Зайцев Илья Алексеевич,
студент магистратуры 2 курс,
кафедра «Проблем управления»
РТУ МИРЭА
Россия, г. Москва

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСКОЛЛЕКТОРНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Аннотация: *В данной работе представлено математическое моделирование векторного управления бесколлекторным двигателем постоянного тока в программном обеспечении Scilab. Эти результаты позволяют облегчить разработку устройств для контроля и управления различным электрическим силовым оборудованием, включающим бесколлекторные двигатели постоянного тока.*

Ключевые слова: *БДПТ, Scilab, XCOS, векторное управление, модель.*

Abstract: *This paper presents mathematical modeling of vector control of a brushless DC motor in Scilab software. These results make it possible to facilitate the development of devices for monitoring and controlling various electrical power equipment, including brushless DC motors.*

Keywords: *PMSM, Scilab, XCOS, FOC, vector control, model.*

Введение

Благодаря существенному прогрессу в области полупроводниковой электроники и в технологии создания мощных неодимовых магнитов, широкое распространение получили бесколлекторные двигатели постоянного тока (БДПТ). Сфера применения таких электродвигателей достаточно широка. Они используются как для привода мелких механизмов: в дисководах CD, DVD-приводах, так и в мощных устройствах: сетевых электроинструментах (с питанием порядка 12В), радиоуправляемых моделях (например, квадрокоптерах), станках ЧПУ для привода рабочего органа.

На самом деле область применения бесколлекторных электродвигателей очень обширна, отсутствие коллекторного узла позволяет его применять в опасных местах, а также в местах с повышенной влажностью, без опасений замыканий, искрения или возгорания из-за дефектов в щеточном узле. Благодаря высокому КПД и хорошим массогабаритным показателям они нашли применение и в космической промышленности.

Целью данной работы является изучение методов управления бесколлектроными двигателями постоянного тока.

Актуальность исследования по теме данной работы связана с быстро развивающимися технологиями управления БДПТ и малой популярностью у отечественных производителей. В данной работе для моделирование используется бесплатное программное обеспечение Scilab.

Перед математическим моделирование векторного управления необходимо обозначить преобразования Кларк и Парка для понимания происходящих процессов управления.

1. Преобразование Кларк.

В векторном регулировании для упрощения модели управления используется переход из трехфазной системы в двухфазную. В данном случае происходит превращение реальной трехфазной машины в абстрактную двухфазную. После данного перехода в координатной системе остается две перпендикулярные оси α и β. Для удобства данные оси выбирают так, чтобы одна из них совпала с одной из трехфазных осей. Начало координат остается без изменений. Переход 1 из трехфазной системы в двухфазную обычно называют прямым преобразованием Кларк.

$$\begin{cases} I_{S\alpha} = I_{SA} \\ I_{S\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{SA} + \frac{2}{\sqrt{3}} I_{SB} \end{cases} \quad (1)$$

Преобразование Кларка было перенесено в среду Scilab (рисунок 1, 2).

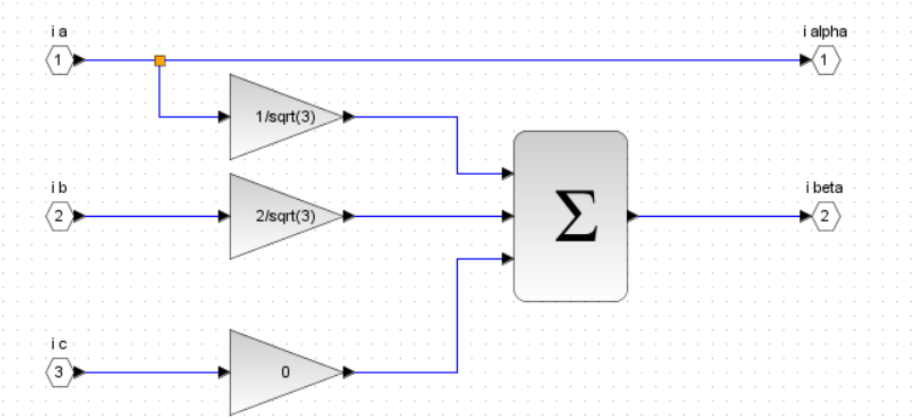

Рисунок 1. Диаграмма преобразования Кларк в Scilab.

