

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА (ВДПТ)

**Шамсуллин Руслан Ленерович**

*Магистрант, Уфимский государственный авиационный технический университет, город Уфа*

## **Аннотация**

В статье представлено моделирование систем управления вентильным двигателем постоянного тока, а именно система векторного управления и система трапецеидального управления. По итогам моделирования систем проведен краткий сравнительный анализ.

**Ключевые слова:** вентильный двигатель постоянного тока, векторное управление, трапецеидальное управление.

## **Введение**

*Вращение ВД обеспечивает специальная электронная система управления. Существуют два основных подхода (принципа) к формированию вращающегося магнитного поля: 1) векторное управление; 2) трапецеидальное управление. Рассмотрим их на основе моделей построенных в MatlabSimulinc.*

## **Векторное управление**

**Векторное управление** (англ. FOC – Field-oriented control). Метод управления синхронными и асинхронными двигателями, при котором формируются не только гармонические токи (напряжения) фаз, но и обеспечивается управление магнитным потоком ротора, а именно, моментом на валу электродвигателя.

*Скорость вращения и момент ВДПТ определяется величиной момента магнитного поля статора, которое в свою очередь определяется токами в обмотках статора. Наиболее распространенным методом управления током является широтно-импульсная модуляция (ШИМ) питающего напряжения, подаваемого с инвертора на обмотки статора. С помощью датчиков положения ротора инвертор подает напряжение в требуемом порядке на обмотки статора. Уровень подаваемого напряжения определяется ШИМ модуляторами по сигналам управления от регуляторов режима работы.*

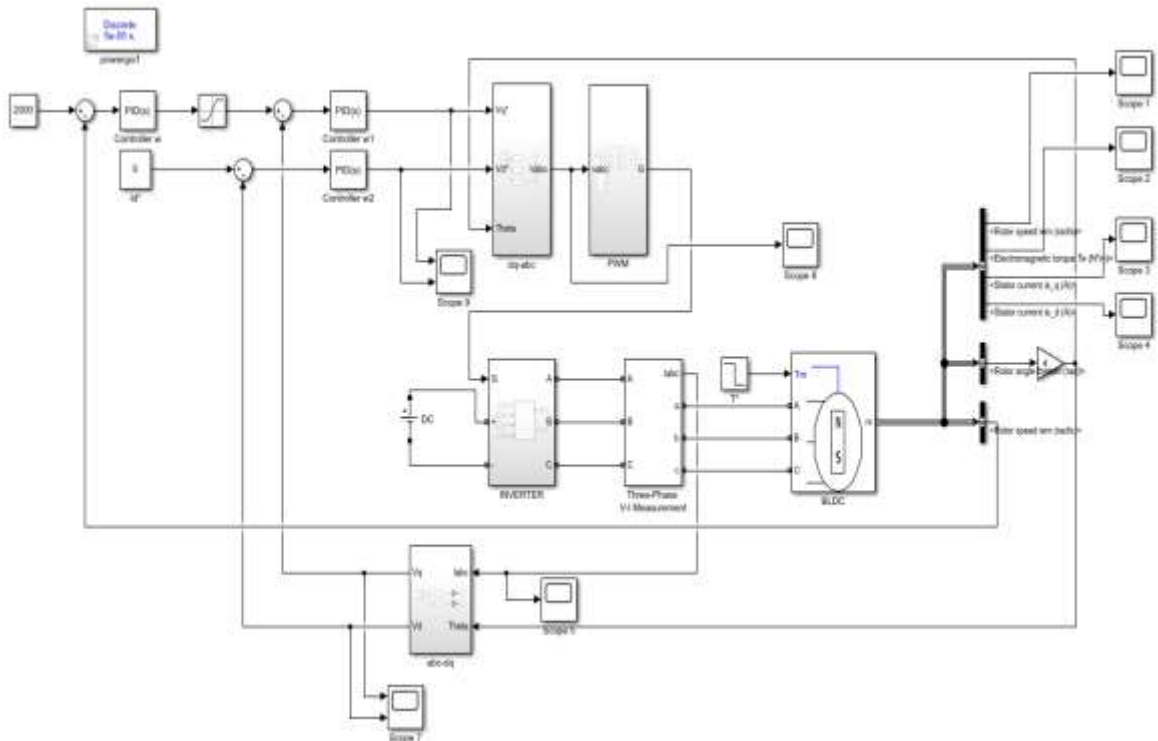


Рисунок 1 – Модель векторной системы управления

### Трапецеидальное управление

Трапецеидальное управление это один из простейших методов управления синхронными двигателями постоянного тока. Данный метод применяется для управления синхронными двигателями с постоянными магнитами с трапецеидальной и синусоидальной обратной ЭДС.

