

УДК 621.3.077

ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В ТРАНСПОРТЕ

Пономарев Т.С., Кисель И.С.

Научный руководитель – старший преподаватель Михальцевич Г.А.

Тяговый электродвигатель (ТЭД) это электрический двигатель, предназначенный для приведения в движение транспортных средств [1]. Например, таких как электровозы, электропоезда, тепловозы, трамваи, троллейбусы, электромобили, большегрузные автомобили с электроприводом, танки и машины на гусеничном ходу с электропередачей, подъемно-транспортные машины, самоходные краны и т. п. Вращающиеся тяговые электродвигатели регламентируются по ГОСТ 2582-81 (кроме аккумуляторных погрузочно-разгрузочных машин, электротягачей, электротележек и теплоэлектрических автотранспортных систем).

Коллекторный ТЭД изображен на рисунке 1.



Рисунок 1. Коллекторный ТЭД

Основное отличие ТЭД от обычных электродвигателей большой мощности заключается в относительно трудных условиях их монтажа в ограниченном месте для их размещения. Это привело к специфичности их конструкций.

Тяговые двигатели городского и железнодорожного транспорта, а также двигатели мотор-колес автомобилей эксплуатируются в сложных погодных условиях, во влажном и пыльном воздухе. Также в отличие от электродвигателей общего назначения ТЭД работают в самых разнообразных режимах (кратковременных, повторно-кратковременных с частыми пусками), сопровождающихся широким изменением частоты вращения ротора и нагрузки по току. При эксплуатации тяговых двигателей имеют место частые механические, тепловые и электрические перегрузки, тряска и толчки. Поэтому при разработке их конструкции предусматривают повышенную электрическую и механическую прочность деталей и узлов, теплостойкую и влагостойкую изоляцию токоведущих частей и обмоток, устойчивую и надежную коммутацию двигателей. Кроме того ТЭД шахтных электровозов должны удовлетворять требованиям, относящимся к взрывозащищенному электрооборудованию. Тяговые двигатели должны иметь характеристики, обеспечивающие высокие тяговые и энергетические свойства (особенно КПД) подвижного состава. Развитие полупроводниковой техники открыло возможности перехода от двигателей с электромеханической коммутацией к бесколлекторным машинам с коммутацией при помощи полупроводниковых преобразователей. Разновидностью бесколлекторной машины является вентильный двигатель [2].

Вентильный электродвигатель (ВД) – это замкнутая электромеханическая система, состоящая из синхронной машины с синусоидальным распределением магнитного поля в зазоре, датчика положения ротора, преобразователя координат и усилителя мощности [3].

Механическая и регулировочная характеристики вентильного двигателя линейны и идентичны механической и регулировочной характеристикам электродвигателя постоянного тока. Как и электродвигатели постоянного тока, вентильные двигатели работают от сети постоянного тока. ВД можно рассматривать как двигатель постоянного тока, в котором щёточно-коллекторный узел заменён электроникой, что подчёркивается словом «вентильный», то есть «управляемый силовыми ключами» (вентильми). Фазные токи вентильного двигателя имеют синусоидальную форму. Как правило, в качестве усилителя мощности применяется автономный инвертор напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

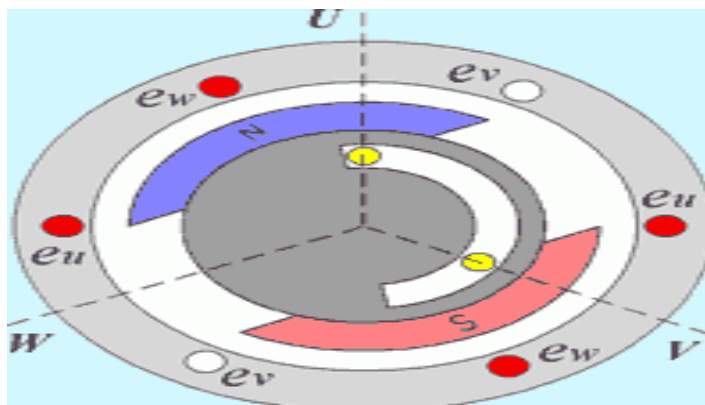


Рисунок 2 Принцип работы трёхфазного вентильного двигателя

Вентильный двигатель следует отличать от бесколлекторного двигателя постоянного тока (БДПТ), который имеет трапецеидальное распределение магнитного поля в зазоре и характеризуется прямоугольной формой фазных напряжений [4]. Структура БДПТ проще, чем структура ВД (отсутствует преобразователь координат, вместо ШИМ используется 120- или 180-градусная коммутация, реализация которой проще ШИМ).

