

# Частотно-управляемый электропривод

## перемещения самоходного грузового вагона

**В статье описаны особенности применения частотно-управляемого электропривода на самоходном грузовом вагоне горнопроходческого комплекса. Приводится описание предназначенного для данного типа установок преобразователя частоты, который разработан ЗАО «Автоматизированные системы и комплексы» (Екатеринбург).**

**Евгений Бородацкий, к. т. н.  
Павел Васильев  
Владимир Кривовяз, к. т. н.**

asc@asc-ural.ru

### Самоходные грузовые вагоны

При проведении горнопроходческих работ в качестве шахтного транспорта широко применяются самоходные грузовые вагоны. Они обеспечивают доставку руды от бункера перегружателя проходческо-добычного комбайна до конвейера поточно-транспортной системы шахты.

Промышленностью выпускаются модификации вагонов грузоподъемностью 2–30 т с постоянной и регулируемой высотой разгрузки. Они представляют собой кузов на четырех-, шести- или восьмиколесном шасси с пневматическими шинами. В кузове расположен донный скребковый конвейер, используемый для распределения груза в кузове при загрузке его погрузочными машинами и разгрузке на конечных пунктах. Управление всеми механизмами производится машинистом из кабины. Питание вагона осуществляется по электрическому кабелю, который наматывается на кабельный барабан с кабелеукладчиком. Дополнительно вагоны оснащаются гидравлической системой, обеспечивающей работу тормозов, усилителя рулевого управления, механизма подъема и опускания кузова [1, 2].

Самоходный вагон совершает челночные рейсы, двигаясь без разворотов в одну сторону с полной загрузкой, а в обратную — порожним. Расстояние транспортирования определяется длиной кабеля и не превышает 400 м. Предельно допустимая скорость по условиям безопасности не должна превышать 9 км/ч. Минимальная скорость движения определяется удобством маневрирования в узких выработках. Поэтому нижнее значение скорости находится на уровне 2 км/ч. С целью обеспечения комфортности при работе машиниста вагон должен разгоняться и останавливаться плавно. Для прохождения спусков и подъемов требуется как минимум одна промежуточная скорость движения. Значение этой скорости во многих случаях составляет 6 км/ч.

Особенностью горной выработки является то, что ее профиль неровный как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Угол наклона по вертикали (φ)

может достигать 15° как вверх, так и вниз от горизонта. В горизонтальной плоскости изменение профиля носит еще более значительный характер: углы поворотов достигают 90°. С учетом этих особенностей построены возможные диаграммы движения самоходного грузового вагона (рис. 1). Диаграммы не учитывают переходные процессы пуска и торможения, так как эти режимы не оказывают существенного влияния на работу электропривода.

На основе описанных выше особенностей конструкции и режимов работы самоходного грузового вагона можно сформулировать следующие требования к электроприводу перемещения:

- необходимость плавного регулирования скорости в диапазонах:
  - при движении 5:1;
  - с учетом процессов разгона и торможения 50:1;
- реверсивный характер работы привода;
- значительные и затяжные перегрузки при работе;
- рекуперация энергии в питающую сеть при движении вагона вниз под уклон;
- ограниченный объем для размещения электрооборудования;
- необходимость учета требований, предъявляемых к рудничному электрооборудованию.

### Электроприводы грузовых самоходных вагонов

На самоходных грузовых вагонах преимущественно используется электрический привод из-за его высокой надежности, хороших регулировочных свойств и удобства обслуживания. Применяются электроприводы как постоянного, так и переменного тока. Однако из-за большей стоимости и массо-габаритных показателей, а также необходимости дополнительного обслуживания электропривод постоянного тока получил меньшее применение, чем электропривод переменного тока.

Управление электроприводом переменного тока осуществляется от релейно-контакторной схемы на основе многоскоростных двигателей или от статических по-

