

БЕСКОЛЛЕКТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПРЯМЫМ УПРАВЛЕНИЕМ МОМЕНТА БЕЗ КОНТРОЛЯ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ

Д.И. Ульянов

Томский политехнический университет, аспирант, diu3@tpu.ru

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

Бесколлекторный двигатель постоянного тока (БДПТ) является аналогом двигателя постоянного тока (ДПТ). В ДПТ электромагнитный момент возникает при протекании тока по секциям обмотки якоря, находящихся в неподвижном магнитном поле обмотки возбуждения (постоянных магнитов), следовательно, при постоянстве тока электромагнитный момент будет неизменным. Неконтролируемые пульсации электромагнитного момента в ДПТ возникают во время коммутации секций обмотки с помощью коллектора и щёток.

В БДПТ механический коллектор со щётками заменяется электронным блоком управления (ЭБУ). Фактически, БДПТ представляет собой обращённый ДПТ с тремя коллекторными пластинами, секциями обмотки якоря в данном случае становятся фазы обмотки статора.

Для устранения пульсаций электромагнитного момента и в целом для более точного управления моментом электродвигателя (ЭД) необходимо контролировать потокосцепление и величину тока, протекающего в обмотке статора.

Задача прямого управления моментом БДПТ решается тремя способами: с помощью прямого контроля потокосцепления, с помощью косвенного контроля потокосцепления и без контроля потокосцепления [1–3].

При отсутствии контроля потокосцепления ЭД со стороны ЭБУ для устранения пульсаций электромагнитного момента между коммутациями секций требуется спроектировать магнитную систему электродвигателя таким образом, чтобы ток, протекающий в обмотке между коммутациями, находился под воздействием неизменяющегося магнитного поля.

Однако, пульсации электромагнитного момента в БДПТ возникают не только за счёт изменения магнитного потока, действующего на витки обмотки, но и за счёт пульсаций тока. Особенно сильно пульсации тока проявляются во время коммутаций фаз [4].

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод о том, что прямое управление моментом БДПТ без контроля потокосцепления возможно при постоянстве магнитного потока, пронизывающего витки обмотки статора, по которым протекает ток, и при отсутствии неконтролируемых пульсаций тока как в межкоммутационный период, так и во время коммутации фаз.

В данной статье рассмотрен бесколлекторный электропривод постоянного тока с прямым управлением момента без контроля потокосцепления с датчиками положения ротора Холла и вариантом магнитной системы ЭД, в котором скорость изменения потокосцепления $d\psi/dt$ остаётся неизменной на протяжении 120 градусов электрического вращения ротора (в установившемся режиме). Такая магнитная система ЭД не требует контроля потокосцепления для прямого управления моментом.

На рис. 1 показана структурная схема электропривода на основе БДПТ с прямым управлением момента без контроля потокосцепления.

Электродвигатель приводится в действие трёхфазным инвертором напряжения с питанием от источника постоянного тока 48 В. Частота переключения инвертора является плавающей и зависит от нескольких параметров: величины токовой нагрузки, индуктивности обмотки статора, величины фазных ЭДС. Верхняя граница частоты переключения при данной логике управления устанавливается скоростью аналогово-цифрового преобразования контроллером. В рассматриваемом случае предельная частота равна 50 кГц.