В русскоязычной литературе двигатель называют вентильным, если противо-ЭДС управляемой синхронной машины синусоидальная, а бесконтактным двигателем постоянного тока, если противо-ЭДС трапецеидальная.

В англоязычной литературе такие двигатели обычно рассматриваются в составе электропривода и упоминаются под аббревиатурами PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) или BLDC (Brushless Direct Current Motor). Стоит отметить, что аббревиатура PMSM в англоязычной литературе чаще используется для обозначения самих синхронных машин с постоянными магнитами и с синусоидальной формой фазных противо-ЭДС, в то время как аббревиатура BLDC аналогична русской аббревиатуре БДПТ и относится к двигателям с трапецеидальной формой противо-ЭДС (если иная форма не оговорена специально).

Вентильный двигатель не является электрической машиной в традиционном понимании, поскольку его работа затрагивает ряд вопросов, связанных с теорией электропривода и систем автоматического управления. Это структурная организация, использование датчиков и электронных компонентов, а также программное обеспечение.

Вентильные двигатели, сочетают в себе надёжность машин переменного тока с хорошей управляемостью машин постоянного тока. Они являются альтернативой двигателям постоянного тока (ДПТ), которые характеризуются рядом изъянов, связанных со щёточно-коллекторным узлом (ЩКУ), таких как искрение, помехи, износ щёток, плохой теплоотвод якоря и т.д. Отсутствие ЩКУ в ВД позволяет применять их в тех приложениях, где использование ДПТ затруднено или невозможно.

Рассмотрим принцип работы двухфазного вентильного двигателя, структура которого показана на рисунке 3.

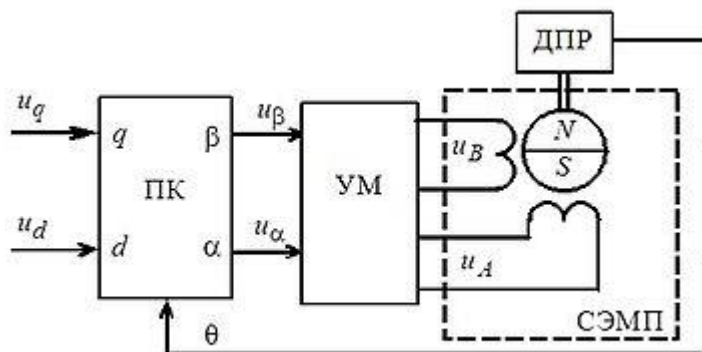


Рисунок 3 Структура двухфазного вентильного двигателя с синхронной машиной с постоянными магнитами на роторе: ПК – преобразователь координат, УМ – усилитель мощности, СЭМП – синхронный электромеханический преобразователь (синхронная машина), ДПР – датчик положения ротора

На входы преобразователя координат (ПК) поступает напряжение постоянного тока, действие которого аналогично действию напряжения на якорь и обмотку возбуждения двигателя постоянного тока. Сигналы, представляют собой проекции вектора напряжения управления на оси вращающейся системы координат, связанной с ротором ВД (а точнее – с вектором потока ротора). Преобразователь координат осуществляет преобразование проекций в проекции неподвижной системы координат, связанной со статором и является в этом случае заданием значения амплитуды фазных напряжений. А ПК, осуществляя позиционную модуляцию сигнала, формирует гармонические сигналы, которые УМ преобразует в фазные напряжения. Синхронный двигатель в составе вентильного двигателя часто называют синхронным электромеханическим преобразователем (СЭМП).