При трапецеидальном управлении (при трехфазной системе подключения) постоянное напряжение подается одновременно только на две фазы обмотки статора, третья обмотка остается не подключенной к источнику тока. При работе электродвигателя система управления следит за положением ротора, подавая напряжение определенной полярности на соответствующую пару обмоток таким образом, чтобы возбуждаемое в статоре магнитное поле увлекало за собой ротор, заставляя его вращаться. Частота вращения ротора регулируется величиной коммутируемого к обмоткам ротора постоянного напряжения с помощью ШИМ. При этом частота коммутации подстраивается под изменение частоты вращения ротора.

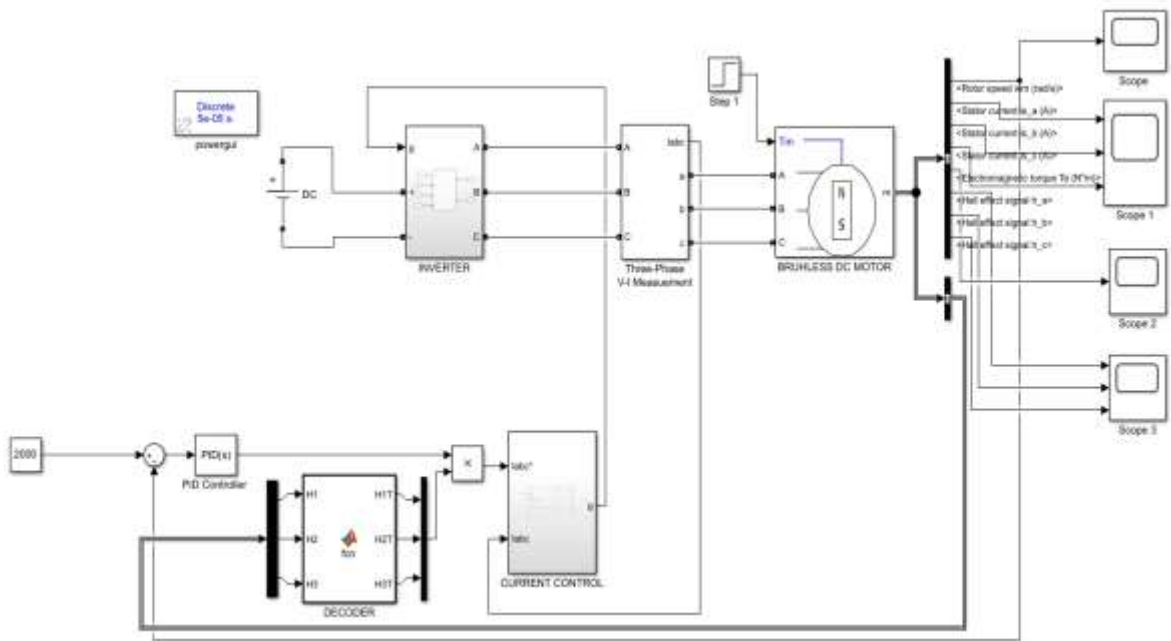


Рисунок 2 – Модель трапецеидального управления

### Сравнительный анализ результатов моделирования

Сопоставим полученные результаты векторного и трапецеидального управления для выявления достоинств и недостатков каждого вида управления. На рисунках ниже представлены сопоставление переходных характеристик векторного и трапецеидального управления при скорости 2000 об/мин и 100 об/мин при различных видах нагрузки.