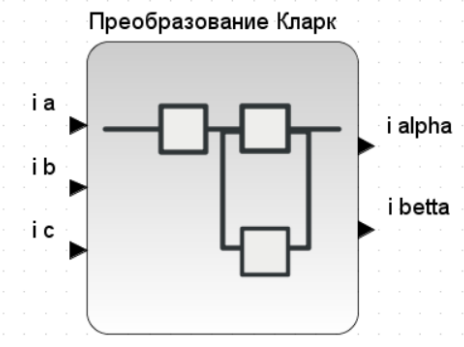

Рисунок 2. Суперблок преобразования Кларк в Scilab.

Переходи из двухфазной неподвижной системы в трехфазную называется обратным преобразованием Кларк.

$$\begin{cases} I_{SA} = I_{S\alpha} \\ I_{SB} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{S\beta} - \frac{1}{2} I_{S\alpha} \\ I_{SC} = -\frac{1}{2} I_{S\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2} I_{S\beta} \end{cases} \quad (2)$$

Обратное преобразование Кларка было перенесено в среду Scilab (рисунок 3, 4).

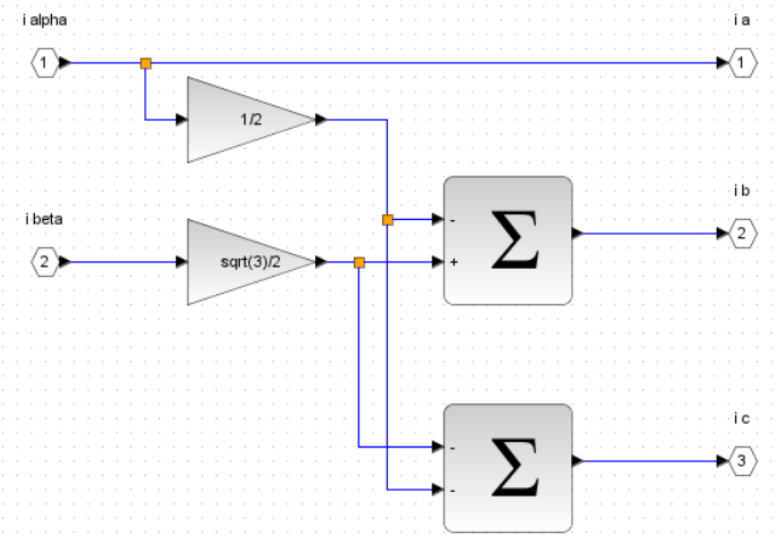

Рисунок 3. Диаграмма обратного преобразования Кларк в Scilab.

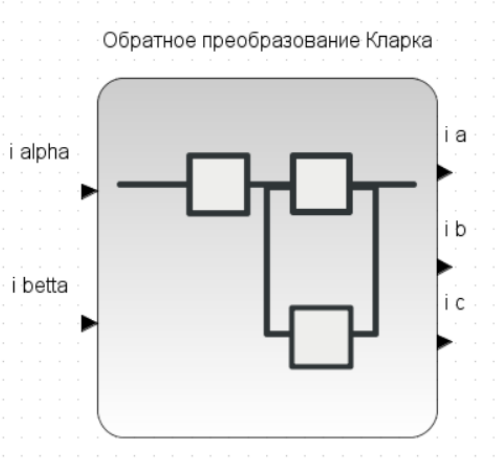

Рисунок 4. Суперблок обратного преобразования Кларк в Scilab.

