Шамардина В.Н., Яровой Г.И., Лемешко С.М.

Украина Харьков

Национальный Технический Университет «Харьковский политехнический институт»
Государственное предприятие завод «Электротяжмаш»

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКТНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КОМПРЕССОРА ДЛЯ ЛОКОМОТИВОВ

Введение. Готовность к эксплуатации тепловозов определяется работоспособностью тормозной системы, поэтому к надежности и безотказности работы мотор-компрессора (МК) предъявляются повышенные требования. МК тормозной магистрали на современных тепловозах оборудуются двигателями постоянного тока смешанного возбуждения серии 2П. Для выполнения требований по производительности приводом обеспечивается постоянство оборотов МК при любой частоте вращения дизеля (ДВС).

Электрический привод компрессоров применяется на тепловозах ТЭП70, ТЭП75, 2ТЭ116, ТЭМ7 с использованием электродвигателей (ЭД) постоянного тока смешанного возбуждения типа 2П2К и П2К, позволяющих реализовать повышенные пусковые моменты. Пуск производится при снижении давления в главных резервуарах до 750 кПа по сигналу реле давления. Двигатель отключается, когда давление в главных резервуарах достигает значения 900 кПа. Питание ЭД осуществляется от стартер-генератора с номинальным напряжением постоянного тока 110 В. Номинальный режим работы - повторно-кратковременный (S3) с продолжительностью включения 50-60%. Непрерывная работа ЭД с компрессором при номинальной нагрузке допускается не более 45 мин один раз в течение 2 часов. Допустимые перегрузки по току: двукратная - в течение 60 с; трехкратная - в течение 10 с; четырехкратная - при пуске. Условия работы предъявляют также «жесткие» требования к коммутационной устойчивости и перегрузочной способности ЭД компрессоров. Частота и длительность цикла работы ЭД зависят от расхода сжатого воздуха и режима работы локомотива. При магистральной работе в среднем бывает 20-30 пусков в час. Кроме того работа происходит в тяжелых условиях – температура внутри кузова достигает 60-70˚С, двигатели подвергаются вибрациям и значительным ударным перегрузкам. Вследствие этого они имеют специальную конструкцию, обеспечивающую теплостойкость и виброустойчивость, изоляцию класса F или H, лобовые части обмоток обладают повышенной жесткостью, подшипники усилены. При пуске используется пусковой резистор. Броски тока могут достигать значительных величин (до 5Iном); как следствие, высокие значения момента на валу могут вызвать поломки механической части привода. При этом не обеспечивается достаточная точность стабилизации частоты вращения при изменении внешних параметров (нагрузка, температура, колебания напряжения бортовой сети и т.п.).

Анализ эксплуатации показывает, что ЭД компрессоров работают значительно меньше заявленного производителем срока эксплуатации. В среднем ЭД каждые 3-4 года проходят капитальный ремонт. Среди причин преждевременного их выхода из строя главной является пробой изоляции якорных обмоток (до 50% от общего числа), обусловленный её интенсивным перегревом как при краткосрочных (режим пуска), так и при длительных перегрузках.

Постановка задач исследования. Исходя из проведенного анализа, разработка электропривода МК тепловоза, удовлетворяющего перечисленным выше условиям эксплуатации, является актуальной задачей. Работа посвящена исследованию возможности применения электропривода переменного тока на базе асинхронного электродвигателя АДК-37 для МК. Ожидаемый эффект: максимальное использование возможностей силовых установок тепловозов, в частности, за счет реализации регулируемого электропривода переменного тока МК, позволяющего обеспечить постоянную частоту вращения компрессора, и, соответственно, его постоянную производительность независимо от режима работы локомотива.

Материалы исследования. Недостатки, имеющие место при использовании ЭД постоянного тока, отсутствуют в асинхронном электроприводе, построенном по системе преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД) с векторной системой управления. При создании высокоточных систем используют датчики скорости. Однако, с целью удешевления разработки привода такие системы могут быть выполнены и без датчиков скорости, так как в данной разработке не требуется высокая статическая точность и широкий диапазон регулирования. Регулирование скорости наиболее просто осуществляется при стабилизации потокосцепления ротора. Система управления выполняется во вращающейся системе координат, ориентированной по потокосцеплению ротора АД - Ψ_r, и построена по принципу подчиненного регулирования. Структурная функциональная схема такого электропривода приведена на рис. 1. В дальнейшем возможна доработка системы с идентификатором скорости, что приведет к усложнению схемы. Система управления реализуется на микропроцессорной элементной базе, поэтому существенного увеличения стоимости привода не произойдет.

ПЧ номинальной мощностью 50 кВт выполняется на силовых IGBT модулях SKiiP фирмы Semikron. Применяется сигнальный процессор (DSP) фирмы Texas Instruments, специализированный для управления ЭД и позволяющий оптимизировать работу всей системы управления.

Технические характеристики двигателя АДК-37: P_2 = 37 кВт, $n_н$ = 1484 об/мин, $M_н$ = 240 Нм, η = 90,6 %, cosφ = 0,68, f_s = 100 Гц, $U_ф$ = 230 В, I_s = 87 А, I_r = 58 А, I_0 = 62 А, S = 0,011, R_s = 0,0733 Ом (при t 150˚С), X_s = 0,179 Ом, X_r = 0,123 Ом, X_m = 3,57 Ом.

