

фальте, чем на грунтовой дороге.

В результате анализа найдена область O (рис. 7) жесткостей задней и передней опор, во всех точках которой их значения являются оптимальными с точки зрения обеспечения допустимых уровней колебаний силового агрегата и внутреннего шума автомобиля.

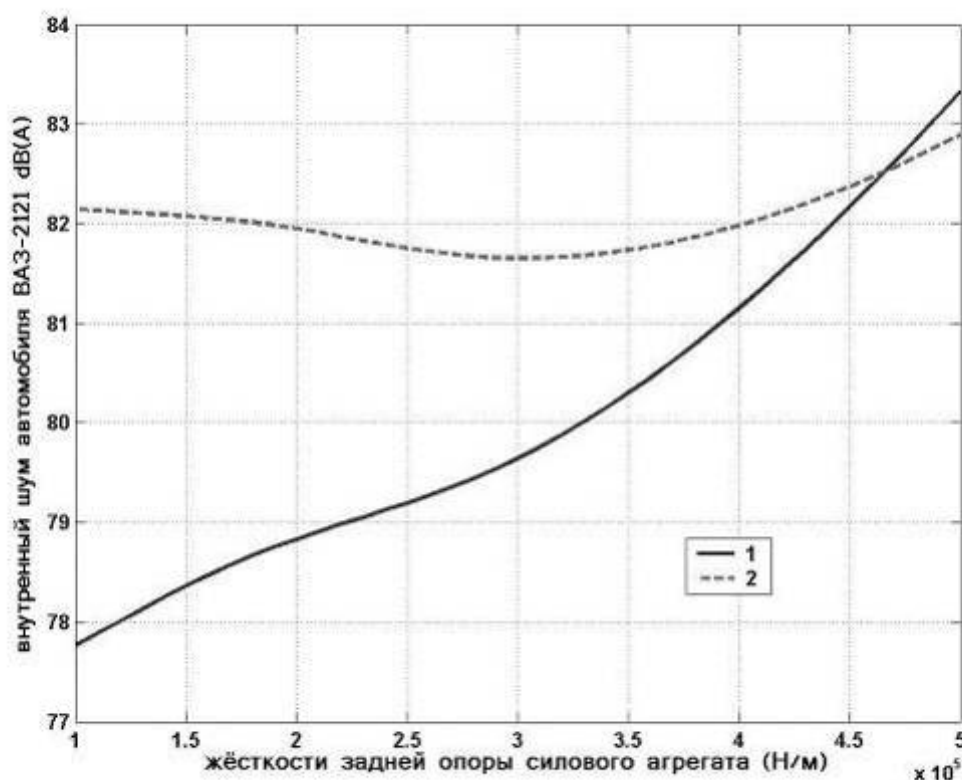


Рис. 8. Уровень внутреннего шума автомобиля ВАЗ-2121 в зависимости от жесткости задней опоры силового агрегата: 1 – при движении на второй передаче 4000 об/мин коленчатого вала; 2 – при разгоне на второй передаче на асфальтированном шоссе.

Литература

1. Латышев Г.В., Минкин Л.М., Тольский В.Е. Метод расчёта колебаний силового агрегата автомобиля, возникающих от воздействия дорожных неровностей. Сборник трудов НАМИ – М., 1973. Выпуск 145. с. 41-54.
2. Ломакин В.В., Черепанов Л. А., Вермеюк В. Н. и др. Оптимизация передачи колебаний от силового агрегата на кузов автомобиля. Издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М., 1979. Выпуск 2. с. 101-106.
3. Ломакин В.В., Нгуен Гуй Чыонг. Алализ и выбор динамических схем для расчета сложных колебаний силового агрегата автомобиля // Сборник науч. конф. «Колесные машины» МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М., 2006. с. 216 – 224.
4. Ротенберг Р. В. Подвеска автомобиля. – М.: Машиностроение, 1972. -392 с.
5. Тольский В. Е., Корчемный Л. В., Латышев Г. В. и др. Колебание силового агрегата автомобиля. – М.: Машиностроение, 1976. -266 с.
6. Шупляков В. С. Колебания и нагруженность трансмиссии автомобиля. – М., 1974. -393 с.
7. Яценко Н.Н., Прутчиков О.К. Плавность хода грузовых автомобилей. – М.: Машиностроение, 1968. -220 с.