3. Преобразование Парка

С целью облегчения вычислений параметров процессов, происходящих в БДПТ, принято использовать вращающуюся систему координат с ориентацией по положению ротора. Получившаяся система координат включает в себя две перпендикулярные оси d и q. Начало вращающейся системы координат совпадает с началом двухфазной неподвижной системы, описанной выше. Оси d и q вращающейся системы координат двигаются с произвольной скоростью ω вокруг начала координат. Для того чтобы перейти из двухфазной неподвижной системы координат во вращающуюся используют прямое преобразование Парка.

$$\begin{cases} I_{SX} = I_{S\beta} Sin\varphi + I_{S\alpha} Cos\varphi \\ I_{SY} = I_{S\beta} Cos\varphi - I_{S\alpha} Sin\varphi \end{cases} \quad (3)$$

Преобразование Парка было перенесено в среду Scilab (рисунок 5,6).

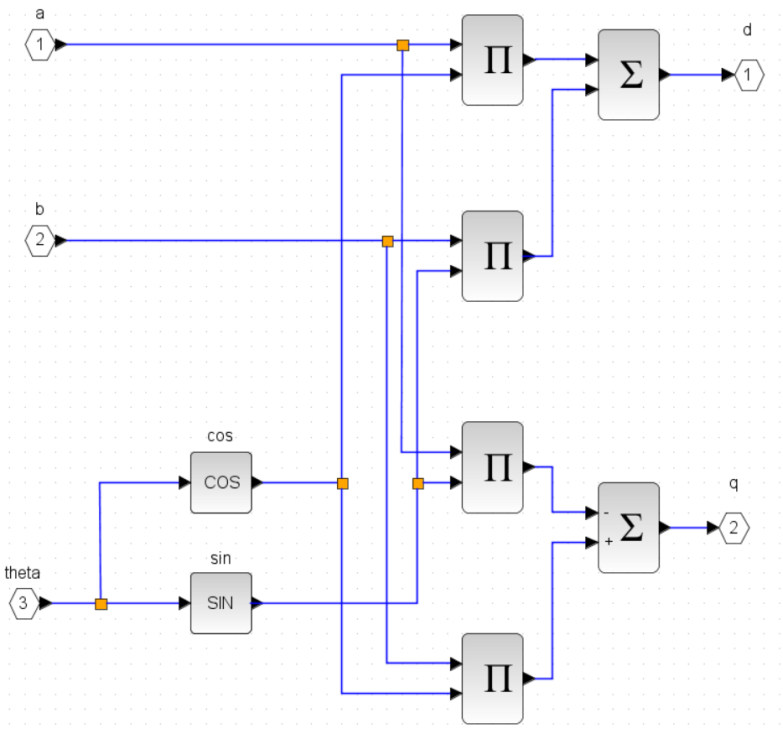

Рисунок 5. Диаграмма преобразования Парка в Scilab.

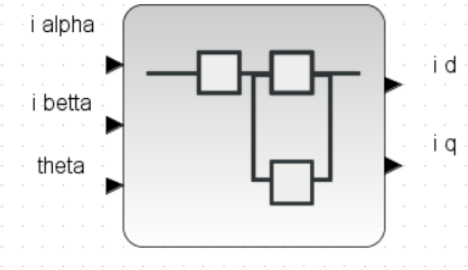

Рисунок 6. Суперблок преобразования Парка в Scilab.

Обратное преобразование Парка, формулы перехода из системы XY в систему αβ.

$$\begin{cases} I_{S\alpha} = I_{SX}Cos\varphi - I_{SY}Sin\varphi \\ I_{S\beta} = I_{SX}Sin\varphi + I_{SY}Cos\varphi \end{cases} \quad (4)$$

Обратное преобразование Парка было перенесено в среду Scilab (рисунок 7,8).