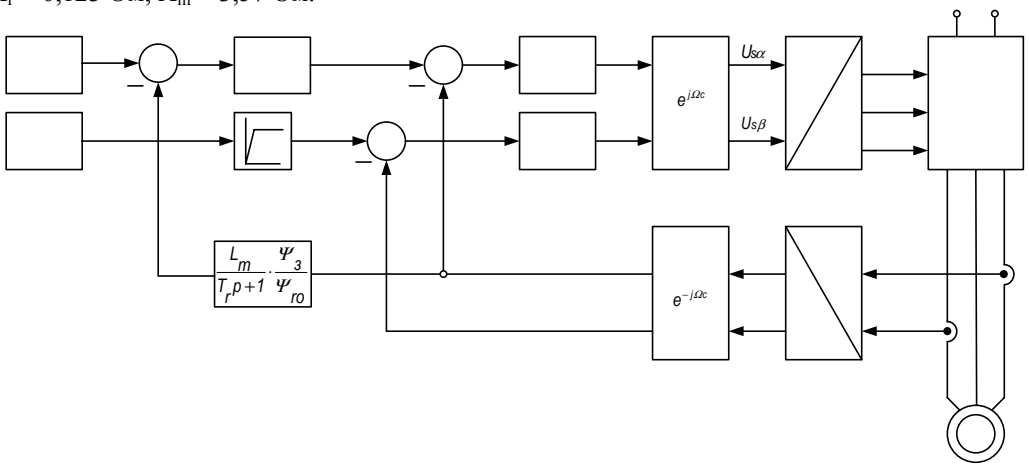

Рис.1. Структурная функциональная схема векторного управления с блоком вычисления потокосцепления ротора.

Математическая модель разрабатываемого электропривода ориентирована на моделирование процессов с использованием прикладного пакета MATLAB.

Временные диаграммы скорости ω, момента М, потокосцепления ротора $10\cdot\Psi_r$, активной и реактивной составляющей тока статора I_{sd} и I_{sq} при набросе нагрузки приведены на рис.2.

Наброс нагрузки осуществлялся после выхода АД на номинальную скорость. Запуск компрессора производится в разгруженном состоянии, когда компрессор не создает давления в тормозной магистрали. Кратность пускового тока не превышает 3.

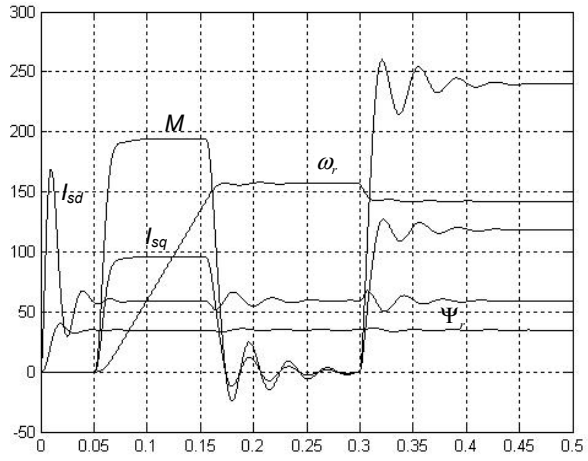

Рис. 2. Временные диаграммы

Реализация частотно-регулируемого электропривода компрессора позволяет обеспечить:

– отключаемость ЭД, так как он должен работать, только при давлении в главных резервуарах ниже установленного. На большинстве магистральных тепловозах компрессор не отключается, а лишь переводится в режим холостого хода открытием клапанов, что отражается на его износе.

– поддержание системой автоматического регулирования постоянства скорости вращения компрессора (1450 об/мин) при изменении частоты вращения дизеля, и, соответственно, напряжения тягового генератора.

– регулирование скорости вращения компрессора с целью приведения в соответствие производительности компрессора и расхода воздуха.

– исключение механических ударов и рывков, а также реализация ограничения бросков тока при пуске, что улучшит виброакустические характеристики, снизит вредное влияние на силовые цепи и уменьшит вероятность прорыва тормозной магистрали. При этом исключается жесткий режим пуска, часто приводящий к подгоранию контакторов.

– повышение динамических показателей качества регулирования.

Выводы. Модернизация электропривода компрессора позволит отказаться от коммутационного и реакторного оборудования, повысить тягово-энергетические показатели тепловоза в целом, что дает существенную экономию электроэнергии.

Статья выполнена в соответствии с 1 этапом НИОКР по разработке электрооборудования комплектных электроприводов переменного тока для локомотива. В дальнейшем планируется разработка и изготовление макетного образца электропривода, и проведение экспериментальных исследований, подтверждающих адекватность математической модели и работоспособность разработанной системы управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.И. Френкель. Поршневые компрессоры. Теория, конструкции и основы проектирования. Изд-во «Машиностроение», 1969. -744 стр.; **2**. С.А. Храменков, Л.А. Хейфец, Л.Ф. Пасынок. Исследование электрического привода тормозного компрессора. Труды ВНИТИ, вып. 33, 1969, стр. 126-140; **3**. А.Б. Виноградов. Векторное управление электроприводами переменного тока.– Иваново, 2008.–298 с.