

И.Я. Блошенко

РАЗРАБОТКА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОГО ТРАНСПОРТА УКРАИНЫ

Обґрунтовані основні напрямки по розробкам тягових електродвигунів для знову створюваних в Україні перспективних локомотивів, електро- та дизель-поїздів, трамваїв, троллейбусів.

Обоснованы основные направления по разработкам тяговых электродвигателей для вновь создаваемых в Украине перспективных локомотивов, электро- и дизель-поездов, трамваев, троллейбусов.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с Государственной Программой "Развитие рельсового подвижного состава социально-го назначения для железнодорожного транспорта и городского хозяйства", принятой Постановлением Кабинета Министров Украины №769 от 02.06.98 г., предусмотрено создание в Украине в кратчайшие сроки перспективных моделей электровозов, тепловозов, электро- и дизель-поездов, трамваев, троллейбусов с разработкой тягового электрооборудования и тяговых электрических машин специалистами ГП завод "Електротязмаш".

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Высокие технико-экономические показатели создаваемых в Украине перспективных локомотивов, электроподвижного состава (ЭПС) и электрифицированного городского транспорта, их надежная работа в тяжелых эксплуатационных условиях определяются качественным уровнем разработки тяговых электродвигателей (ТЭД). ТЭД, как обязательный элемент преобразования электрической энергии в механическую в электрифицированных транспортных средствах, является электрической машиной предельной мощности, которая должна обеспечить требуемые выходные параметры в минимально возможном объеме из-за жестких габаритных ограничений при высокой надежности в течение длительного срока службы.

Как известно, тяговые свойства электрифицированных транспортных средств характеризуются силой тяги F (кН) и расчетной скоростью движения v (км/ч), при этом редуктор, являясь усилителем момента, одновременно увеличивает частоту вращения вала ТЭД в кратности передаточного отношения μ , позволяя выполнить ТЭД в наименьших габаритах.

Связь между скоростью движения, силой тяги колесной пары и основными параметрами ТЭД, характеризующимися мощностью P , (кВт), моментом M (нМ) и частотой вращения n (об/мин), выражаются зависимостями:

$$P = P_{\text{кп}} = U \cdot I \cdot \eta \cdot \eta_p \cdot 10^{-3} = 0,278 \cdot F_{\text{кп}} \cdot v_{\text{кп}},$$

$$I = \left[\epsilon_{\text{к ср}} / (U \cdot 2p) \right] \cdot (D_{\text{вк}} / V_{\text{max}}) \cdot V_{\text{к max}},$$

$$M = (F_{\text{кп}} \cdot D_{\text{вк}}) / (2 \cdot \mu \cdot \eta_p) = (U \cdot I \cdot \eta) / n = 1,57 \cdot \alpha \cdot B_{\delta} \cdot A \cdot D^2 \cdot L,$$

$$D^2 \cdot L = 2 / \pi \cdot 2M / f_{\text{к}},$$

$$n = (v_{\text{кп}} \cdot \mu \cdot 5,3) / D_{\text{вк}} = (60 \cdot K_{\Delta U} \cdot U \cdot a) / (\Phi \cdot N \cdot P),$$

$$P \cdot n_{\text{max}} = (1,42 \cdot F_{\text{кп}} \cdot \mu \cdot V_{\text{max}}^2) / (D_{\text{вк}} \cdot K_v),$$

где U – напряжение на выводах ТЭД, В; I – ток якоря, А; V_{max} – максимальная скорость локомотива, км/ч; $V_{\text{к max}}$ – максимальная скорость на поверхности коллектора, м/с; η – к.п.д. ТЭД; η_p – к.п.д. редуктора; D , L – диаметр и длина сердечника якоря ТЭД, м; $D_{\text{вк}}$ – диаметр ведущего колеса; α – коэффициент полюсного перекрытия; B_{δ} – индукция в воздушном зазоре, Тл; Φ – магнитный поток, Вб; a – число пар параллельных ветвей обмотки якоря; p – число пар полюсов; N – число проводников обмотки якоря; $\epsilon_{\text{к ср}}$ – среднее межламельное напряжение, В; $K_{\Delta U}$ – коэффициент, учитывающий падение напряжения в элементах ТЭД, В; $f_{\text{к}}$ – удельная касательная сила, Н/м²; K_v – скоростной диапазон.

Анализ вышеприведенных зависимостей показывает, что ТЭД являются наиболее напряженными электрическими машинами по коммутационным и потенциальным условиям, по токосяему, нагреву, механической прочности.

Чтобы обеспечить массогабаритные показатели на уровне лучших мировых образцов разработка ТЭД с повышенной мощностью и моментом проводилась в следующих основных направлениях:

- повышения электромагнитных нагрузок без снижения надежности ТЭД;
- применение нагревостойкой пленочной изоляции класса "Н" на основе ароматических полиимидов, позволяющих повысить рабочую температуру обмоток до 230 °С, увеличить вдвое значение электрической прочности и существенно повысить коэффициент заполнения паза;
- повышение плотности тока под щетками;
- интенсификация вентиляции с обеспечением лучшего отвода тепловых потерь;
- применением новых конструктивных решений узлов ТЭД с повышенной точностью изготовления и уровня технологии.

Высокие электромагнитные нагрузки потребовали обеспечения надежного токосяема, при котором степень искрения при коммутации во всем диапазоне рабочих характеристик ТЭД не должна превышать 1,5 балла по ГОСТ 183-74.