Вентильные тяговые двигатели в электроприводе автомобиля

д.т.н., проф. Лохнин В.В., Бербиренков И.А.
МГТУ «МАМИ»

Выбор того или иного тягового электродвигателя (ТЭД) в электроприводе (ТЭП) электромобиля (ЭМБ), прежде всего, зависит от области применения ЭМБ и требований, предъ-

являемых к нему. Хотя каждый ТЭП предъявляет собственные требования к системе управления и имеет оптимальные характеристики лишь в определённом диапазоне частот вращения, но в любом случае к ТЭП предъявляются следующие основные требования: простота изготовления, надёжность, удобство обслуживания, лёгкость 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 надёжными, лёгкими 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 $\cos\varphi = 1$ и, более того, в случае необходимости с $\cos\varphi < 1$.

Возможность бесконтактного варианта тягового электропривода (ТЭП), минимизация потерь, надёжное возбуждение ставят задачу применения в указанных ТЭП двигателей с возбуждением от постоянных магнитов (ВДПМ) по структуре вентильного электропривода (рис. 1).

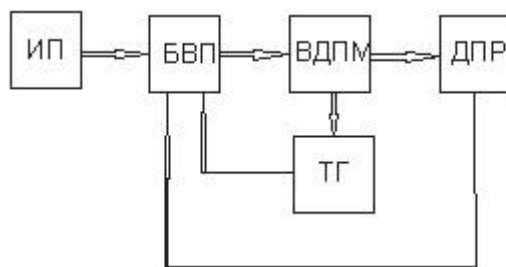


Рис. 1. ТЭП с ВДПМ:

- ИП- источник питания ;
- БВП- бортовой вентильный преобразователь ;
- ВДПМ- вентильный тяговый электродвигатель ;
- 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 применением для возбуждения критических постоянных магнитов (ПМ), к которым относятся ферриты бария или стронция, редкоземельные элементы плюс 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 когтеобразную систему из магнитомягкого материала.

Основные достоинства когтеобразного ротора – конструктивная простота и надёжность, а недостаток – заметное межполюсное рассеяние.

Конструкция ротора с коллекторным размещением ПМ (рис. 3) более универсальна в смысле использования магнитного материала: в ней эффективны все критические ПМ. Дополнительным достоинством этой конструкции является возможность концентрации магнитного потока не только изменением числа полюсов, но и выполнением длины ротора заметно выступающим за статор (под лобовыми частями обмотки статора).