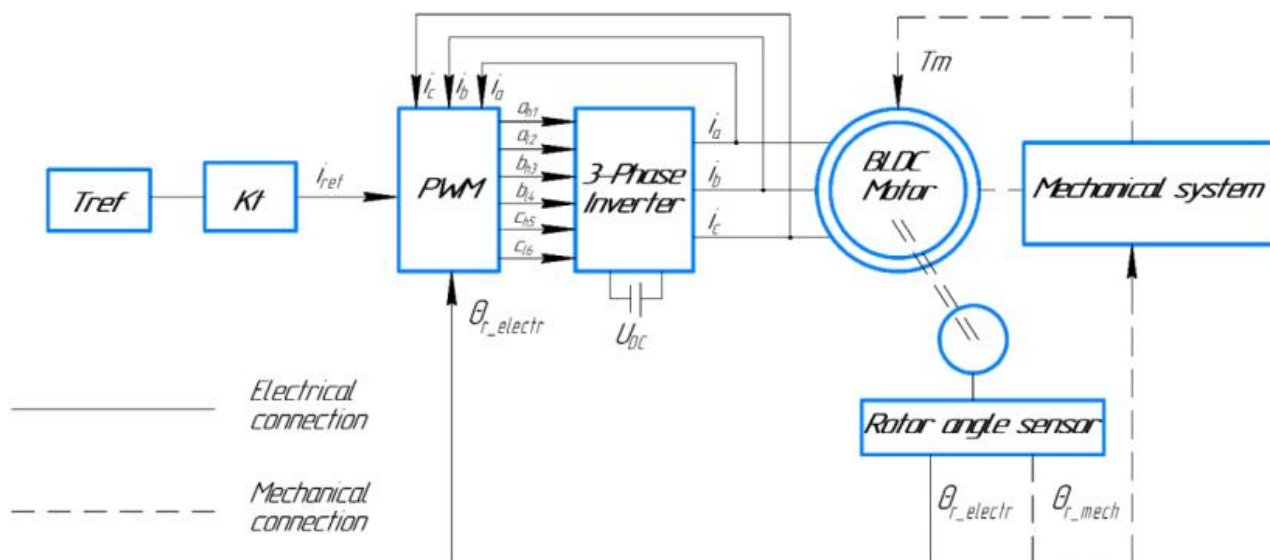


Рис. 1. Структурная схема электропривода на основе БДПТ с прямым управлением момента без контроля потокосцепления

На рис. 2 представлен график отработки электроприводом заданного момента. Электромагнитный момент ЭД полностью повторяет форму заданного момента без задержек и ярко выраженных пульсаций, что говорит о высоких динамических показателях данного электропривода.

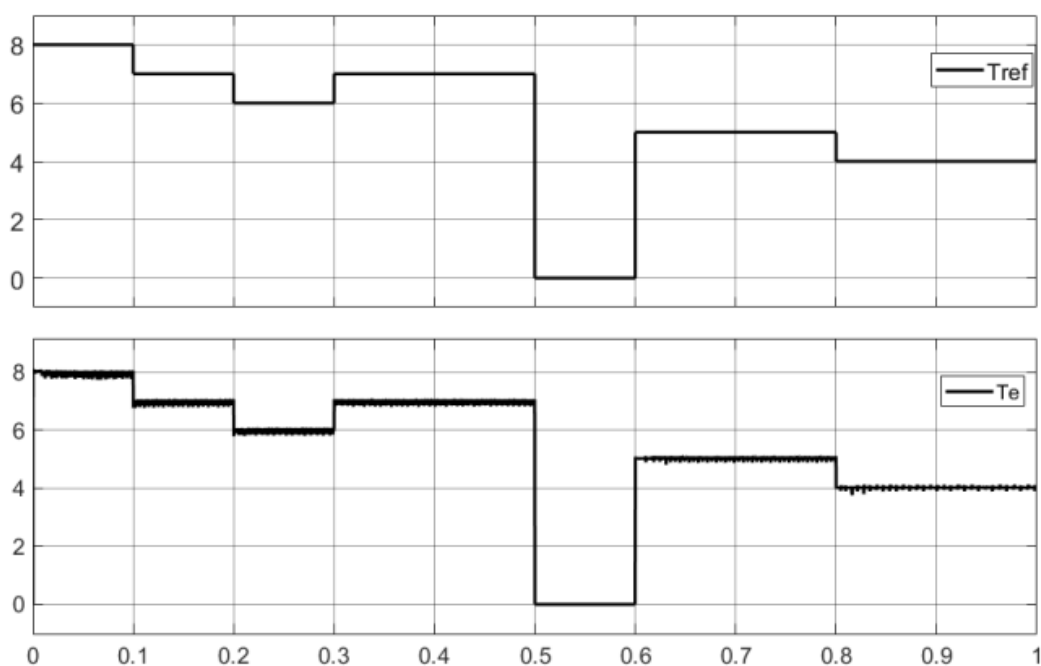


Рис. 2. Зависимость выходного момента от момента задания

На рис. 3 представлен фазный ток ЭД. Фактически прямое управление моментом БДПТ подразумевает прямое управление током ЭД. Сигнал задания на момент после усиления через коэффициент момента переходит в сигнал задания на ток. На рисунке можно заметить, что ток имеет трапециевидальную форму, и полностью повторяет форму сигнала задания на момент.