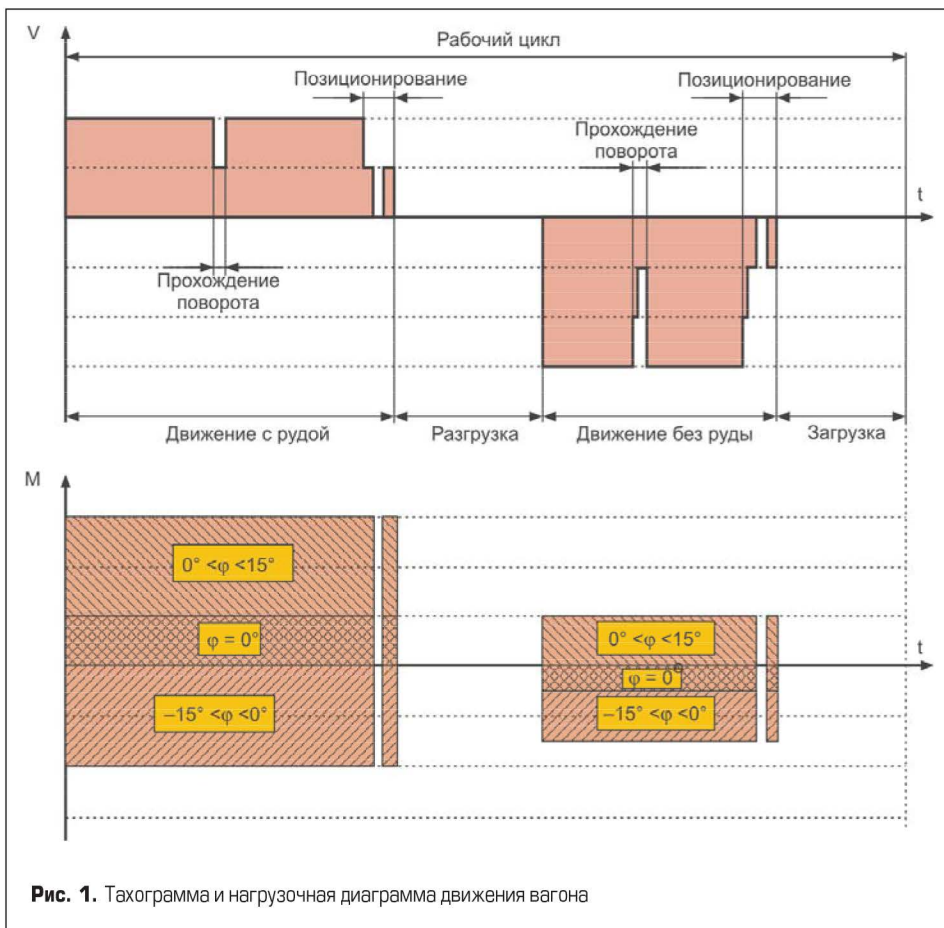


Рис. 1. Тахограмма и нагрузочная диаграмма движения вагона

лупроводниковых преобразователей частоты. Релейно-контакторные системы просты в реализации, но не обеспечивают требуемого качества управления электроприводом. Поэтому в перспективе частотно-управляемый электропривод вытеснит электропривод с релейно-контакторной системой управления.

На рис. 2 изображена возможная схема электропривода самоходного грузового вагона. Питание на вагон подается от сети пере-

менного тока через питающий кабель и токосъемник. Управление движением ходовых колес и конвейера осуществляется при помощи частотно-управляемого асинхронного электропривода. Привод насоса маслостанции нерегулируемый. Его включением и отключением управляет контактор. Режим работы приводов задается машинистом с пульта управления и педального переключателя. Обработка сигналов управления машиниста

