

УДК 00

Система управления трехфазного бесколлекторного двигателя постоянного тока

10, сентябрь 2012

Саяпин В.Е., Смурыгин И.М.

*Научный руководитель: ассистент В.А.Шниев
МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
bauman@bmstu.ru

Введение

В настоящее время широко распространены различные виды радиоуправляемых воздушных моделей. Одной из отличительных особенностей таких моделей является наличие бесколлекторных двигателей.

В работе представлены бесколлекторные двигатели и система управления, основанная на микроконтроллере и полевых транзисторах. Применение бесколлекторных трехфазных двигателей является перспективным, т.к. это дает предпосылки к созданию различного рода беспилотных систем.

Описание функционирования работы бесколлекторного трехфазного двигателя постоянного тока (БТДПТ).

Применение бесколлекторного трехфазного двигателя постоянного тока (БТДПТ) обусловлено тем, что его использование предоставляет разработчику ряд преимуществ:

- отсутствуют трущиеся поверхности, что увеличивает срок службы системы;
- генерация более низкого уровня акустического и электрического шума по сравнению с универсальными коллекторными двигателями постоянного тока;
- возможность работы в опасных средах (с воспламеняемыми продуктами) из-за отсутствия искрения.
- хорошее соотношение массогабаритных характеристик и мощности.

Двигатели такого типа характеризуются небольшой инерционностью ротора, т.к. обмотки расположены на статоре. Коммутация управляется электроникой. Моменты коммутации определяются путем измерения обратной ЭДС, генерируемой обмотками. Схема замещения бесколлекторного трехфазного двигателя представлена на рисунке 1[1].

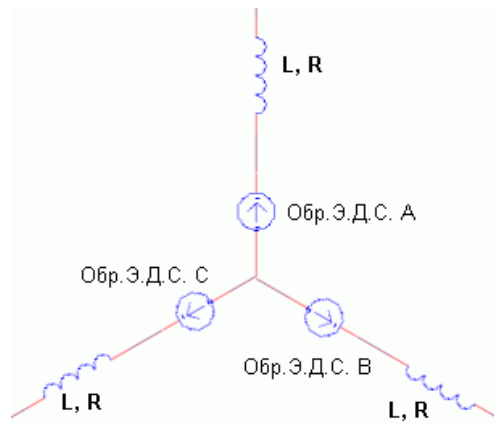


Рис. 1 - Схема замещения статора БТДПТ

От силы магнитного поля зависит мощность и частота вращения двигателя. Регулировать частоту вращения и вращающий момент двигателя можно за счет изменения тока через обмотки. Наиболее распространенный способ управления током через обмотки является управление средним током. Для этого используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ), рабочий цикл которой определяет среднее значение напряжения на обмотках, а, следовательно, и среднее значение тока и, как следствие, частоту вращения. Скорость может регулироваться при частотах от 20 до 60 кГц. Вращающееся поле трехфазного, трехобмоточного БТДПТ показано на рисунке 2 [2].

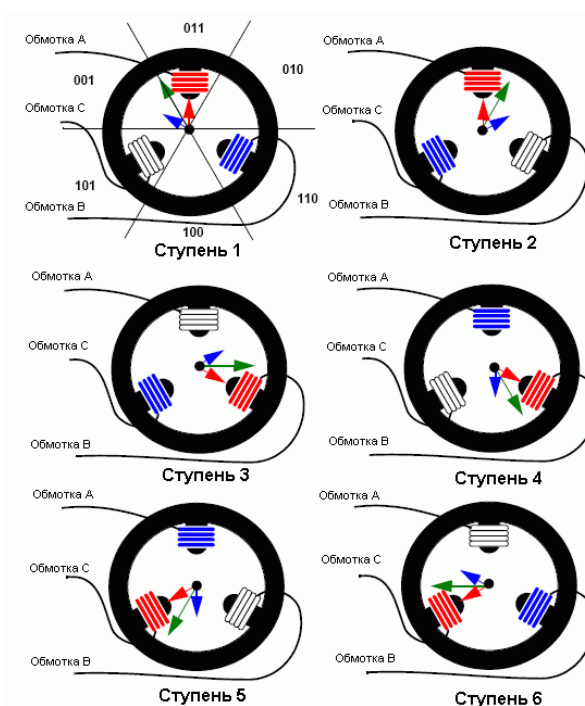


Рис. 2 - Ступени коммутации и вращающееся поле БТДПТ

Управление переключением фаз БТДПТ происходит посредством измерения обратных ЭДС (ОЭДС), возникающих при вращении катушки в магнитном поле. Типичный вид ОЭДС для БТДПТ представлен на рисунке 3.