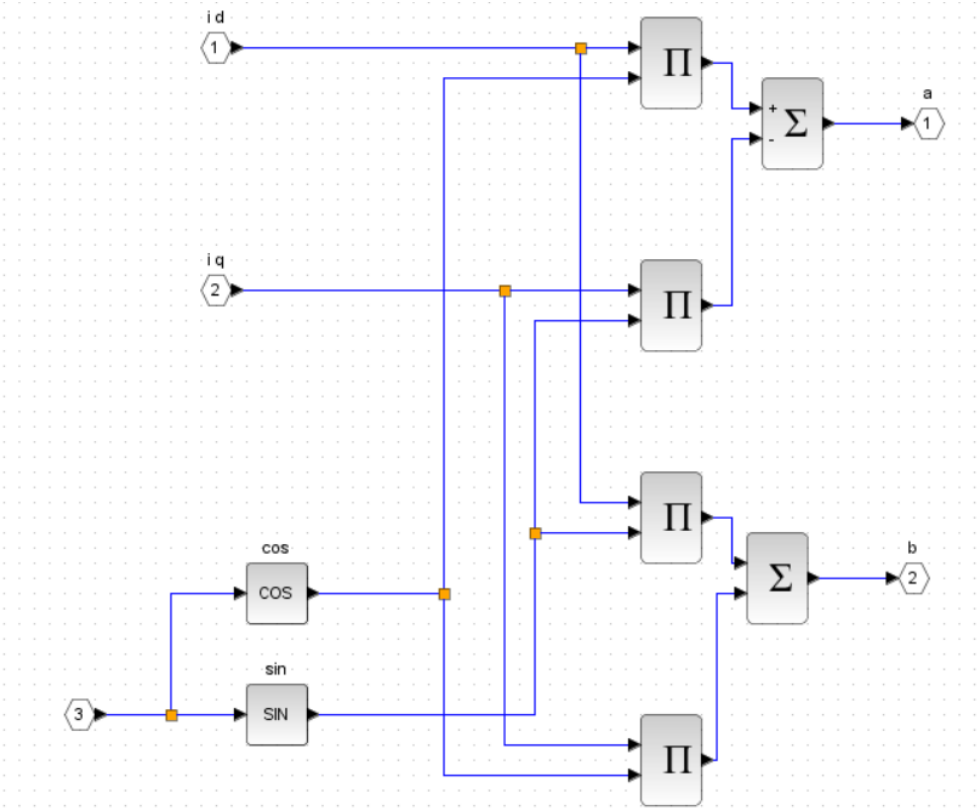

Рисунок 7. Диаграмма обратного преобразования Парка в Scilab.

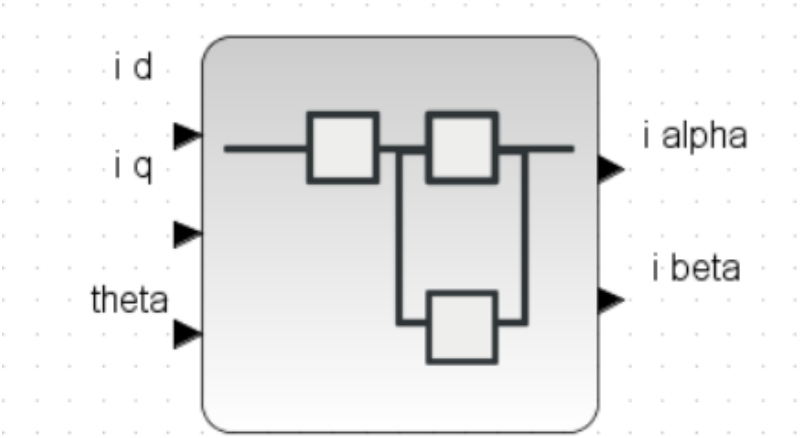

Рисунок 8. Суперблок обратного преобразования Парка в Scilab.

4.Математическое моделирование БДПТ.

Для упрощения расчетов динамических процессов в двигателе вводиться вращающаяся система координат с ориентацией по положению ротора. Система имеет две перпендикулярные оси X и Y. Начало координат совпадает с началом координат, описанной выше трехфазной (или двухфазной) неподвижной системы. Оси системы XY вращаются с произвольной скоростью ω вокруг начала координат. [3]

Уравнения описывающие БДПТ в этой системе координат:

$$\begin{cases} U_{Sd} = R_S \cdot i_{Sd} + L_S \cdot \dfrac{d\bar{i}_{Sd}}{dt} - \omega_M \cdot z_P \cdot L_S \cdot i_{Sq} \quad , \\ U_{Sq} = R_S \cdot i_{Sq} + L_S \cdot \dfrac{d\bar{i}_{Sq}}{dt} + \omega_M \cdot z_P \cdot L_S \cdot i_{Sd} + \omega_M \cdot z_P \cdot \Phi_0 \quad , \\ M = \dfrac{3}{2} z_P \cdot \left(i_{S\beta} \left(L_S \cdot i_{Sq} \right) - i_{Sq} \left(L_S \cdot i_{Sd} + \Phi_0 \right) \right) \quad , \\ J \dfrac{d\omega_M}{dt} = M - M_C \end{cases}$$

В программе Scilab разработана математическая модель в системе координат dq (рисунок 9).

