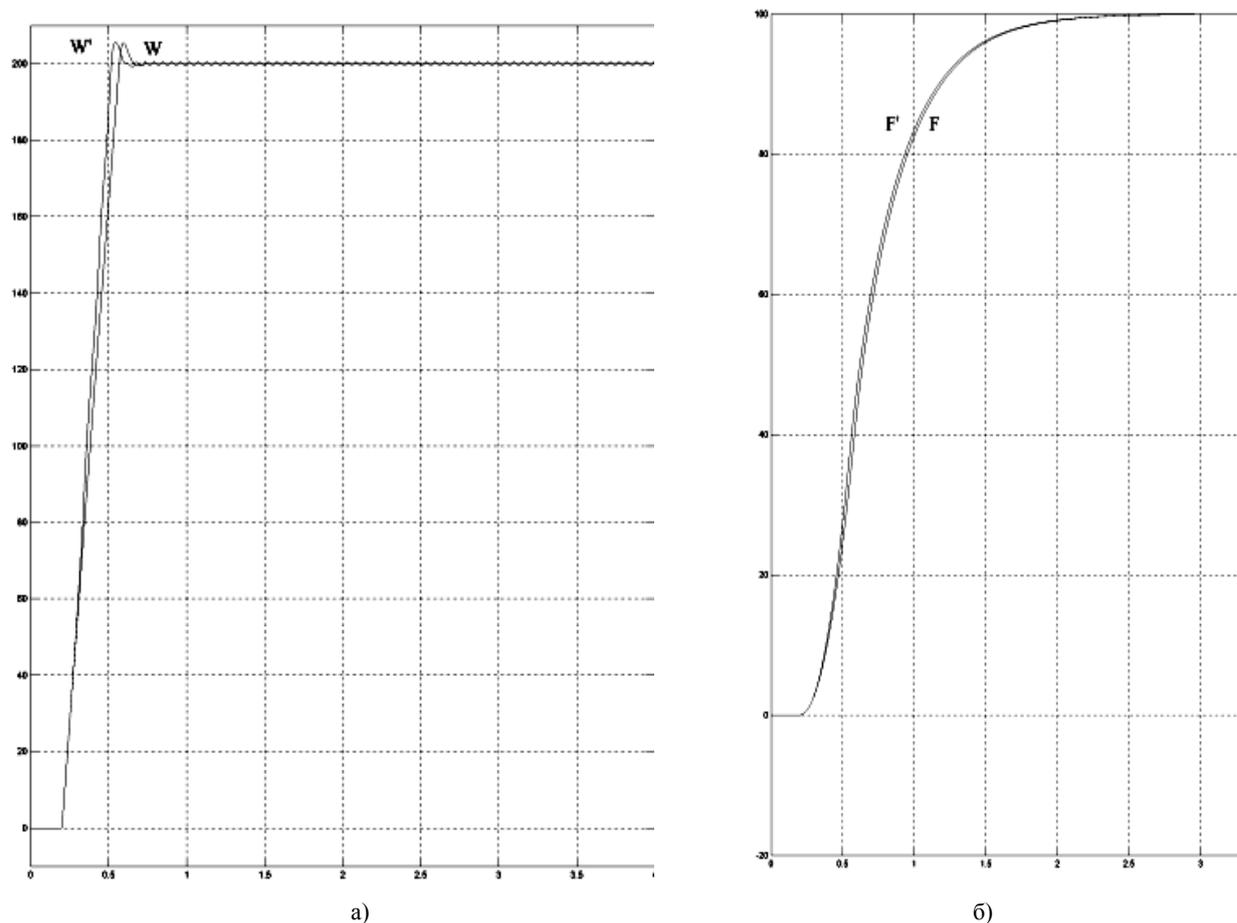


Рис. 6. а) Графики переходных характеристик угловых скоростей вращения ротора при перебросе по скорости; б) Графики переходных характеристик угла поворота при перебросе по положению

Как видно из графиков на рисунке 4 а), время регулирования уменьшилось на 13%, однако наблюдаются небольшие колебания скорости вращения в установившемся режиме, что несколько снижает точность. Из 4 б), время регулирования по положению уменьшилось на 1.7%.

Отсюда можно сделать вывод, что данный алгоритм управления напряжением на статорах целесообразно применять только в режиме переброса, так как в этом режиме наиболее важным параметром является быстродействие системы. В режиме слежения нам важнее точность, поэтому полученный алгоритм в нем применять не рекомендуется. Следовательно, после выхода в режим слежения из режима переброса нужно будет использовать старый алгоритм.

### Литература

1. Виноградов А. Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Иваново, 2008. 297 с.
2. Дьяконов В. П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. М.: ДМК Пресс, 2011, 976 с.: ил.
3. Герман-Галкин С. Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0.-СПб.: КОРОНА принт, 2001. 320 с., ил.
4. [Электронный ресурс]: Сайт ОАО «Машиноаппарат», двигатель ДБМ 120 - 1,6 - 0,75 – 2. URL: [http://mashap.maverick.ru/MenuVert/StatorPaZ/DBM%20120\\_1.6\\_0.75\\_2.html](http://mashap.maverick.ru/MenuVert/StatorPaZ/DBM%20120_1.6_0.75_2.html) (дата обращения: 17.05.2016).