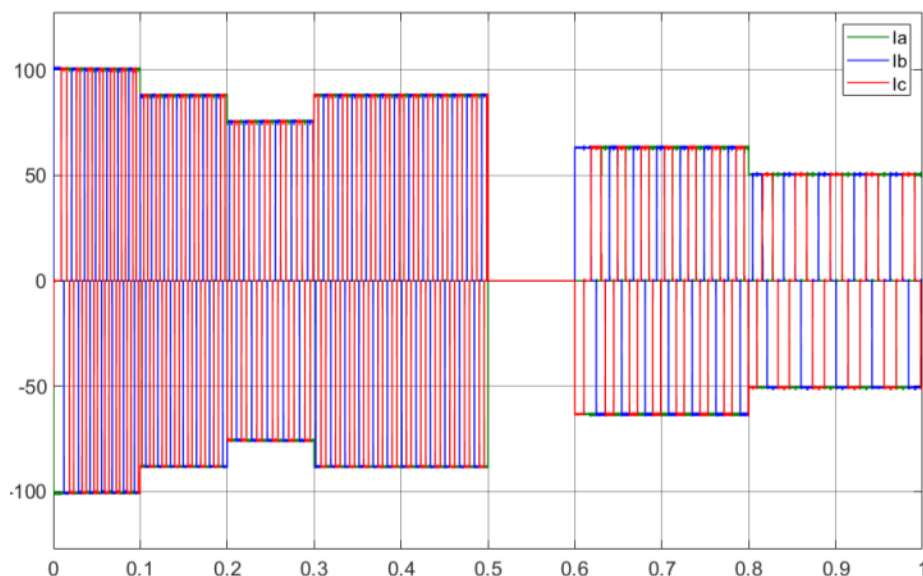


Рис. 3. Фазный ток ЭД

Проведённые исследования позволяют сделать вывод о том, что полученная авторами имитационная модель электропривода на основе БДПТ с прямым управлением момента без контроля потокосцепления адекватно отображает соответствующие динамические электро-механические процессы. Данная модель благодаря простоте своей реализации может быть легко интегрирована в различные системы и механизмы. Главными преимуществами такой системы управления являются:

- быстрый отклик системы на задающий сигнал, благодаря отсутствию каких-либо математических операций в системе управления ЭД. Алгоритм построен чисто на логических операциях;
- практически полное отсутствие пульсаций электромагнитного момента в рабочем диапазоне скоростей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Development of a model of high-quality brushless DC electric drive systems/ T.Kh. Abuzyarov, A.S. Plekhov, A.B. Daryenkov, A.I. Ermolayev // Vestnik of Ivanovo State Energy University. – 2020. – № 1. – С. 31–45. – DOI 10.17588/2072-2672.2020.1.031-045. – EDN BUARIL.
2. Zhang Q., Deng J., Fu N. Minimum Copper Loss Direct Torque Control of Brushless DC Motor Drive in Electric and Hybrid Electric Vehicles // IEEE Access. – 2019. – V. 7, P. 113264–113271, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2927416. keywords: {Couplings;Stators;Torque;Torque measurement;Copper;Torque control;Voltage control;Brushless dc motor (BLDCM);direct torque control (DTC);maximum torque per ampere (MTPA);minimum copper loss;stator flux linkage control},
3. Liu Y., Zhu Z.Q., Howe D. Direct Torque Control of Brushless DC Drives With Reduced Torque Ripple. Industry Applications // IEEE Transactions on. – 2005. – V. 41. – P. 599–608. 10.1109/TIA.2005.844853.
4. Пульсации электромагнитного момента бесконтактного двигателя постоянного тока / А.В. Сапселев, Н.П. Савин, С.А. Харитонов, О.Е. Овчинникова // Инновационные, информационные и коммуникационные технологии. – 2018. – № 1. – С. 369–373. – EDN PNUBCX.