

Тяговые двигатели на постоянных магнитах в электроприводе

В.В. Лохнин, д-р техн. наук, И.А. Бербиренков, асп.

Рассмотрим вентильный тяговый двигатель, который является бесконтактным аналогом тяговому двигателю постоянного тока и имеет дополнительные достоинства: надежное возбуждение и отсутствие потерь на него и возможность работы с коэффициентом мощности, равным единице и даже меньше нуля.

Ключевые слова: вентильный тяговый двигатель, тяговый электропривод, электромобиль, тяговая аккумуляторная батарея, двигатели с возбуждением от постоянных магнитов.

Traction Engines on Permanent Magnets in Electric Drive

V.V. Lokhnin, Doctor of Engineering, I.A. Berbirenkov, Post Graduate Student

The article deals with the valve traction engine which is a contactless analogue of traction engine of direct current. This valve traction engine has supplementary advantages. They are reliable excitation and the losses absence on it, the possibility of working with the power coefficient equaled one or less zero.

Key words: valve traction engine, traction electric drive, electromobile, tractive storage battery, engine with excitation of permanent magnets.

Выбор того или иного тягового электродвигателя (ТЭД) в электроприводе (ТЭП) электромобиля (ЭМБ) прежде всего зависит от области применения ЭМБ и требований, предъявляемых к нему. Несмотря на то, что каждый ТЭП предъявляет собственные требования к системе управления и имеет оптимальные характеристики лишь в определенном диапазоне частот вращения, существуют общие основные требования, предъявляемые к ТЭП: простота изготовления, надежность, удобство обслуживания, легкость регулирования, простота системы управления, высокий момент во всем диапазоне частот вращения, пригодность для рекуперативного торможения, высокий КПД.

При сравнении различных вариантов ТЭП ЭМБ их КПД, наряду с собственной массой, является одним из решающих факторов, так как применяемые в настоящее время тяговые аккумуляторные батареи (ТАБ) имеют ограниченный запас энергии и значительную массу.

При всех достоинствах ТЭП с ТЭД постоянного тока отметим их основной и заметный недостаток – наличие механического контакта в щеточно-коллекторном узле ТЭД.

Поэтому, несмотря на сложную и дорогую систему регулирования ТЭП с ТЭД переменного тока (асинхронными и синхронными), указанные ТЭП оказываются более надежными, легкими и долговечными.

Преимущества асинхронных ТЭД были реализованы фирмой General Motors, которая первой использовала их на своих опытных ЭМБ.

ТЭП с синхронными ТЭД выполняется по схеме вентильного двигателя (ВД), в котором легко обеспечивается работа с $\cos\phi = 1$ и, более того, в случае необходимости с $\cos\phi < 1$.

Возможность бесконтактного варианта тягового электропривода (ТЭП), минимизация по-

теперь, надежное возбуждение ставят задачу применения в указанных ТЭП двигателей с возбуждением от постоянных магнитов (ВДПМ) по структуре вентильного электропривода (рис. 1).

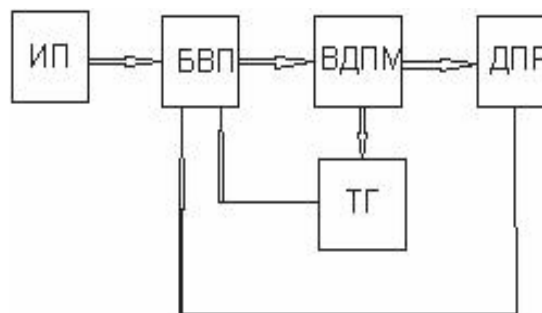


Рис. 1. Схема тягового электропривода с вентильным тяговым электродвигателем: ИП – источник питания; БВП – бортовой вентильный преобразователь; ВДПМ – вентильный тяговый электродвигатель с возбуждением от постоянных магнитов; ДПР – датчик положения ротора; ТГ – тахогенератор

