

УДК 621.313.333

В.М. КОРОЛЬ

ОАО «Управляющая компания холдинга «Белкоммунмаш», г. Минск, Республика Беларусь

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЯГОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СОСТАВЕ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

*Рассматривается и анализируется развитие асинхронного электропривода и применение его на транспорте, в частности, в составе трамвая. Приводятся результаты моделирования двухдвигательного привода.*

**Ключевые слова:** асинхронный электропривод, рельсовый транспорт, трамвай, асинхронный двигатель, система управления

**Введение.** Широкое развитие и применение как в электрическом транспорте, так и в промышленности получили электрические тяговые приводы для управления асинхронными двигателями. К сожалению, они не являются универсальными. Поэтому для оптимизации наиболее критичных характеристик и повышения конкурентоспособности продукции необходима разработка специализированных электроприводов.

Тяговые электроприводы для электрического транспорта относятся к эксклюзивному виду электроприводов в части обеспечения безопасной перевозки пассажиров, наукоемкости технических, математических и программных решений, экономии электрической энергии и обеспечения безопасной эксплуатации для предотвращения поражения электрическим током.

**Постановка задачи.** В настоящее время ОАО «Управляющая компания холдинга «Белкоммунмаш» выпускает трамваи с тиристорно-импульсной системой управления собственного производства для управления четырьмя двигателями постоянного тока. Устанавливается два привода, каждый привод управляет двумя двигателями. На трамваях с асинхронными двигателями используются приводы зарубежного производства. Поэтому существует необходимость в создании собственного асинхронного электропривода для трамвая.

Так как на трамвае могут устанавливаться четыре и более двигателя, то данный привод должен соответствовать принципу многодвигательного согласованного управления. Под принципом многодвигательного согласованного управления подразумевается возможность независимого управления каждым из  $n$ -двигателей в зависимости от скорости или иного состояния любого из этих  $n$ -двигателей. Данный принцип используется для приведения в движение и торможения многосекционных трамваев, электропоездов и составов вагонов метрополитена с целью оптимизации характеристики разгона и торможения, уменьшения износа и нарушения конфигурации колесных пар ведущих тележек, а также нарушения плоскостности рельс путей. С целью повышения экономических показателей привода необходимо реализовать одновременное управление двумя двигателями от одного электропривода.

В связи с тем, что номенклатура асинхронных двигателей транспортного исполнения с каждым годом становится все более широкой, и во избежание привязки к одному поставщику необходимо в тяговом

электроприводе иметь возможность адаптивного определения параметров асинхронного двигателя. Это в свою очередь может позволить в некоторых системах отказаться от применения датчиков частоты вращения двигателя и датчиков температуры двигателя, что снизит стоимость системы «электропривод — двигатель».

Таким образом, внедрение тягового электрического привода с возможностью параллельного управления двумя двигателями как частного случая многодвигательного управления является актуальной задачей, выполнение которой позволит решить проблему импортозамещения, повысить конкурентоспособность рельсового транспорта, производимого в настоящее время, и впоследствии расширить номенклатуру продукции ОАО «Управляющая компания холдинга «Белкоммунмаш».

**Функциональная схема асинхронного привода трамвая.** Новизна разработки определяется применением современных методов теории управления, в том числе траекторий корней (основанных на использовании корневых портретов), адаптивного управления в применении к электроприводе с АД. Помимо этого используются современные технические микропроцессорные средства (микроконтроллеры серии TMS320F28335 фирмы Texas Instruments, предназначенные для управления электроприводами и имеющие ядро для осуществления математических вычислений с плавающей точкой).

Синтез устройств управления и идентификации затруднен изменением параметров двигателя в широких пределах, что может приводить к ошибкам оценивания магнитного потока и скорости, а также ухудшению динамических показателей привода. Использование корневого подхода [1] позволяет выполнить анализ системы управления и идентификации, а также разработать методы параметрического синтеза устройств с учетом неопределенности параметров объекта. На рисунке 1 представлена функциональная схема разрабатываемого асинхронного привода в составе перспективного трамвая с векторным управлением асинхронным тяговым электродвигателем.