Как правило, электронная часть ВД коммутрует фазы статора синхронной машины так, чтобы вектор магнитного потока статора был ортогонален вектору магнитного потока ротора. При этом осуществляется т. н. векторное управление. При соблюдении ортогональности потоков статора и ротора обеспечивается поддержание максимального вращающего момента ВД в условиях изменения частоты вращения. Это предотвращает выпадение ротора из синхронизма и обеспечивает работу синхронной машины с максимально возможным для неё КПД. Для определения текущего положения потока ротора вместо датчика положения ротора могут использоваться токовые датчики.

Электронная часть современного ВД содержит микроконтроллер и транзисторный мост. Для формирования фазных токов используется принцип ШИМ. Микроконтроллер отслеживает соблюдение заданных законов управления, а также производит диагностику системы и её программную защиту от аварийных ситуаций.

Иногда датчик положения ротора отсутствует, а положение оценивается системой управления по измерениям токовых датчиков с помощью наблюдателей (т. н. «бездатчиковое» управление ВД). В таких случаях, за счёт удаления дорогостоящего и, зачастую, громоздкого датчика положения, уменьшается цена и массо-габаритные показатели электропривода с ВД, однако усложняется управление, снижается точность определения положения и скорости.

В приложениях средней и большой мощности в систему могут дополнительно включаться электрические фильтры для смягчения негативных эффектов ШИМ: перенапряжений на обмотках, подшипниковых токов и снижения КПД. Впрочем, это характерно для всех типов двигателей.

Благодаря высокой надёжности и хорошей управляемости, вентильные двигатели применяются в широком спектре приложений: от компьютерных вентиляторов и CD/DVD-

приводов до роботов и космических ракет. Широкое применение ВД нашли в промышленности, особенно в системах регулирования скорости с большим диапазоном и высоким темпом пусков, остановок и реверса; авиационной технике, автомобильном машиностроении, биомедицинской аппаратуре, бытовой и некоторой другой технике.

Достоинства:

- широкий диапазон изменения частоты вращения;
- отсутствие узлов и контактов, требующих частого обслуживания (коллектора);
- возможность использования во взрывоопасной и агрессивной среде;
- большая перегрузочная способность по моменту;
- высокие энергетические показатели (КПД выше 90 %);
- большой срок службы и высокая надёжность за счёт отсутствия скользящих электрических контактов.

Вентильные двигатели характеризуются и некоторыми недостатками, главный из которых – высокая стоимость. Однако, говоря о высокой стоимости, следует учитывать и тот факт, что вентильные двигатели обычно используются в дорогостоящих системах с повышенными требованиями по точности и надёжности.

Недостатки:

• Высокая стоимость двигателя, обусловленная частым использованием дорогостоящих постоянных магнитов в конструкции ротора. Стоимость электропривода с ВД, однако, сопоставима со стоимостью аналогичного электропривода на основе ДПТ с независимым возбуждением (регулируемые характеристики такого двигателя и ВД сопоставимы). Вообще говоря, в вентильном двигателе может быть использован и ротор с электромагнитным возбуждением, однако это сопряжено с комплексом практических неудобств. В ряде случаев предпочтительным оказывается применение асинхронного двигателя с преобразователем частоты.

- Относительно сложная структура двигателя и управление им.

Литература

1. Герман-Галкин, С.Г. Модельное проектирование синхронных мехатронных систем: Глава 9 / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с. – ISBN 978-5-903383-39-9.
2. Борцов, Ю.А. Адаптивно-модальное управление в следящих системах с бесконтактными моментными двигателями // Автоматизированный электропривод с упругими связями: Глава 8 / Ю.А. Борцов, Г.Г. Соколовский. – 2-ое изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 288 с. – ISBN 5-283-04544-7.
3. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский – М.: "Академия", 2006. – 272 с. – ISBN 5-7695-2306-9.
4. Микеров, А.Г. Управляемые вентильные двигатели малой мощности [Текст]: учебное пособие / А.Г. Микеров. – СПб.: СПбГЭТУ, 1997. – 64 с.