Для обеспечения минимальных массы и габаритов ВДПМ необходимо выбирать многополюсный ротор с $2p \geq 6$ (где $2p$ – число полюсов ротора), при этом наилучший результат, в смысле указанного выше минимума, получим за счет применения для возбуждения закритических постоянных магнитов (ПМ), к которым относятся ферриты бария или стронция, редкоземельные элементы, кобальт и неодим-железо-бор. Для таких ПМ установлено, что их целесообразно применять в конструкциях ротора с параллельным включением ПМ по магнитному потоку: в когтеобразном роторе или с коллекторным размещением ПМ [1].

Конструкция когтеобразного ротора в многополюсном варианте (рис. 2) содержит цилиндрический ПМ, намагниченный по оси цилиндра, как правило, из феррита бария или

стронция и котгеобразную систему из магнитомягкого материала.

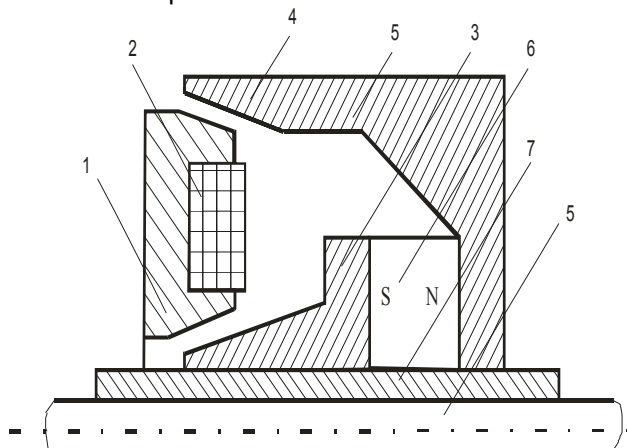


Рис. 2. Котгеобразный ротор: 1 – неподвижный магнитопровод шунта; 2 – обмотка возбуждения; 3 – кольцо, объединяющее полюса одной полярности; 4 – полюса; 5 – вал; 6 – магнит; 7 – втулка

Основные достоинства котгеобразного ротора – конструктивная простота и надежность, а недостаток – заметное межполюсное рассеяние.

Конструкция ротора с коллекторным размещением ПМ (рис.3) более универсальна в смысле использования магнитного материала – в ней эффективны все закритические ПМ.

Дополнительным достоинством этой конструкции является возможность концентрации магнитного потока не только за счет изменения числа полюсов, но и за счет выполнения ротора заметно выступающим за статор (под лобовыми частями обмотки статора).

Основной недостаток конструкции ротора коллекторного типа – сложность обеспечения достаточной механической прочности, в особенности, на высоких частотах вращения.

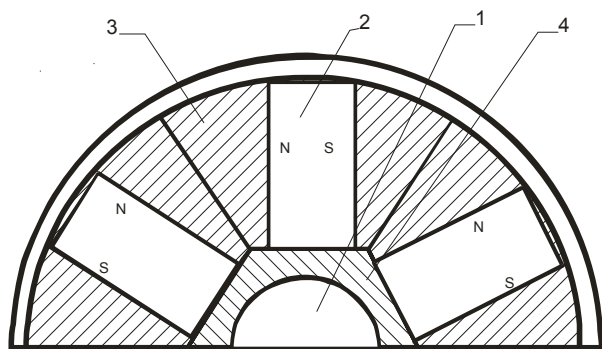


Рис. 3. Ротор с коллекторным размещением ПМ: 1 – вал; 2 – ПМ; 3 – магнитомягкие полюсные секторы; 4 – немагнитная втулка

Предлагаются как перспективные два привода ведущих колес электромобиля: безредукторный (с мотор-колесами) и с понижающим редуктором. Поскольку в первом варианте есть жесткое ограничение по наружному диаметру

ВДПМ (ограничение диаметром колеса) и максимальной частоте вращения, то на основании оптимизационных расчетов было показано, что положительный результат получаем, применяя высокоэнергетические ПМ (неодим-железо-бор).