Решение этой проблемы связано с методами расчета реактивной ЭДС, определением распределения магнитных потоков добавочных и главных полюсов, реакции якоря с учетом особенности конструкции магнитопровода, с обеспечением надежной работы коллекторно-щеточного узла и повышением комму-

тирующей способности щеток.

При выборе марок щеток учитывается их способность обеспечивать хорошую коммутационную работу скользящего электрического контакта с приемлемыми для эксплуатации показателями износа коллекторов и щеток. Применяемые при этом электрографитированные щетки из сажевых компонентов со специальной пропиткой обеспечивают номинальную плотность тока до 17 А/см^2 , допускают максимальные окружные скорости на коллекторе 60 м/с при коэффициенте трения не более 0,15. Для стабильной работы контактной пары коллектор-щеткой недопустимым является даже плавное биение рабочей поверхности коллектора, износостойкость которого повышается применением легирующих присадок из кадмия, магния, циркония к электролитической коллекторной меди, повышаются также механические характеристики стальных деталей коллектора. Применяемые современные радиальные щеткодержатели имеют специальные нажимные устройства, обеспечивающие постоянное удельное нажатие $0,5 \text{ кг/см}^2$ и не требующие регулировки в процессе эксплуатации.

Применяемые простые петлевые обмотки с тремя или четырьмя проводниками на паз, с системой уравнивающих соединений со стороны коллектора обеспечивают наиболее благоприятную коммутацию при объеме тока на паз 2000 А и числе пазов на пару полюсов в пределах 12,5-18,5.

Наряду с обеспечением надежной коммутации особого внимания заслуживает проблема предотвращения кругового огня на коллекторе ТЭД. Основными критериями, определяющими потенциальную надежность ТЭД являются среднее напряжение между смежными коллекторными пластинами, максимальное межламельное напряжение и его величина 70 В/см на единицу длины окружности, средний градиент потенциала в зоне от сбегавшего края щетки до набегающего края главного полюса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные по методикам, алгоритмам и программа оптимизационных расчетов, позволяющим ускорить поиск оптимального варианта, ТЭД производства завода "Электротяжмаш" эксплуатируются на новых электровозах, тепловозах, трамваях, троллейбусах и их основные параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические параметры тяговых двигателей постоянного тока производства ГП завод "Электротяжмаш"

Наименование параметра	Тип электродвигателя														
	ЭД 121А	ЭД 126А	ЭД 131А	ЭД 133	ЭД 135Т	ЭД 136	ЭД 137А	ЭД 138А	ЭД 139	ЭД 140	ЭД 141	ЭД 142	ЭД 147	ЭД 150	ЭД 151
$P_{ном}$, кВт	412	448	366	414	137	593	65	132	140	515	785	12	46	437	255
$I_{ном}$, А	865	950	655	890	640	815	270	260	260	380	565	170	175	840	665
$M_{ном}$, Нм	6408	8867	4000	6600	3300	5616	320	721	837	7350	8930	34	255	6058	4345
$U_{ном}$, высшее, В	780	850	900	780	530	1000	275	550	550	1475	1500	84	300	780	750
n_{max} , об/мин	2320	1835	2500	2320	2700	2600	4100	3900	3900	1530	1690	4060	4350	2320	2685
Система вентиляции	независимая					самовентиляция			независимая			Самовентиляция	независимая		
Режим работы	продолжительный, S1					часовой, S2					S1	S3-70%	S1	S1	
Масса, кг	2950	3400	2000	3350	1700	3000	350	750	750	4600	4800	55	297	2700	2600
Применение	пассажирский тепловоз 24 тс, 160 км/ч	грузовой тепловоз 48 тс, 100 км/ч	самосвал, 120 т	грузовой тепловоз 33 тс, 100 км/ч	тепловоз для узкой колеи	самосвал 180-250 т	трамвай с ТИСУ	троллейбус с РК	троллейбус с ТИСУ	промышленный электро-воз	грузовой электро-воз постоянного тока 45 тс, 100 км/ч	электромобиль на базе "Таври"	трамвай, замена ТЕ023 (Школа)	Пассажирский тепловоз для Украины ТЭП150, 160 км/ч	грузопассажирский тепловоз для Ирака

В настоящее время с необходимостью применения тяговых асинхронных электродвигателей в электроприводах переменного тока, в силу известных трудностей при использовании коллекторных ТЭД постоянного тока, уделяется особое внимание особенностям проектирования тяговых асинхронных двигателей при их работе совместно с преобразователями частоты. Разработанные асинхронные тяговые электродвигатели ГП заводом "Электротяжмаш" эффективно работают на дизель-поездах серии ДЭЛ-02 производства ОАО ХК "Лугансктепловоз" [1], на электровозах ДСЗ совместного производства НПК "Электровозостроение" (Днепропетровск) и Сименс (Германия). Положительный опыт разработки и экс-

плуатации позволяет применить современный широко регулируемый электропривод переменного тока во многих отраслях техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Носков В. И., Шпика Н.И. Состояние и перспективы внедрения тяговых электроприводов переменного тока // Гидроэнергетика Украины.- 2006.-№2.-С.63-67.

Поступила 10.02.2009

Блошенко Иван Яковлевич, к.т.н., член-корреспондент
Транспортной Академии Украины
ГП завод "Электротяжмаш"
Украина, 61055, Харьков, пр-т Московский, 299