С помощью данных преобразований можно построить полную модель БДПТ, которая приведена на рисунках 10, 11.

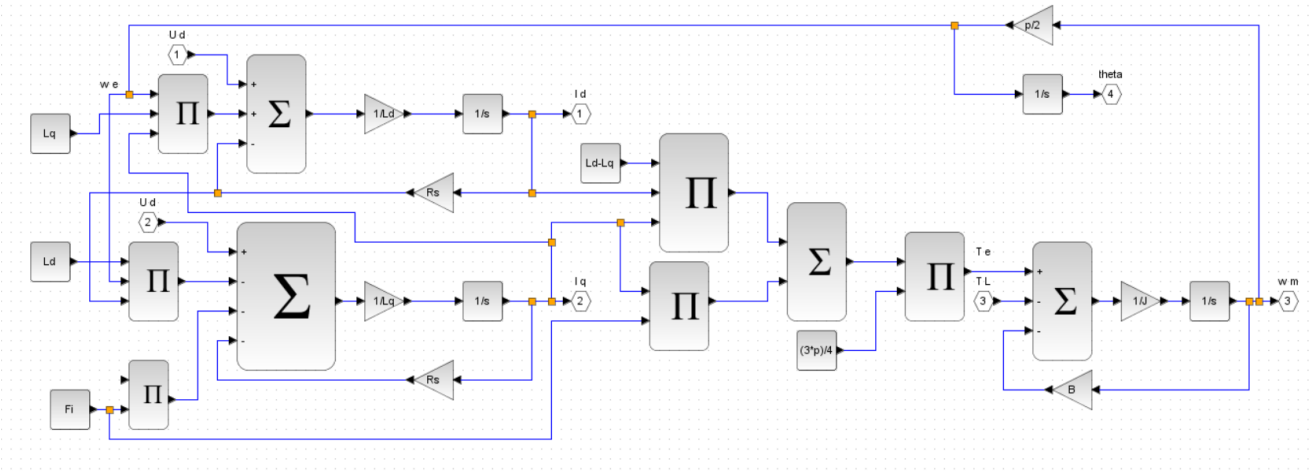

Рисунок 9. Математическая модель БДПТ в dq.

