

ТЯГОВЫЙ ИНВЕРТОР ЭКСКУРСИОННОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

В работе рассматривается разработка тягового инвертора для экскурсионного электромобиля с использованием трёхфазного инвертора и алгоритма векторного управления FOC. Для питания драйверов силовых ключей применяется обратноходовой преобразователь с гальванической развязкой. Предложенные решения обеспечивают высокую эффективность и надёжность работы электропривода.

Введение

Основной функцией тяговых инверторов, применяемых в экскурсионных электромобилях, является преобразование энергии аккумуляторной батареи постоянного тока в управляемое трёхфазное переменное напряжение, необходимое для питания и регулирования работы электродвигателя. Разработка тягового инвертора для экскурсионного электромобиля обусловлена быстрым ростом сегмента рынка низкоскоростного электротранспорта. Проектируемое устройство должно представлять собой надёжное и энергоэффективное устройство, способное обеспечить работу электропривода в условиях реальной эксплуатации экскурсионных электромобилей, сочетая в себе достаточную мощность, гибкость настройки и современный уровень функциональности.

I. Трёхфазный инвертор с ШИМ управлением

Трёхфазные инвертора с широтно-импульсной модуляцией используется абсолютным большинством производителей электротранспорта из-за их высокой эффективности и низкой стоимости. Инвертор формирует переменное трёхфазное напряжение из источника постоянного тока путём попеременного переключения ключей верхнего и нижнего плеч каждой фазы. Схема такого инвертора представлена на рисунке 1. Работа трёхфазного инвертора основана на строгом соблюдении алгоритма переключения: в каждом плече не допускается одновременное включение верхнего и нижнего ключей, поскольку это приводит к короткому замыканию звена постоянного тока.

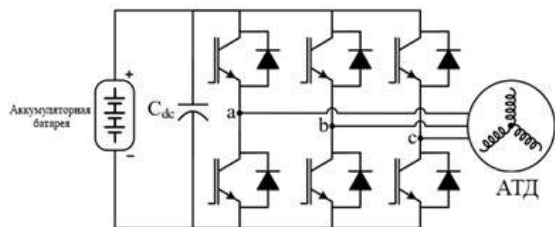


Рис. 1 – Схема трёхфазного инвертора напряжения

На рисунке 2 представлена временная диаграмма работы трёхфазного инвертора в шестиступенчатом режиме коммутации. Слева показаны управляющие сигналы силовых ключей VT1–VT6, а справа — соответствующие фазные напряжения U_a , U_b и U_c , формируемые на выходе инвертора. Управляющие импульсы формируются таким образом, что в каж-

дый момент времени открыты два силовых ключа: один верхнего плеча и один нижнего. Переключение транзисторов происходит через каждые 60 градусов, обеспечивая последовательную коммутацию фаз. Сигналы управления имеют прямоугольную форму и сдвинуты друг относительно друга на 120 градусов, формируя симметричную трёхфазную систему.

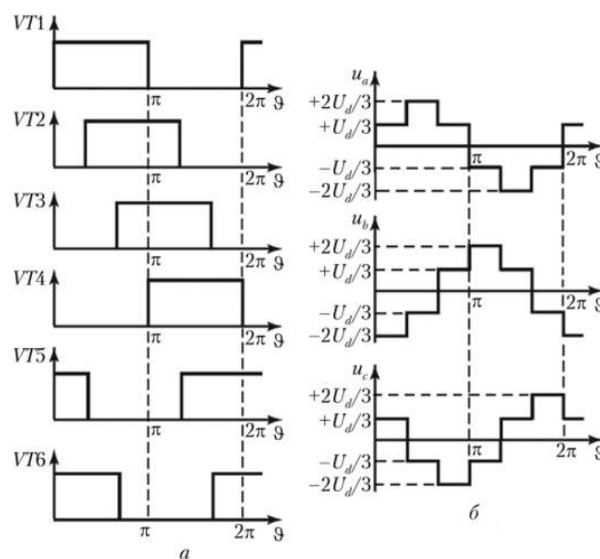


Рис. 2 – Временная диаграмма работы трёхфазного инвертора

На правой части рисунка показаны фазные напряжения относительно средней точки звезды нагрузки. Напряжения имеют ступенчатую форму. Такая форма напряжений характерна для шестиступенчатого режима работы инвертора и обеспечивает формирование переменного трёхфазного напряжения на выходе устройства. Несмотря на наличие высших гармоник, данный режим отличается простотой реализации и высоким коэффициентом использования напряжения питающей шины.