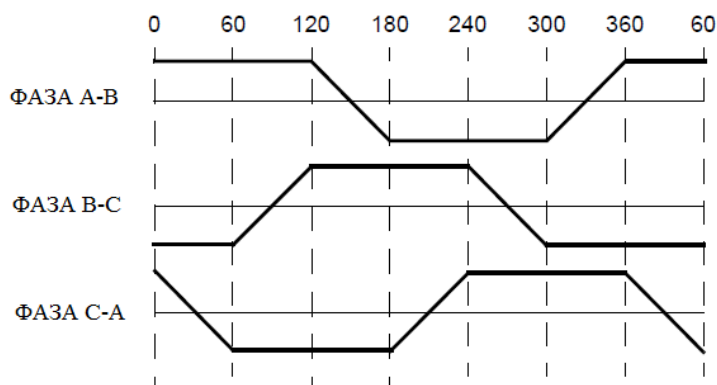


Рис. 3 – Вид ОЭДС для БТДПТ

В один промежуток времени ОЭДС на первой фазе имеет положительное значение, вторая - отрицательное, а ОЭДС на третьей в это время имеет нулевое значение. На третьей обмотке возникает состояние, когда напряжение пересекается со средним напряжением, которое получается в результате сложения положительной и отрицательной ОЭДС. Пересечение со средней линией происходит посередине между двух коммутаций. При постоянной скорости вращения двигателя, временной промежуток от коммутации до пересечения со средним напряжением равен промежутку времени от пересечения средней линии до момента следующего переключения. Этот принцип лежит в основе бессенсорного управления коммутаций обмоток.

Если следовать последовательности коммутаций, представленной на рисунке 3, то получим шесть различных векторов магнитного потока, соответствующих шести ступеням коммутации. Шесть ступеней соответствуют одному обороту ротора. На рисунке 4 представлена схема переключения обмоток БТДПТ [3].

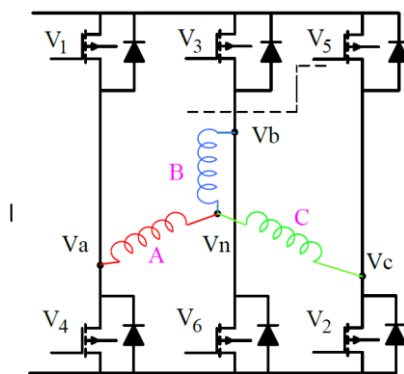


Рис. 4 – Схема переключения обмоток БТДПТ

Где V_a , V_b и V_c – напряжения на соответствующих фазах, а V_n – напряжение виртуальной нейтральной точки.

Произведем основные теоретические расчеты для определения момента. Сделаем предположение, что фаза С отключенная фаза, получим следующие уравнения для трех напряжений.

$$V_a = RI_a + L \frac{dI_a}{dt} + E_a + V_n \quad (1)$$

$$V_b = RI_b + L \frac{dI_b}{dt} + E_b + V_n \quad (2)$$

$$V_c = E_c + V_n \quad (3)$$

где E - Обратная ЭДС, I - ток в фазы, L - индуктивность.

Поскольку только два тока могут протекать в обмотках статора одновременно, токи двух фаз равны и противоположны по направлению. Это показано в уравнении 4.

$$I_a = -I_b \quad (4)$$

Складывая (1),(2) и (3) и учитывая (4), получим:

$$V_a + V_b + V_c = E_a + E_b + E_c + 3V_n \quad (5)$$

Очевидно, что в моменты времени, при которых обратная ЭДС равна нулю, сумма обратных ЭДС фаз равна нулю. Исходя из этого уравнение 6 принимает вид.

$$V_a + V_b + V_c = 3V_n \quad (6)$$

Для незадействованной фазы С обратная ЭДС состоит из:

$$E_c = V_c - V_n \quad (7)$$

Из (6) и (7) следует:

$$3E_c = 2V_c - (V_a + V_b) \quad (8)$$

На этом предположение основан следующий метод определения момента переключения обмоток.

Как показано в уравнении 5 момент пересечения обратной ЭДС фазы С нуля можно обнаружить, сравнивая V_c и V_n . Тем не менее, V_n , как правило, не доступно в бесколлекторном двигателе постоянного тока. Так же необходим фильтр нижних частот для обработки сигналов. Схема, отображающая принцип сравнения общей точки с обратной ЭДС на катушке представлена на рисунке 5 [3].