Данный привод будет универсальным; в зависимости от конструкции трамвая допускается установка нескольких приводов на одном вагоне. Привод рассчитан и для использования на троллейбусах. Все приводы и все вспомогательное оборудование перспективного трамвая объединено CAN-сетью через CAN-контроллеры. Привод позволяет накапливать

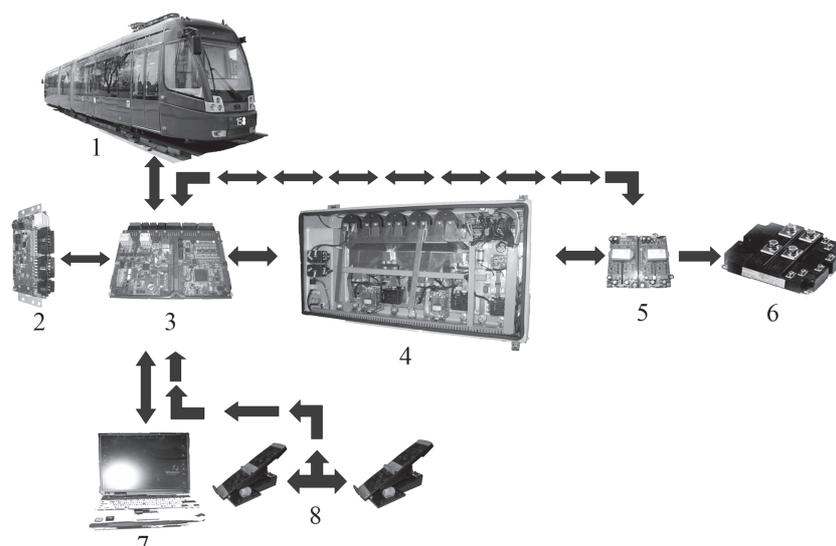


Рисунок 1 — Функциональная схема разрабатываемого асинхронного привода:

1 — перспективный трамвай; 2 — CAN-контроллер; 3 — блок управления; 4 — силовой блок привода; 5 — драйверы управления силовыми ключами; 6 — IGBT модули (силовые ключи); 7 — персональная диагностирующая ЭВМ; 8 — контроллеры хода и тормоза

информацию о работе вагона, об аварийных ситуациях и передавать ее на ПК обслуживающего персонала через Ethernet-протокол либо удаленно с использованием GPRS-технологии.

Основные технические характеристики разрабатываемого электропривода показаны в таблице.

**Математическое моделирование двухдвигательного асинхронного привода трамвая.** На основе уравнений обобщенной электрической машины [2] была построена имитационная модель системы управления асинхронным приводом с параллельным управлением двумя двигателями. В итоге получаем два контура регулирования тока  $I_x$  и  $I_y$  и контур регулирования потока ротора  $F_r$  [3]. При  $F_r = const$ , момент двигателя пропорционален току по оси  $Y$ :  $M \sim I_y$ . В систему поступают сигналы обратных связей по токам  $I_A$ ,  $I_B$  и сигналы с датчиков скорости с двух двигателей. В системе задается момент двигателя и поток ротора. На основании значения обратной связи по скорости, блок согласования скорости (БСС) определяет, находится ли рассогласование скоростей в заданной границе. На базе рассогласования БСС через регулятор формирует управляющие воздействия для работы наблюдателя и формирования заданий момента и потока. Структурная схема системы управления представлена на рисунке 2.