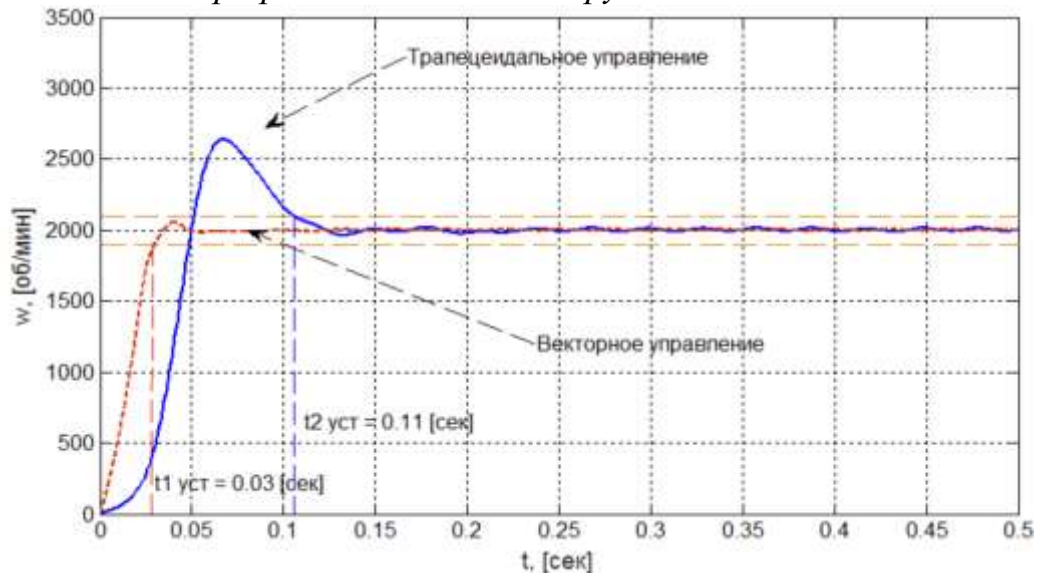


Рисунок 3 – Сопоставление переходных характеристик при скорости 2000 об/мин, условие – механический тормоз

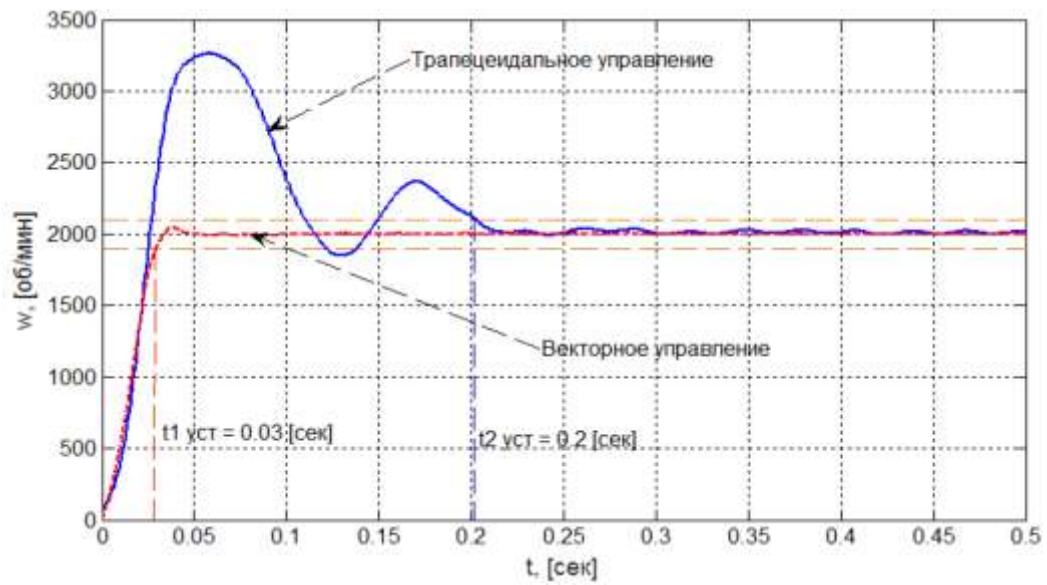


Рисунок 4 – Сопоставление переходных характеристик при скорости 2000 об/мин, условие – инерциальная нагрузка

