

СНИЖЕНИЕ КОММУТАЦИОННЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МОМЕНТА БДПТ

Д.И. Ульянов

*Томский политехнический университет,
аспирант*

Научный руководитель: А.Г. Гарганеев, д.т.н, профессор ТПУ

Бесколлекторный электродвигатель с постоянными магнитами (далее БДПМ), благодаря своим эксплуатационным характеристикам, является наиболее перспективной машиной в диапазоне малых и средних мощностей. Такой электродвигатель не имеет потерь на возбуждение, обладает большой перегрузочной способностью, хорошими регулировочными характеристиками, более высоким КПД по сравнению с электродвигателями другого вида. К тому же, на сегодняшний день известно множество конструктивных и технологических решений по изготовлению электродвигателей такого типа, начиная от решений, обеспечивающих максимальную простоту и экономичность электродвигателя, и заканчивая решениями, обеспечивающими его максимальную энергоэффективность и компактность [1].

Направления развития принципов управления БДПМ менялись по ходу усовершенствования элементной базы, вычислительной мощности контроллеров, точности используемых датчиков, а также по ходу появления всё новых технологических процессов, в которых стало возможно применение электропривода. Практическая реализация и применение тех или иных принципов управления позволяет судить об эффективности используемых алгоритмов.

Первым этапом в развитии БДПМ стало создание в 1949 году бесколлекторного электродвигателя постоянного тока (далее БДПТ) с коммутирующим устройством на полупроводниках, управляемых индуктивными датчиками положения ротора. Освоение космического пространства послужило мощным толчком в развитии БДПТ. Примером может служить создание электроприводов на базе БДПТ для перемещения лунохода по поверхности Луны. Также в восьмидесятых годах прошлого столетия началось применение БДПТ в самолётостроении на таких самолётах как ИЛ-96, ТУ-204, МИГ-31.

В 1971 году немецкий учёный Феликс Блашке предложил новую систему управления электрическими машинами: векторную систему управления, также известную как «полеориентированная система управления» [2]. Вернер Леонхард продолжил разработку технологий полеориентированного управления и сыграл важную роль в создании возможностей для того, чтобы приводы переменного тока стали конкурентоспособными относительно приводов постоянного тока. Однако, в то время такой способ управления БДПМ имел много недостатков, которые ограничивали общепромышленное применение электроприводов на таком принципе. Для такой системы управления требовалось много электронных компонентов в виде датчиков, усилителей, интегральных микросхем, что в совокупности отражалось на габаритах блока управления, стоимости, сложности изготовления и ремонтпригодности.

В начале 1980-х годов после коммерциализации микропроцессоров появились БДПМ с векторной системой управления общего назначения. С развитием микропроцессоров стала возможна обработка сигналов с более точных датчиков положения и скорости, множество усилителей и микросхем заменялись одним контроллером, имеющим как аналоговые, так и цифровые входы и выходы.

Несмотря на большое развитие и распространение БДПМ с векторной системой управления, БДПТ не утратил своей актуальности. Появление программируемых микроконтроллеров позволило решить основную проблему, существующую у такого способа управления: пуль-

сации электромагнитного момента при коммутации фаз. Особенно остро этот недостаток ощущается на высоких скоростях и при малом моменте инерции системы, что ограничивало применение таких приводов во многих системах.

Пульсация электромагнитного момента в момент коммутаций фаз возникает вследствие пульсации тока в некомутируемой фазе. Естественная скорость спада тока в отключаемой фазе и скорость нарастания тока в подключаемой фазе не одинакова. Разность этих скоростей зависит от индуктивности обмоток, токовой нагрузки, скорости вращения ротора и величины прикладываемого напряжения к фазам. Если контролировать скорость изменения величины тока в коммутируемых фазах, можно добиться постоянства тока в некомутируемой фазе, что уберёт пульсации электромагнитного момента в период коммутации.

Плавность коммутации можно соблюдать ограничением спада тока в отключаемой фазе, ускорением или ограничением нарастания тока в подключаемой фазе, или же комбинированием этих методов. Для устранения пульсаций электромагнитного момента на всём диапазоне возможных частот вращения ротора более совершенным будет комбинированный подход. На рис. 1 представлены фазные токи БДПТ в период коммутации и возможные варианты снижения пульсаций электромагнитного момента [3].