В схеме (см. рисунок 2) приняты следующие обо-

Таблица — Основные технические характеристики разрабатываемого электропривода

Номинальное входное напряжение	600 В
Предельное входное напряжение	22–950 В
Номинальный ток нагрузки	400 А
Пиковый ток нагрузки	600 А
Номинальная длительная мощность	250 кВт
Диапазон регулирования выходной частоты	0–130 Гц

значения: БФП — блок формирования потока; ЗИМ — задатчик интенсивности момента; РП — регулятор потока; БОМ — блок ограничения момента; РТХ, РТ $Y$  — регуляторы тока по оси  $X$  и  $Y$ ; ПК1 — преобразователь координат из осей  $A$ - $B$ - $C$  в оси  $\alpha$ - $\beta$ ; ПК2 — преобразователь координат из осей  $\alpha$ - $\beta$  в оси  $X$ - $Y$ ; ПК3 — преобразователь координат из осей  $X$ - $Y$  в оси  $\alpha$ - $\beta$ ; ПК4 — преобразователь координат из осей  $\alpha$ - $\beta$  в оси  $A$ - $B$ - $C$ ; Инв — инвертор на IGBT-транзисторах; Набл.  $F$  и  $w_0$  — наблюдатель для расчета потока двигателя и скорости холостого хода; Кот — коэффициент обратной связи по току; ДТ — датчики тока; М1, М2 — два асинхронных двигателя; BV1, BV2 — два датчика скорости; БСС — блок согласования скоростей.

Моделирование предложенной системы управления выполнено в среде MATLAB с использованием пакета SIMULINK. При моделировании взят асинхронный тяговый электродвигатель фирмы SKODA 2ML3550 K/4. Параметры двигателя:  $P_H = 160$  кВт,  $U_H = 420$  В,  $\omega_H = 1475$  об/мин,  $\omega_{max} = 3778$  об/мин,  $R_1 = 0,013$  Ом,  $R_2 = 0,007547$  Ом,  $L_1 = 0,245$  мГн,  $L_2 = 0,2$  мГн,  $L_{12} = 6,37$  мГн.

На рисунке 3 показаны графики переходных процессов: момент и скорость при одновременном пуске двух двигателей в наиболее экстремальном для трамвая режиме наброса нагрузки на одном двигателе. В момент времени 2 с происходит наброс нагрузки 50 Н·м на одном из двигателей, что может быть вызвано наездом одного колеса на какое-либо препятствие в реальных условиях либо изменением сцепления колеса с рельсом. Как видно из приведенных графиков, наброс нагрузки на одном двигателе приводит к снижению момента на другом двигателе и не приводит к броскам или изменению скорости обоих двигателей. Рассогласование скоростей находится в пределах заданного 1 рад/с, т.е. можно сказать, что скорости двух двигателей остаются одинаковыми. То есть изменение