II. Использование обратноходового преобразователя

Для формирования управляющих напряжений силовых ключей будет использоваться обратноходовой преобразователь. Это обусловлено необходимостью получения нескольких изолированных уровней питания при относительно простой схемотехнической реализации. Данный тип преобразователя позволяет формировать как положительные, так и отрицательные напряжения, необходимые для корректного управления транзисторами, при этом обеспечивая гальваническую развязку между силовой и управля-

ющей частью. Кроме того, такой преобразователь позволяет реализовать несколько выходов с одного трансформатора, что уменьшает габариты и упрощает конструкцию устройства. Это делает его эффективным решением для питания драйверов силовых ключей в тяговых инверторах. Трансформатор обратного преобразователя является ключевым элементом, обеспечивающим как передачу энергии, так и гальваническую развязку между входной и выходными цепями. Его применение позволяет формировать несколько уровней напряжения за счёт использования нескольких вторичных обмоток, что особенно важно для питания различных узлов системы.

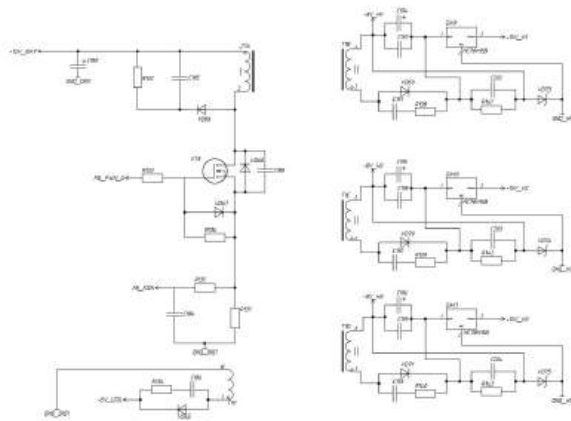


Рис. 3 – Схема обратного преобразователя

III. Использование FOC для формирования управляющих сигналов

Алгоритм векторного управления FOC (Field Oriented Control) применяется для управления тяговыми электродвигателями переменного тока и обеспечивает раздельное регулирование магнитного потока и электромагнитного момента машины. Принцип работы метода основан на преобразовании трёхфазной системы токов статора в вращающуюся систему координат dq, связанную с положением ротора двигателя. В данной системе координат ток раскладывается на две составляющие: компоненту Id, отвечающую за

формирование магнитного потока, и компоненту Iq, определяющую величину создаваемого электромагнитного момента. Такой подход позволяет реализовать управление двигателем переменного тока по аналогии с двигателем постоянного тока независимо от возбуждения, что значительно упрощает процесс регулирования и повышает динамические характеристики электропривода.

Работа алгоритма включает последовательное выполнение измерения фазных токов и положения ротора, преобразования Кларка и Парка, вычисления составляющих токов Id и Iq, а также их регулирование с помощью PI-регуляторов. На основе рассчитанных управляющих воздействий формируются сигналы широтно-импульсной модуляции для управления силовыми ключами инвертора. Использование FOC обеспечивает высокую точность регулирования скорости и момента, снижение пульсаций тока и повышение энергетической эффективности тягового электропривода, что делает данный метод одним из наиболее распространённых решений в современных системах электротранспорта.

IV. Выводы

Таким образом, разработанная структура тягового инвертора экскурсионного электромотоцикла обеспечивает эффективное преобразование энергии аккумуляторной батареи в управляемое трёхфазное напряжение для питания электродвигателя. Использование трёхфазного инвертора с ШИМ-управлением совместно с алгоритмом векторного управления FOC позволяет повысить точность регулирования скорости и момента, а применение обратного преобразователя обеспечивает гальванически развязанное питание цепей управления силовыми ключами.

Список литературы

1. Electric Vehicle Technology Explained / James Larminie, John Lowry // A John Wiley & Sons, Ltd., Publication. – 2015. – p. 8-16
2. Power Electronics Handbook / Muhammad H. Rashid // Academic Press. – 2017. – p. 231-241
3. Control of Electric Machine Drive Systems / Seung-Ki Sul // A John Wiley & Sons, Ltd., Publication. – 2011. – p. 230-245

Лешик Захар Иванович, студент кафедры теоретических основ электротехники БГУИР, lpgl2014g@gmail.com.

Научный руководитель: Журавлёв Вадим Игоревич, заведующий кафедрой, кандидат технических наук, vadzh@bsuir.by.