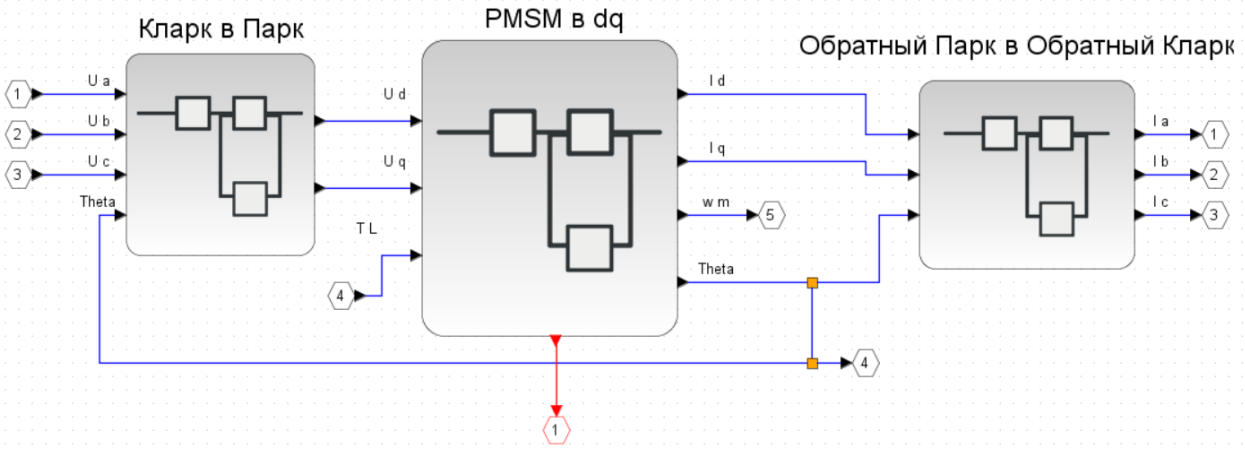

Рисунок 10. Математическое моделирование БДПТ.

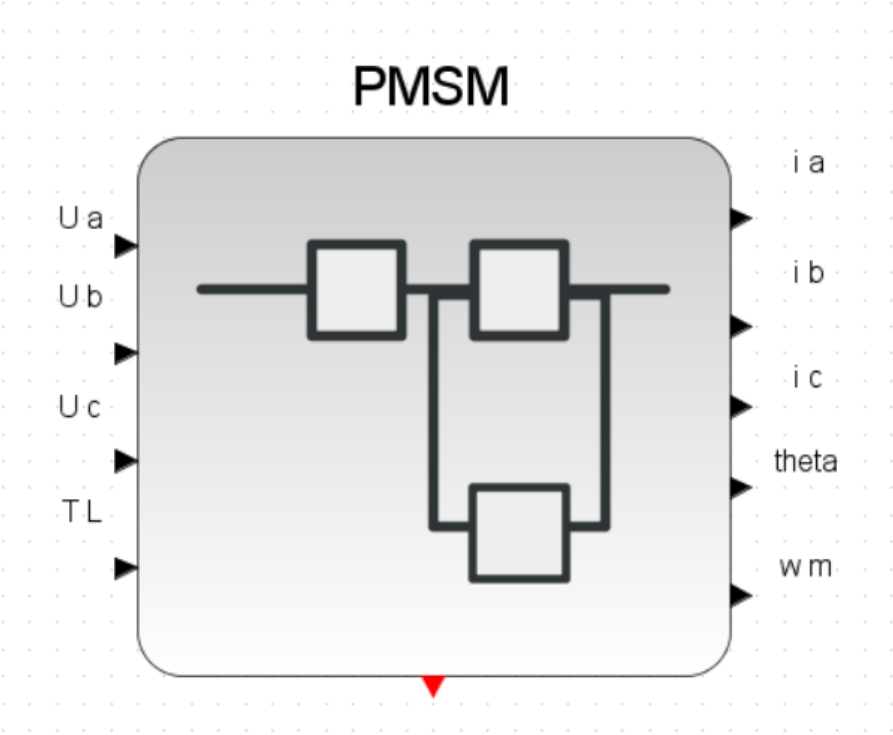

Рисунок 11. Суперблок БДПТ.

5. Математическое моделирование векторного управление БДПТ.

Для управления моментом по минимуму статорного тока ток статора необходимо направлять по оси q. То есть угол между ротором и вектором статорного тока надо поддерживать равным 90 градусов. Система регулирования строится в координатах dq. Регулирование скорости осуществляется с помощью управления моментом двигателя.

Математическое моделирование векторного управления БДПТ представлено на рисунке 12.