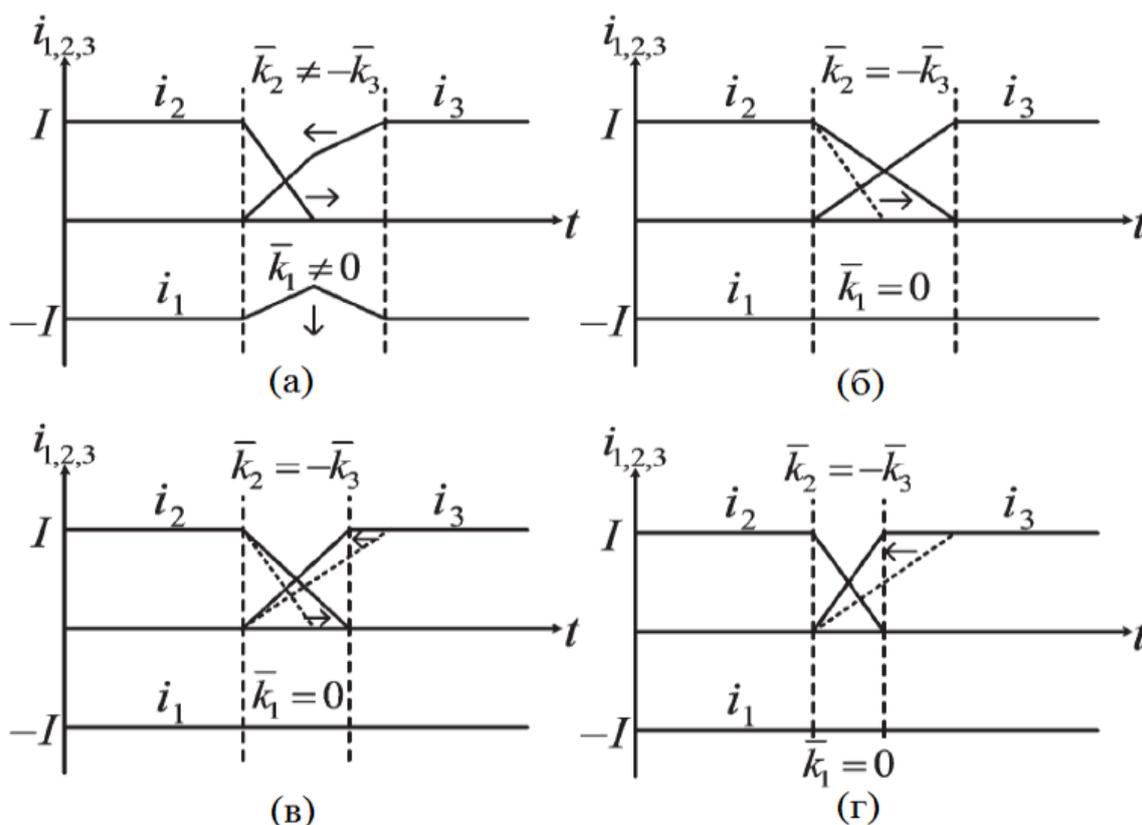


Рис. 1. Фазные токи БДПТ в период коммутации и возможные варианты снижения пульсаций электромагнитного момента: а – коммутация, вызывающая пульсации момента, б – уменьшение скорости спада тока отключаемой фазы; в – уменьшение скорости спада тока отключаемой фазы вместе с ускорением нарастания тока в подключаемой фазе; г – ускорение нарастания тока подключаемой фазы

На рис. 2 и 3 представлены пульсации тока и электромагнитного момента БДПТ при коммутации фаз с ограничением скорости спада тока отключаемой фазы (рис. 2) без ограничения (рис. 3).