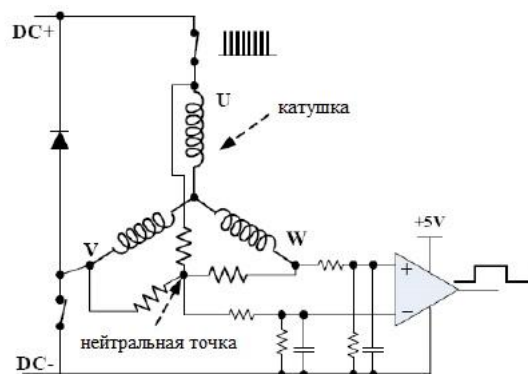


Рис. 5 – Схема определения момента пересечения ОЭДС нуля

Из рисунка можно сделать вывод, что напряжение, снимаемое с незадействованной обмотки, сравнивается с напряжением виртуальной нейтральной точки. Результирующий сигнал подается на микроконтроллер для составления программы переключения плечами транзисторов для правильной коммутации обмоток БТДПТ.

Разработка алгоритма программы управления БТДПТ

Граф, отображающий алгоритм работы программы микроконтроллера, управляющего переключениями обмоток БТДПТ, представлен на рисунке 6.

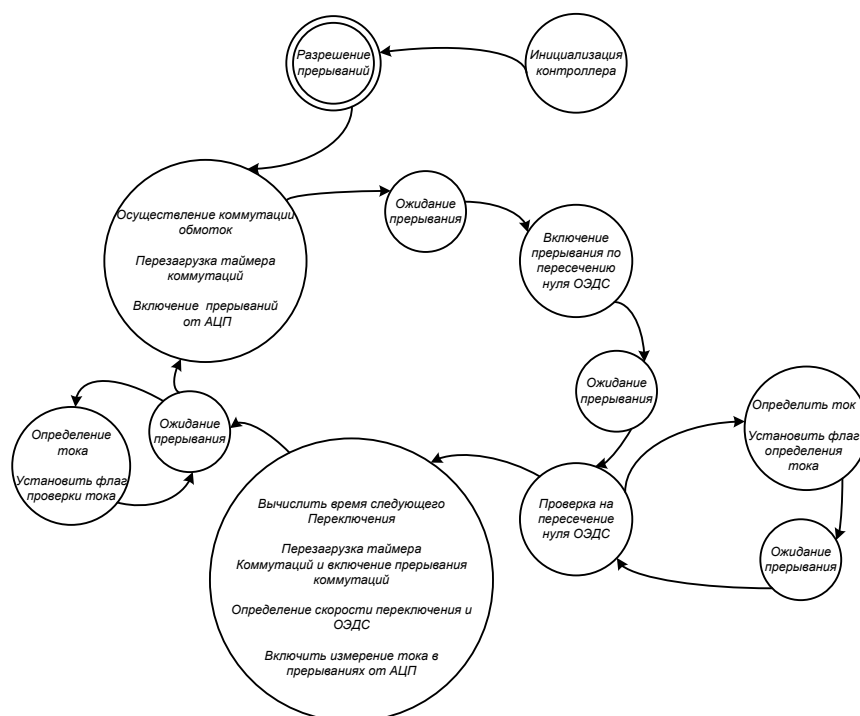


Рис. 6 – Диаграмма состояния работы программы микроконтроллера, управляющего переключениями обмоток БТДПТ

Основные состояния микроконтроллера при выполнении программы управлением БТДПТ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Спецификация диаграммы состояний работы программы управления БТДПТ

Состояние	Описание
<i>Инициализация микроконтроллера</i>	Происходит настройка портов ввода/вывода и аппаратных ресурсов(таймеров, АЦП, компараторов)
<i>Осуществление коммутации обмоток и перезагрузка таймера</i>	При первом вызове происходит запуск двигателя. Запускается счетчик.
<i>Ожидание прерывания</i>	Состояние бездействия, до тех пор, пока не произойдет определенное событие: изменение на выходе компаратора, переполнение счетчика, обнуление таймера
<i>Проверка на пересечение нуля ОЭДС</i>	Сработал компаратор, т.е. произошло пересечение ОЭДС нуля. Запуск таймера на время, полученное из счетчика

Практическая реализация системы управления БТДПТ.

Схема, осуществляющая управление БТДПТ, построенная на базе микроконтроллера AVR ATmega 88 представлена на рисунке 7.