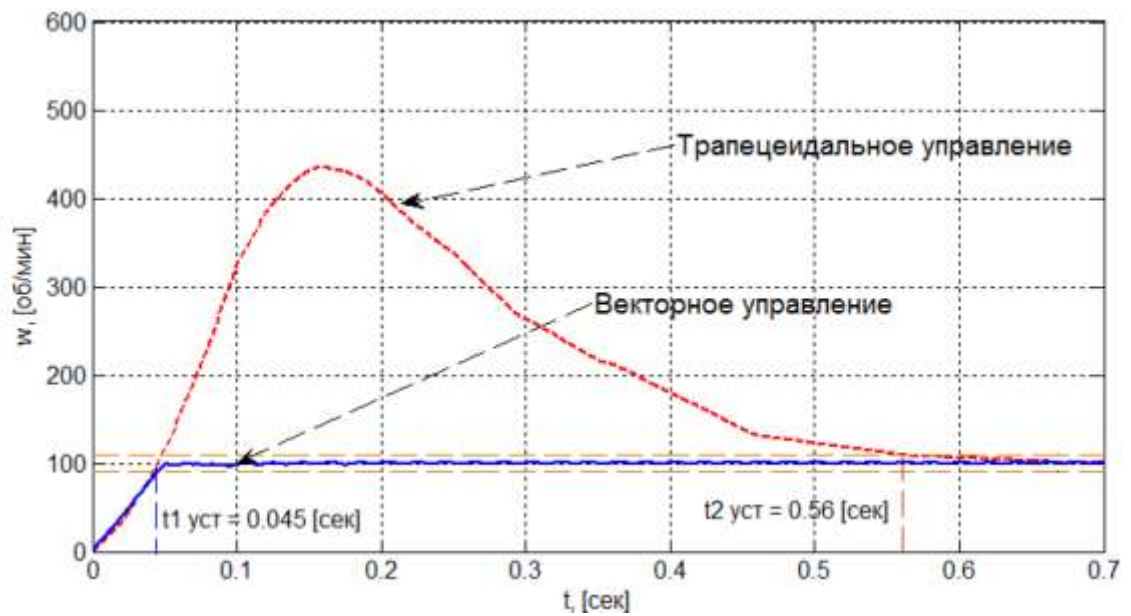


Рисунок 5 – Сопоставление переходных характеристик при скорости 100 об/мин, условие – механический тормоз

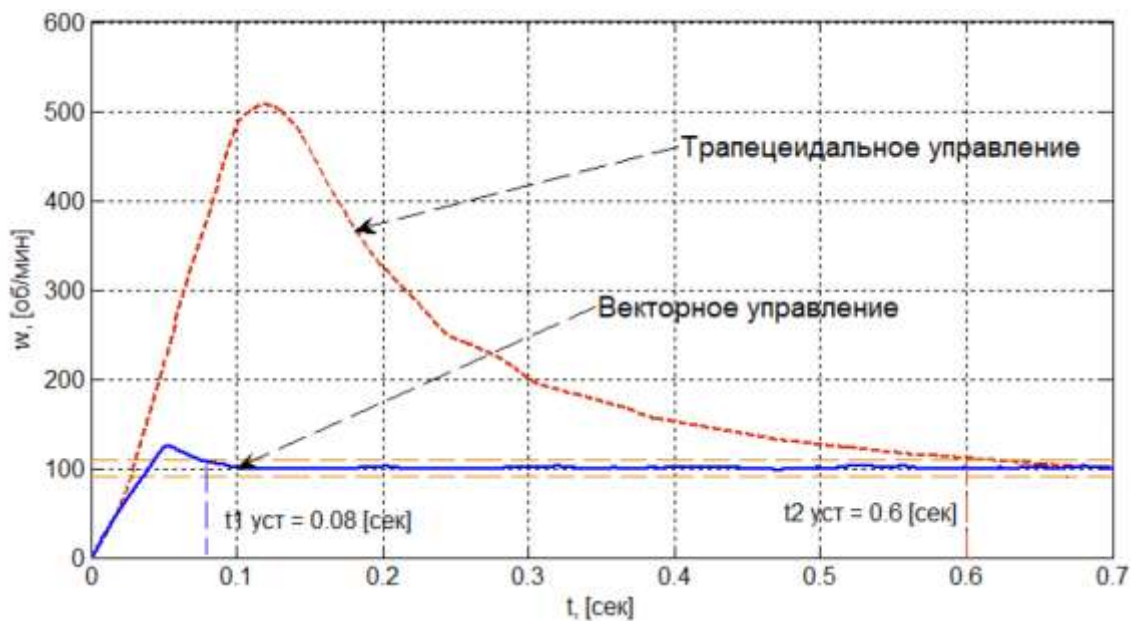


Рисунок 6 – Сопоставление переходных характеристик при скорости 100об/мин, условие – инерционная нагрузка