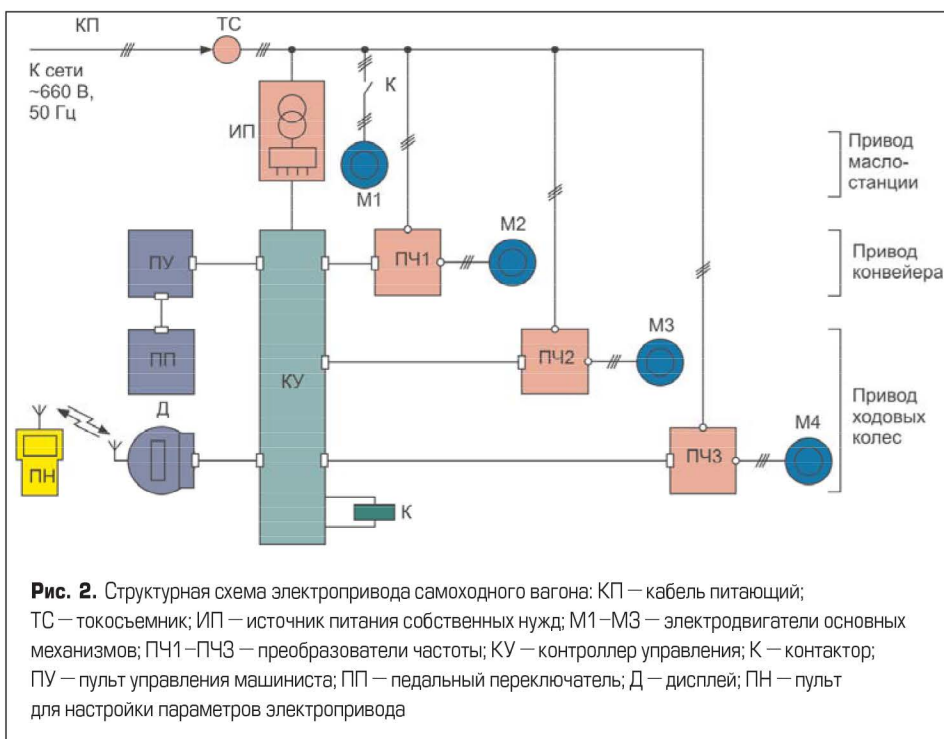


Рис. 2. Структурная схема электропривода самоходного вагона: КП — кабель питающий; ТС — токосъемник; ИП — источник питания собственных нужд; М1–М3 — электродвигатели основных механизмов; ПЧ1–ПЧ3 — преобразователи частоты; КУ — контроллер управления; К — контактор; ПУ — пульт управления машиниста; ПП — педальный переключатель; Д — дисплей; ПН — пульт для настройки параметров электропривода

и координация работы электроприводов осуществляется контроллером. Для настройки параметров электроприводов и преобразователей частоты служат диагностический дисплей и пульт настройки. Обмен информацией между ними происходит по радиоканалу.

### Преобразователи частоты

В настоящее время наиболее распространенной технологией преобразования переменного тока являются системы с двойным преобразованием энергии, содержащие в своей структуре звено постоянного тока. Промышленностью освоен массовый выпуск преобразователей частоты, имеющих на входе неуправляемый выпрямитель, а на выходе автономный инвертор напряжения. Для рассеивания энергии торможения в цепь постоянного тока дополнительно устанавливается тормозной резистор и транзисторный ключ (чоппер). Известен пример установки такого преобразователя на самоходный грузовый вагон [3]. Однако, несмотря на высокую надежность и простоту данной схемы, она требует установки тормозного резистора высокой мощности с большим объемом охлаждаемой поверхности. Использование значительного места под тормозной резистор ограничивает ее применение на самоходных вагонах.

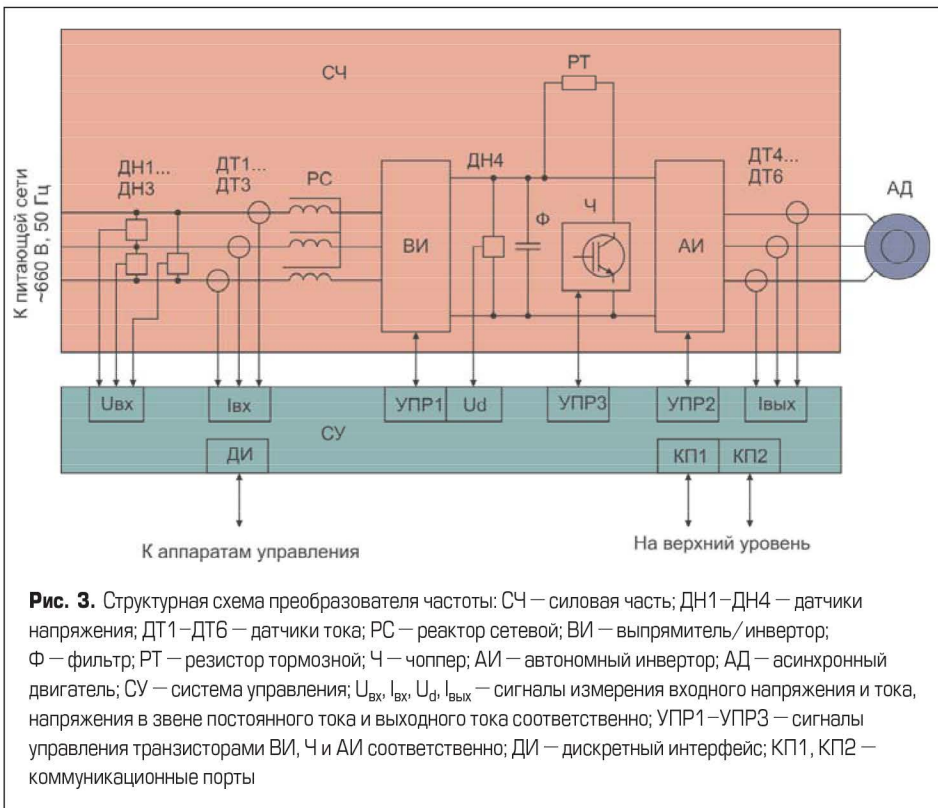
Большей перспективностью обладают преобразователи частоты, имеющие на входе выпрямительно-инверторный блок. В этом случае энергия торможения возвращается обратно в питающую сеть, что позволяет снизить массогабаритные показатели и повысить энергетическую эффективность электропривода [4].