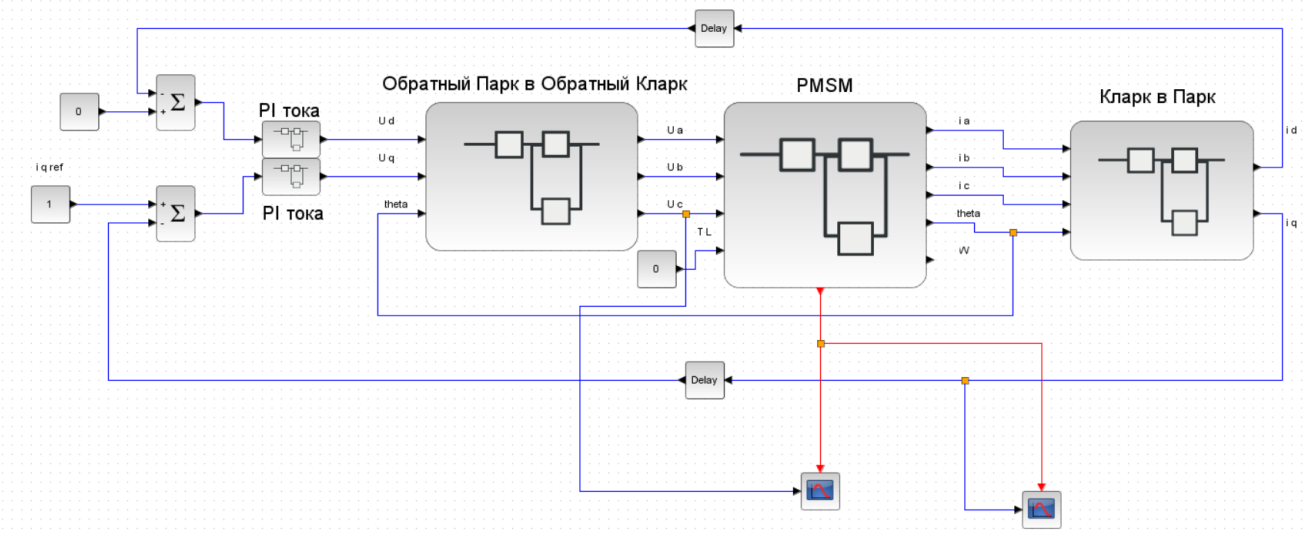

Рисунок 12. Математическое моделирование векторного управления БДПТ.

Результаты моделирования приведены на рисунке 13.

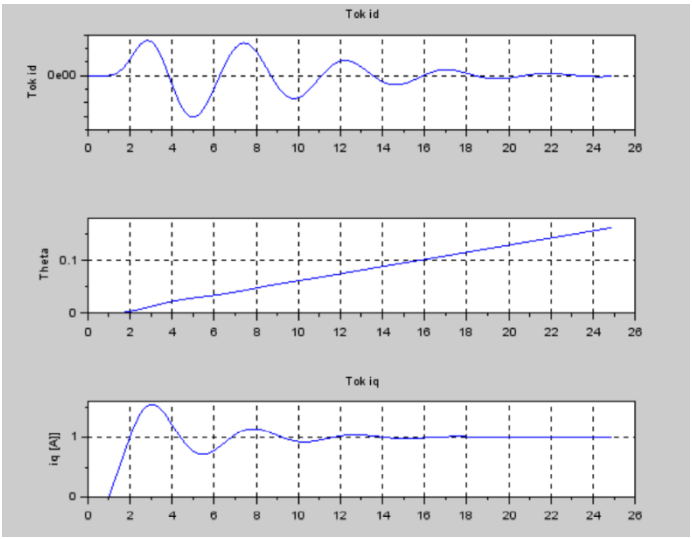

Рисунок 13. Моделирование

Заключение

На основании сравнения графиков переходных процессов можно сделать вывод о корректности проведенной симуляции. Ток id с течение времени становится равным нулю, так как он является паразитным в данном случае. А ток iq прямо влияет на момент вращения двигателя. Момент двигателя увеличивается равномерно.

В данной работе представлено математическое моделирование векторного управления бесколлекторным двигателем постоянного тока в программном обеспечении Scilab. Эти результаты позволяют облегчить разработку устройств для контроля и управления различным электрическим силовым оборудованием, включающим бесколлекторные двигатели постоянного тока.

Список используемых источников:

1. Руководство по работе с пакетом SCILAB. [Электронный ресурс] URL: https://bit.ly/330b6zD (дата обращения 07.06.2022).

2. Векторное управление. [Электронный ресурс] URL: https://bit.ly/3zHqSeB (дата обращения 05.06.2022).

3. Разработка алгоритмов управления электропривода. [Электронный ресурс] URL: https://bit.ly/3tby81h (дата обращения 06.06.2021).

© Зайцев И.А., 2023.