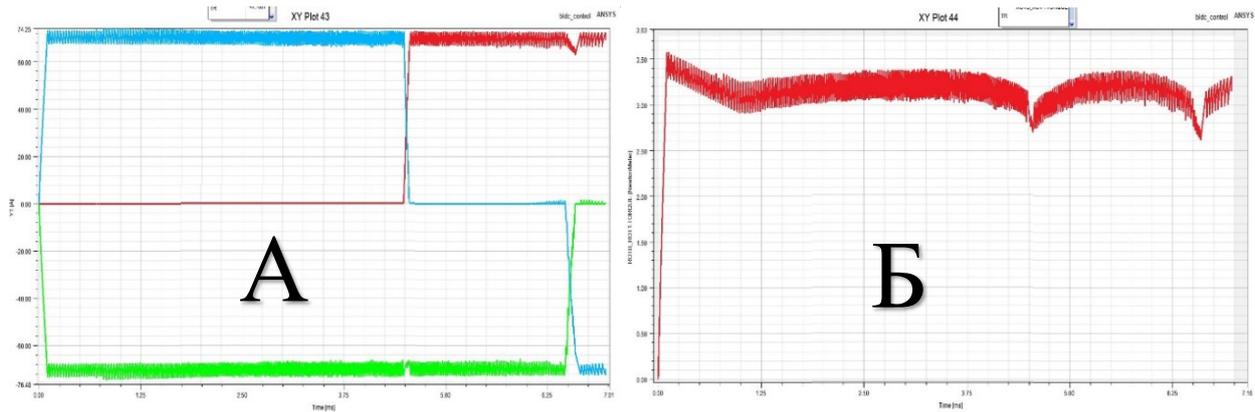


Рис. 2. А – пульсации тока в некоммутируемой фазе с ограничением скорости спада тока отключаемой фазы; Б – пульсации электромагнитного момента с ограничением скорости спада тока отключаемой фазы

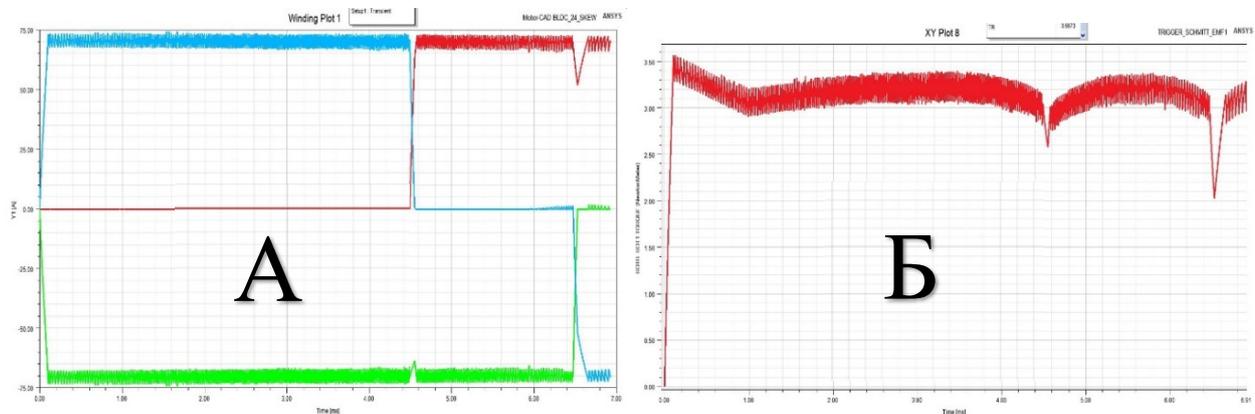


Рис. 3. А – пульсации тока в некоммутируемой фазе без ограничения скорости спада тока отключаемой фазы; Б – пульсации электромагнитного момента без ограничения скорости спада тока отключаемой фазы

Обилие публикаций, разнообразие применяемых методик, их новизна с качественным отличием друг от друга свидетельствуют об интенсивности исследований в области БДПМ, что подтверждает перспективность данного вида электрических машин, которые совместили в себе технологическую простоту двигателей переменного тока, и превзошли регулировочные способности двигателей постоянного тока. В свою очередь, БДПТ, как один из видов БДПМ, несмотря на довольно устаревший метод управления, благодаря развитию аппаратных и программных средств не теряет своей актуальности, и за счёт устранения присущих ему недостатков, может использоваться в ещё большем количестве технологических процессов, конкурируя с электроприводами переменного тока на полеориентированном принципе управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корельский Д.В., Потапенко Е.М., Васильева Е.В. Обзор современных методов управления синхронными двигателями с постоянными магнитами // «Радиоэлектроника. Информатика. Управление». – 2001. – С. 155–159.
2. Blaschke F. Das Prinzip der Feldorientierung die Grundlage für die Transvektor – Regelung von Drehfeldmaschinen // Siemens Zeitschrift. – 1971.
3. Kim I., Nakazawa N., Kim S., Park C., Yu C. Compensation of torque ripple in high performance BLDC motor drives // Control Engineering Practice. – 2010. – Vol. 18(10). – P. 1166–1172. doi:10.1016/j.conengprac.2010.06.003