Для удобства сравнения качества управления векторного и трапецеидального алгоритмов показатели качества управления были сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1

**Основные показатели качества управления векторного и трапецеидального алгоритмов при скорости вращения 2000 об/мин**

Скорость вращения 2000 об/мин				
Показатель качества управления	Трапецеидальное управление		Векторное управление	
	Инерционная нагрузка	Механический тормоз	Инерционная нагрузка	Механический тормоз
$t_{нар}$ , [сек]	0,025	0,045	0,03	0,03
$t_{уст}$ , [сек]	0,2	0,1	0,03	0,03
Характер ПП	Колебательный	Апериодический	Апериодический	апериодический

Таблица 2

**Основные показатели качества управления векторного и трапецеидального алгоритмов при скорости вращения 100 об/мин**

Скорость вращения 100 об/мин				
Показатель качества управления	Трапецеидальное управление		Векторное управление	
	Инерционная нагрузка	Механический тормоз	Инерционная нагрузка	Механический тормоз
$t_{нар}$ , [сек]	0,011	0,018	0,04	0,056
$t_{уст}$ , [сек]	0,61	0,57	0,08	0,056
Характер ПП	Апериодический	Апериодический	Апериодический	Монотонный

По данным таблиц 1 и 2 видно, что наилучшее качество управления достигается при использовании векторного алгоритма управления двигателем.

Если рассматривать эти виды управления со стороны сложности алгоритма, то вывод очевиден – векторное управление сложнее, так как содержит в себе контур скорости и два контура тока. Контур скорости реализуется при помощи датчиков Холла, которые являются абсолютным датчиком положения ротора. Для реализации обратной связи по току нужна схема регулирования тока. Трапецеидальное управление в этом плане реализуется проще, так как используется только контур скорости. Но сложность векторного алгоритма обеспечивает более качественное управление, потому что алгоритм регулирует не только заданный вектор напряжения, но также и фазу.

По всем параметрам качества управления векторный алгоритм превосходит трапецеидальный. Это точность поддержания требуемого значения скорости, почти отсутствует перерегулирование и малое время регулирования. Эти преимущества объясняются наличием нескольких контуров управления.

Основное преимущество векторного алгоритма это сохранение высокого качества управления, то есть поддержание требуемой скорости на заданном уровне. Векторное управление обеспечивает максимальный момент даже при малых скоростях, что не скажешь о трапецеидальном управлении.

По критерию чувствительности к различным нагрузкам векторный алгоритм показал себя лучше трапецеидального. Почти во всем диапазоне регулирования у векторного алгоритма наблюдается аperiodический характер, что говорит о низкой чувствительности к различным типам нагрузок.

*Трапецеидальное управление имеет высокую чувствительность к различным нагрузкам, кроме того при инерциальной нагрузке имеет колебательный характер.*

### **Список литературы**

1. DSP Based Speed Control of the Surface Mounted Permanent Magnet Synchronous Motor with Hysteresis current controller <https://pdfs.semanticscholar.org/3eb1/7ee1e8bdcf53145f6c39e9f9f6253cd237b3.pdf>

2. Application of Vector Control Technology for PMSM Used in Electric Vehicles <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOAUTOCJ/TOAUTOCJ-61334.pdf>

3. Speed Control Of Permanent Magnet Synchronous Motor Using Fpga For High Frequency Sic Mosfet Inverter [http://jestec.taylors.edu.my/Special%20Issue%20SAES2013\\_9\\_5\\_2014/SAES%202013\\_011\\_020.pdf](http://jestec.taylors.edu.my/Special%20Issue%20SAES2013_9_5_2014/SAES%202013_011_020.pdf)

4. Р.В. Соколов Система управления электроприводом на базе синхронной машины. – Выпускная квалификационная работа. СПб. 2017 – 138 с.

© Шамсуллин Р.Л. 2019