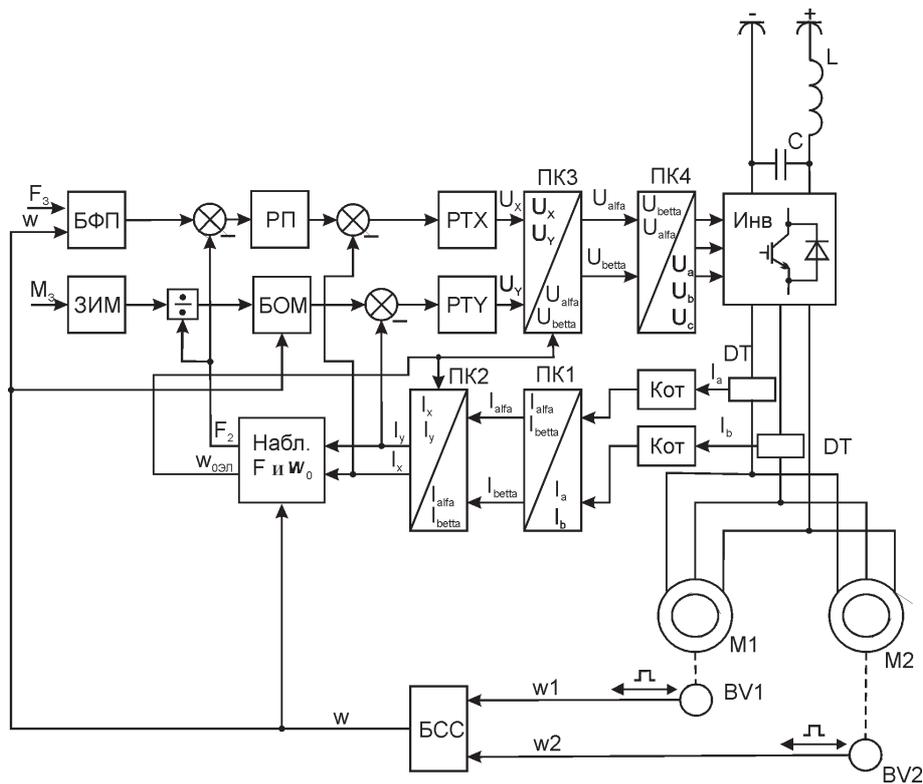


Рисунок 2 — Структурная схема системы управления двухдвигательного асинхронного привода трамвая

нагрузки и различная нагрузка на двигатели не приводит к нарушению устойчивости системы управления и не сказывается на плавности хода трамвая.

**Выводы.** На основании полученных результатов можно заключить следующее:

- система управления обрабатывает наброс нагрузки на одном двигателе из двух, при этом рассогласование скоростей двух двигателей находится в пределах заданного (1 рад/с);
- колебания момента обусловлены уточненным моделированием преобразователя с учетом широтно-импульсной модуляции с частотой 2 кГц;

- система векторного управления тяговым асинхронным двухдвигательным приводом позволяет получить необходимые динамические характеристики и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к тяговому приводу.

**Список литературы**

1. Башарин, А.В. Управление электроприводами / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. — Л.: Энергоиздат, 1982.
2. Несенчук, А.А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода / А.А. Несенчук. — Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. — 234 с.
3. Петренко, Ю.Н. Имитационная модель автоматизированного привода троллейбуса / Ю.Н. Петренко, А.В. Симонович // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования, производства и управления: тез. докл. III Междунар. науч.-техн. конф. — Минск, 2002. — С. 120—121.
4. Фираго, Б.И. Синтез системы скалярного управления асинхронным электроприводом / Б.И. Фираго, О.Ф. Опейко // Энергетика. Изв. высш. учебных заведений и энергетических объединений СНГ. — 2007. — № 5 (сент. — окт.). — С. 26—36.
5. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. — М.: Academia, 2004. — С. 256.
6. Москаленко, В.В. Электрический привод / В.В. Москаленко. — М.: Academia, 2007. — С. 368.
7. Москаленко, В.В. Системы автоматизированного управления электропривода / В.В. Москаленко. — М.: Инфра-М, 2010. — С. 208.

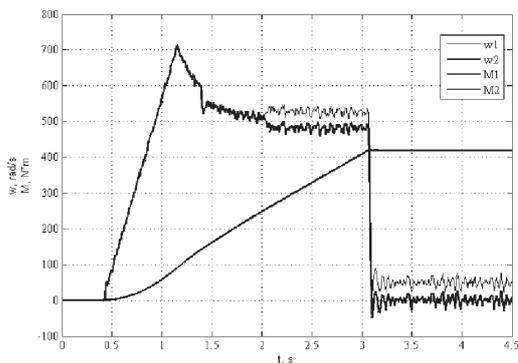


Рисунок 3 — Графики переходных процессов в двухдвигательном приводе трамвая

Korol V.M.

**Peculiarities of traction asynchronous electric drive application as a part of rail transport**

Development of asynchronous electric drive and its application on transport vehicles, particularly as a part of trams is treated. Introduction of modeling results for twin-engined drive is provided.

Поступила в редакцию 12.09.2011.