Во втором варианте (с приводом колес через понижающий редуктор и дифференциал) нет жестких вышеуказанных ограничений, поэтому целесообразно применить дешевые ферритовые ПМ.

Основные параметры разработанных ТЭП с ВДПМ на неодим-железо-бор ПМ и жидкостной системой охлаждения [2] приведены в табл. 1.

Таблица 1. Модификации тягового электропривода с двигателями с возбуждением от постоянных магнитов

Наименование параметра	ТЭП-12		ТЭП-17	
Напряжение ИП, В	120		220	
Мощность, кВт:				
– номинальная	12		17	
– максимальная	25		40	
Частота вращения, об/мин:				
– номинальная	2500	5000	2500	5000
– максимальная	6500	13000	6500	13000
Номинальный ток, А	230	240	200	200
Максимальный ток, А	500	500	500	500
КПД	0,94	0,94	0,94	0,94
Диаметр ВДПМ, мм	168	145	168	145
Длина ВДПМ, мм	280	220	500	350
Масса ВДПМ, кг	34	13,6	67	26,4

Анализ полученных данных (табл. 1) показал, что ВДПМ длительной мощности в 12 кВт и максимальной (кратковременной) в 25 кВт имеет массу 13,6 кг при КПД 94%, а ВДПМ длительной мощности в 17 кВт и максимальной (кратковременной) в 40 кВт имеет массу 26,4 кг с КПД 94%.

В табл. 2 приведены данные проведенного анализа [2] основных сравнительных характеристик ТЭП с асинхронным тяговым двигателем, вентильным и постоянного тока.

Таблица 2. Основные сравнительные характеристики тяговых электроприводов с асинхронным, вентильным и постоянным тяговыми двигателями

Параметры	Тип ТЭП		
	с двигателем постоянного тока	с асинхронным двигателем	с ВДПМ
Максимальная мощность, кВт	40	40	40
Напряжение питания, В	220	220	220
Максимальный ток, А	410	500	192
Частота вращения – номинальная	2200	3000	5000
– максимальная	6700	8000	13000
Масса тягового двигателя, кг	92	70	26,4
Масса вентильного преобразователя, кг	8	22	22
Масса ТЭП, кг	109	92	48,4
Стоимость ТЭП, у.е.	2500	5000	5400

Заключение

Таким образом, тяговые электродвигатели на постоянных магнитах с роторами когтеобразного или коллекторного типов обеспечивают бесконтактность тяговых электроприводов, высокую надежность, относительно невысокую стоимость и конкурентоспособные удельные массо-габаритные показатели. Выполненные на дешевых и доступных ПМ типа ферритов бария или стронция они являются перспективными в новых разработках тяговых электроприводов.

Сравнительный анализ тяговых электроприводов показал, что наиболее перспектив-

ным является тяговый электропривод с двигателем с возбуждением от постоянных магнитов, который в 1,5–2,5 раза легче сравнимых электроприводов, имеет максимальный КПД и лучшие регулировочные характеристики.

Список литературы

1. **Лохнин В.В.** Бесконтактный тяговый электродвигатель в структуре вентильного электропривода: сб. науч. тр. «Электромеханические системы». – М., 1995. – С. 38–43.
2. **Гурьянов Д.И.** Концепция гибридного микроавтобуса с индивидуальным электроприводом колес: тез. докл. XXXIX МНТК «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения». – М.: МГТУ «МАМИ».

Лохнин Вячеслав Васильевич,
МГТУ «МАМИ»,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой ЭКЭМС,
телефоны: (495) 307-80-64, 223-05-23.

Бербиренков Иван Александрович,
МГТУ «МАМИ»,
аспирант кафедры ЭКЭМС,
телефон (495) 329-93-07,
e-mail: i7v7a7n@inbox.ru