### Описание ПЧ-ТТЕТ-32-690-50-УХЛ4

Предприятием «Автоматизированные системы и комплексы» разработан преобразователь частоты типа ПЧ-ТТЕТ-32-690-50-УХЛ4, отвечающий требованиям, предъявляемым к электроприводу самоходного вагона [5]. Он предназначен для управления асинхронными электродвигателями мощностью до 30 кВт. Основные технические характеристики приведены в таблице.

Таблица. Основные технические характеристики ПЧ-ТТЕТ-32-690-50-УХЛ4

Параметры	Технические данные
Номинальный выходной ток, А	32
Номинальное выходное напряжение, В	690
Номинальное значение выходной частоты, Гц	50
Диапазон изменения выходной частоты, Гц	0–120
Кратность допустимой перегрузки по току в течение 60 с, при повторяемости не более одной в 15 мин.	2
Номинальное значение напряжения питания, В	660
Допустимое установившееся отклонение напряжения питания, %, не более	+15, –20
Рабочее напряжение дискретных входов и выходов, В	24
Вид охлаждения	воздушное естественное
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP00
Масса, кг (не более)	65
Габаритные размеры (В×Ш×Г), мм (не более)	470×270×590



**Рис. 3.** Структурная схема преобразователя частоты: СЧ – силовая часть; ДН1–ДН4 – датчики напряжения; ДТ1–ДТ6 – датчики тока; РС – реактор сетевой; ВИ – выпрямитель/инвертор; Ф – фильтр; РТ – резистор тормозной; Ч – чоппер; АИ – автономный инвертор; АД – асинхронный двигатель; СУ – система управления;  $U_{вх}$ ,  $I_{вх}$ ,  $U_{д}$ ,  $I_{ввых}$  – сигналы измерения входного напряжения и тока, напряжения в звене постоянного тока и выходного тока соответственно; УПР1–УПР3 – сигналы управления транзисторами ВИ, Ч и АИ соответственно; ДИ – дискретный интерфейс; КП1, КП2 – коммуникационные порты

На рис. 3 показана структурная схема преобразователя. Он состоит из силовой части и системы управления. Силовая часть получает питание от трехфазной сети переменного тока с напряжением 660 В и частотой 50 Гц. Во входной цепи расположены датчики напряжения и тока, сетевой реактор и выпрямительно-инверторный блок. В звене постоянного тока установлены датчик напряжения, конденсаторный фильтр, тормозной резистор и чоппер. Выходная цепь силовой части преобразователя подключена к асинхронному двигателю и содержит автономный инвертор напряжения и датчики тока.

Измерение напряжений и токов используется для реализации защит и управления работой транзисторов обоих инверторов и чоппера. Сетевой реактор снижает уровень высших гармоник напряжения, генерируемых в сеть. Выпрямительно-инверторный блок преобразует переменный ток в постоянный и обратно. Выпрямленное напряжение сглаживается конденсаторным фильтром. Помимо этого через конденсатор протекает реактивный ток асинхронного двигателя. Автономный инвертор формирует на выходе преобразователя трехфазное переменное напряжение с регулируемой частотой и действующим значением. Для обеспечения формы выходного напряжения,

близкой к синусоидальной, применяется синусоидальная широтно-импульсная модуляция. Тормозной резистор с чоппером включаются в работу только при потере питания от сети и обеспечивают остановку самоходного вагона в аварийных ситуациях, например при обрыве питающего кабеля.