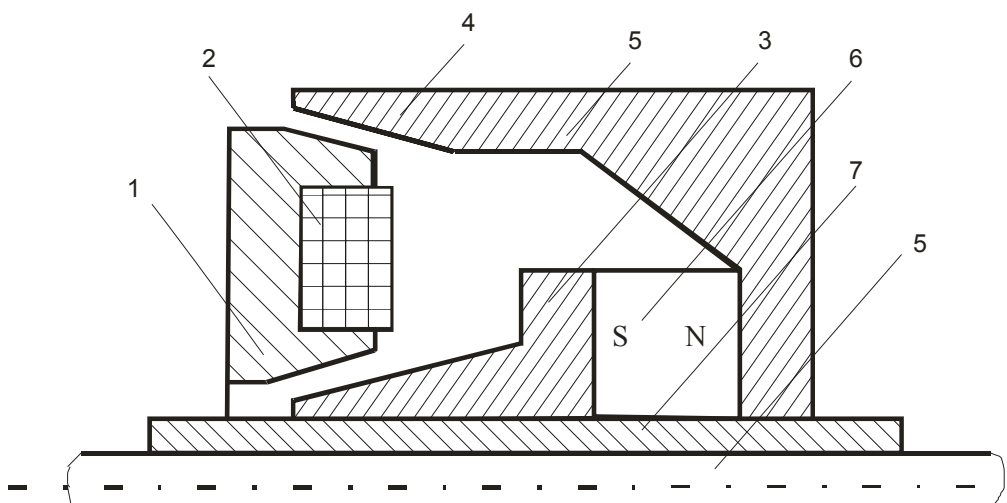


Рис.2. Когтеобразный ротор:

1- неподвижный магнитопровод шунта ;2- обмотка возбуждения; 3- кольцо, объединяющее полюса одной полярности; 4- полюса; 5- вал; 6- магнит; 7- втулка.

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

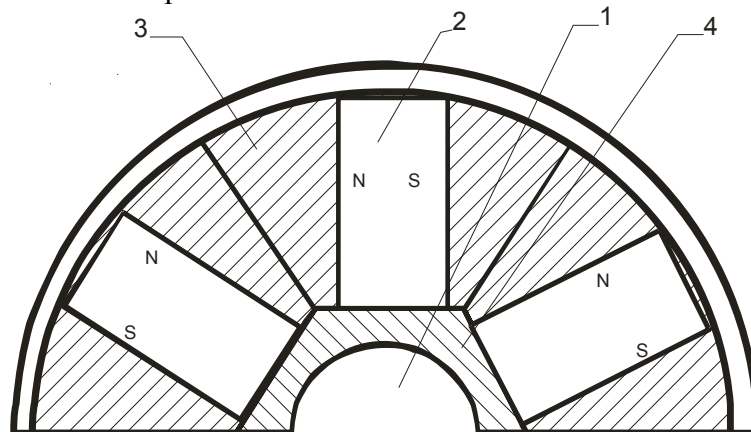


Рис. 3. Ротор с коллекторным размещением ПМ:

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 в этом смысле 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.

Разработанные ТЭП с ВДПМ на неодим-железо-бор ПМ и жидкостной системой охлаждения [2] приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что ВДПМ длительной мощности в 12 кВт и максимальной (кратковременной) в 25 кВт имеет массу 13,6 кг при КПД 94%, а длительной мощности в 17 кВт и максимальной (кратковременной) в 40 кВт имеет массу 26,4 кг с КПД 94%.

В заключение приведены данные проведенного анализа [2] основных сравнительных характеристик ТЭП с асинхронным, вентильным и постоянного тока тяговыми двигателями (табл.2).

Таблица 1. Модификации ТЭП с ВДПМ

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

Таблица 2.

Параметры	Тип ТЭП с двигателем пост. 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

Выводы

Сравнение данных, приведенных в таблице 2 ТЭП показывает, что наиболее перспективным является ТЭП с ВДПМ, который в 1,5-2,5 раза легче сравниваемых ТЭП, к тому же имеет максимальный КПД и лучшие регулировочные характеристики.

Таким образом, тяговые электродвигатели на постоянных магнитах с роторами когтеобразного или коллекторного типов обеспечивают бесконтактность ТЭП, высокую надежность, относительно невысокую стоимость и конкурентоспособные удельные массогабаритные показатели, причем выполненные на дешевых и доступных ПМ типа ферритов бария или стронция и поэтому перспективные в новых разработках ТЭП.

Литература

1. Лохнин В.В. Бесконтактный тяговый электродвигатель в структуре вентильного электропривода. – В кн.: Сб. научных трудов «Электромеханические системы», М, 1995 г., с.38-43.
2. Гурьянов Д.И. Концепция гибридного микроавтобуса с индивидуальным электроприводом колес. – В кн.: Тезисы докладов XXXIX МНТК «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения», М, МГТУ «МАМИ».