

1.Бокач П.В. Космические технологии в быту//Электроника инфо – 2016. – №12. – С.20-23.

2.Бахадырханов М.К., Исамов С.Б., Кенжаев З.Т., Ковешников С.В. Изучение влияния легирования никелем кремниевых солнечных элементов с глубоким р-п переходом // Письма в ЖТФ –2019. –Т.45. –Вып.19. – С.3-6.

3.Анисович А.Г., Румянцева И.Н. Практика металлографического исследования материалов. – Минск: Беларуская навука, 2013. – 221 с.  
УДК 62.33

## **РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА**

**Нитиевский С.А.**

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время наблюдается активное развитие технологий рельсового транспорта, что обусловлено преимуществами, которыми обладает рельсовый транспорт по сравнению с другими видами транспорта. В этой связи наблюдается потребность в модернизации существующего рельсового транспорта и проектировании нового, отвечающего современным требованиям, в частности, в аспектах автоматизированности транспортных процессов. При этом, для того, чтобы сделать вывод о целесообразности автоматизации процесса транспортного движения, а также для правильного построения системы управления тяговым электроприводом, необходимо проанализировать основные режимы работы систем тягового электропривода на рельсовом транспорте.

Наиболее часто применяемым, и в то же время наименее автоматизированным режимом работы тягового привода является режим регулирования силы тяги. При работе в данном режиме машинист (оператор) непосредственно задает величину силы тяги, что для тягового электропривода означает режим прямого управления моментом. Данный режим наиболее подходит для транспортных средств, работающих преимущественно в пуско-тормозных режимах, например, поезда метрополитена и трамваи. Именно задание непосредственно тяговых и тормозных усилий позволяет обеспечить наиболее качественный процесс разгона и торможения по условиям сцепления колес с рельсами, и позволяет избежать неконтрольного увеличения частоты вращения колес (буксование) либо их заклинивания при торможении (юз). Необходимо также отметить, что именно управление силой тяги позволяет достаточно полно использовать возможности по рекуперации энергии при торможении и осуществлять остановку транспортного средства с минимальным использованием механического тормоза. Однако следует учитывать, что при задании силы тяги скорость движения и линейное ускорение будут определяться величиной динамической силы  $F_{дин}$ , которая непостоянна по причине того, что величины сил сопротивления движению

изменяются с изменением скорости [1]. По этим причинам данный режим работы наиболее тяжело поддается автоматизации.

Для транспортных средств с циклом работы, включающим участки длительного движения с относительно постоянной скоростью, помимо режима управления силой тяги также используется режим задания скорости движения. Например, для поездов метрополитена и трамваев характерен цикл движения «разгон - тяга - свободный выбег – торможение», при котором время движения с постоянной скоростью достаточно мало и отсутствует необходимость стабилизации скорости на каком-то определенном уровне. Однако, если рассматривать локомотивную тягу с составом пассажирских или грузовых вагонов, то для такого транспорта режим работы с постоянной скоростью является достаточно распространенным ввиду зачастую больших расстояний между остановочными пунктами. При этом, из-за того, что такие составы имеют достаточно большую массу, и, как следствие, инерционность, режим управления скоростью может использоваться также и при пуске и торможении, формируя динамические показатели с использованием задатчиков интенсивности [2]. Однако в большинстве случаев включение режима управления скоростью целесообразно в момент, когда скорость достигает значений скорости длительного режима, т.е. разгон осуществляется в режиме задания силы тяги, а при достижении определенной скорости включается режим стабилизации скорости.

Несомненным достоинством этого режима является возможность работы в составе системы автоматизированного управления движением. Система, имея информацию о местонахождении состава и скоростных ограничениях, действующих на определенных участках пути, исходя из пропускной способности дороги и расписания движения может автоматически выбирать требуемую скорость движения состава и управлять его движением без участия машиниста. К недостаткам можно отнести сложность формирования процессов разгона и торможения.

Сравнительно редко применяется, однако имеет место режим позиционирования транспортного средства. Данный режим может использоваться в беспилотных транспортных системах. В качестве примера можно привести поезда метрополитена, курсирующие на линиях со станциями, имеющими защитные экраны. В этом случае предъявляются повышенные требования к точности остановки транспортного средства.

Данный режим является достаточно сложным для реализации, поскольку требует достаточно точной информации о параметрах пути и габаритных размерах самого состава, а также усложняет формирование требуемых динамических показателей.

Таким образом, тщательный анализ особенностей управления тяговыми электроприводами в различных режимах работы является важным шагом на пути к построению автоматизированных систем управления транспортным движением.

1. Тулупов, В. Д. Автоматическое регулирование сил тяги и торможения электроподвижного состава. - Москва : Транспорт, 1976. - 368 с.

2. Динамические процессы в асинхронном тяговом приводе магистральных электровозов. Ю.А. Бахвалов, Г.А. Бузало, А.А. Зарифьян, П.Ю. Петров и др ; под ред. А.А. Зарифьяна. - М.: Маршрут, 2006. - 374 с  
УДК 621.314

## **ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД**

**Васильев С. В.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Для электроприводов в составе опасных производственных объектов целесообразно применение отказоустойчивого управления с обеспечением свойства «живучести». Аварийный выход из строя таких электроприводов может привести к нарушению безопасной эксплуатации оборудования с риском для персонала с большими экономическими потерями.

Свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов определяется термином «живучесть». Для вышеперечисленных областей применения асинхронного двигателя (АД) задача обеспечения отказоустойчивости со свойством живучести становится определяющей [1].

В промышленности нашли широкое применение электроприводы с преобразователями (ПЧ) и асинхронными двигателями (АД). Однако в некоторых аварийных ситуациях при срыве работы ПЧ требуется немедленное отключение его от питающей сети. Это снижает технологическую надежность электропривода и делает невозможным его применение в тех механизмах и установках, которые не допускают останова во время технологического процесса. В качестве примера можно привести электроприводы в металлургической промышленности, применяемые при разливке стали и т.д.

Известны частотные электроприводы с АД, имеющими две трёхфазные обмотки, смещенные в расточке статора друг относительно друга на некоторый угол  $\theta$ . Каждая обмотка питается от своего ПЧ, причём две трёхфазные системы напряжений, подаваемые на обмотки АД, также сдвинуты во времени на некоторый угол  $\gamma$ . При равенстве модулей этих углов будет минимальное значение коэффициента нелинейного искажения намагничивающей силы статора и максимальное использование габаритной мощности АД.

В кривой МДС такой шестифазной обмотки АД полностью отсутствуют пятая и седьмая гармоники, что является одним из важных