Система управления преобразователя состоит из трех плат: микроконтроллера, сопряжения и источника питания. Структурная схема изображена на рис. 4.

Плата источника питания запитана от разделительного трансформатора источника питания. Она обеспечивает все элементы системы управления стабилизированными напряжениями питания. Через плату сопряжения к микроконтроллеру подключены периферийные устройства: дискретный интерфейс, драйверы силовых транзисторов и датчики. От пульта управления через дискретный интерфейс поступают сигналы о выборе одной из трех предустановленных скоростей V1–V3, направления движения ВП – вперед, НЗ – назад. Здесь же формируется выходной сигнал И для индикации состояния преобразователя.

Алгоритмы управления содержатся в управляющей программе, которая хранится в памяти платы микроконтроллера. Программой обеспечиваются следующие функции:

- индивидуальное управление каждым электроприводом мотор–колеса;
- плавное регулирование скорости движения;
- набор предустановленных скоростей;
- плавный разгон и остановка вагона;
- изменение направления движения;
- антипробуксовочный режим;
- рекуперация энергии торможения при движении вагона вниз под уклон в питающую сеть;
- комплекс защит преобразователя и двигателя;
- обмен информацией с внешними устройствами по последовательному коммуникационному интерфейсу.

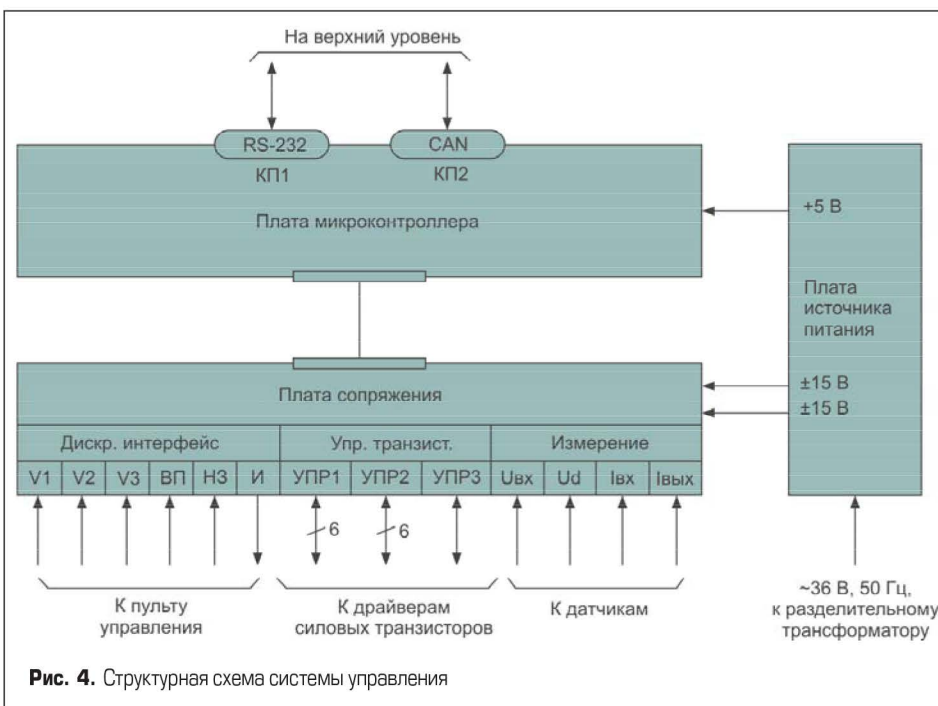
При проектировании преобразователя учитывались требования ГОСТов [6, 7].

Разработанный преобразователь частоты предназначен для размещения во взрывозащищенных корпусах со степенью защиты не ниже IP54.

### Заключение

Самоходные грузовые вагоны являются одним из элементов горнопроходческого комплекса, существенно влияющим как на его производительность, так и на энергетическую эффективность.

Для движения вагона и управления движением рациональной представляется система ПЧ–АД с индивидуальным приводом каждого колеса как имеющая более простую и надежную кинематическую трансмиссию, простоту обслуживания при сохранении высокой управляемости. Сокращение затрат электроэнергии при транспортировке руды достигается за счет рекуперации энергии тор-



**Рис. 4.** Структурная схема системы управления

можения обратно в сеть при движении вагона вниз под уклон.

Предприятием «Автоматизированные системы и комплексы» осуществлена разработка преобразователя частоты типа ПЧ-ТТЕТ-32-690-50-УХЛ4, отвечающего требованиям к электрооборудованию, размещаемому во взрывоопасных зонах. Преобразователь прошел опытно-промышленные испытания на самоходном вагоне типа В17К производства ОАО «Копейский машиностроительный завод».

В настоящее время продолжается работа по совершенствованию преобразователя частоты и алгоритмов управления электроприводом перемещения самоходного вагона.

**Литература**

1. Бреннер В. А. и др. Шахтные самоходные вагоны. М: Недра.1972.
2. Мальчер М. А., Гюбнер Г. Э. Самоходный грузовой транспорт на пневмоходу // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 8.
3. Аникин А. С. Опыт внедрения частотно-регулируемого электропривода на базе преобразователя частоты VACON на самоходный вагон В15К // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3. 2010. Ч. 2.
4. Бородацкий Е. Г. Повышение энергетической эффективности электропривода передвижения самоходного вагона // Сб. докл. 1 научно-практического семинара с межд. участием «Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии». Екатеринбург: ЗАО «Уральские выставки». 2011.
5. Бородацкий Е. Г., Васильев П. А. Преобразователь частоты для самоходного вагона горнопроходческого комплекса // Материалы XI межд. научно-практической конференции «Проблемы карьерного транспорта». Екатеринбург: УрО РАН. 2011.
6. ГОСТ 2460788. «Преобразователи частоты полупроводниковые. Общие технические требования».
7. ГОСТ Р 51330.2099. «Электрооборудование рудничное. Изоляция, пути утечки и электрические зазоры».

**Новый Z-FET карбидкремниевый MOSFET от Cree**

Компания Cree расширила номенклатуру продукции первым промышленным семейством Z-FET слаботоковых 1200-В SiC MOSFET. Новые транзисторы дополняют линейку существующих SiC MOSFET 12-го класса и отличаются меньшим диапазоном токов. Это позволяет расширить область применений устройств при снижении цены и обеспечить таким образом оптимизацию стоимости системы.

Новые приборы разработаны для замены кремниевых IGBT, которые используются в настоящее время для производства инверторов мощностью 3–10 кВт. Возможные применения — высоковольтные источники питания и вспомо-

гательные силовые устройства, предназначенные в основном для преобразования трехфазного входного сигнала, инверторы солнечных батарей, промышленные приводы и корректоры коэффициента мощности (PFC).

Новый SiC MOSFET CMF10120D от Cree с номинальным током 12 А при температуре +100 °С и рабочим напряжением 1200В имеет типичовое сопротивление открытого канала ( $R_{DS(ON)}$ ) 160 мОм при +25 °С. В отличие от аналогичных кремниевых приборов значение  $R_{DS(ON)}$  для SiC MOSFET не превышает 200 мОм во всем диапазоне рабочих температур. Это позволяет снизить динамические потери до 50%, что увеличивает

общую эффективность работы системы до 2% при двух- и трехкратном увеличении рабочих частот по сравнению с лучшими IGBT. В результате повышения КПД SiC-приборы имеют меньший уровень перегрева, что дает возможность снизить требования к системе охлаждения. В сочетании со сверхнизким током утечки (<1 мкА) это обеспечивает улучшение массогабаритных показателей системы и повышение ее надежности.

Транзистор CMF10120D выпускается в стандартном корпусе TO-247.

[www.cree.com](http://www.cree.com)

## НОВЫЙ УНИФИЦИРОВАННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ ГОРОДСКОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

**Преобразователь обеспечивает:**

- Использование для трамваев и троллейбусов;
- Возможность применения для приводов переменного и постоянного тока;
- Уменьшенные массу и габариты;
- Работу без датчика частоты вращения;
- Надёжное исключение юза и буксования;
- Установку на крыше или под полом;
- Измерение скорости движения без датчиков;
- Алгоритм управления по требованиям заказчика;
- Минимум обслуживания;
- Ремонтопригодность без демонтажа с транспортного средства;
- Возможность управления только по дискретным сигналам.

620137, г. Екатеринбург, ул. Студенческая 1-д. Тел: +7 (343) 360-05-01, факс: +7 (343) 341-37-05. E-mail: [info@asc-ural.ru](mailto:info@asc-ural.ru) <http://www.asc-ural.ru>