© Д.В. Волков, 2007

УДК 622.625-83(06)

Д.В. Волков

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА В РЕЖИМЕ ПУСКА

Семинар № 21

Характерной особенностью большинства электроприводов, в том числе, и привода рудничного электровоза, является наличие люфта в кинематической цепи, обусловленного наличием зазоров между зубьями в зубчатой передаче. Это создает условия для явления удара, вследствие которого могут происходить механические повреждения элементов кинематической цепи.

Как известно, удары в электроприводе делятся на два вида [1]: удар момента и удар масс. Удар момента представляет собой явление, при котором происходит резкое (скачкообразное) увеличение момента нагрузки на валу двигателя. Удар масс есть более общее явление, при котором сталкиваются две массы, движущиеся с разными скоростями.

В приводе рудничного электровоза такими инерционными массами являются ротор электродвигателя и масса электровоза с составом, причем приведенный момент инерции электровоза с составом значительно превосходит момент инерции ротора двигателя. В связи с этим можно в первом приближении считать, что в момент удара происходит мгновенная остановка движения ротора и вся кинетическая энергия ротора двигателя переходит в деформацию элементов кинематической цепи, в которой наиболее напряженным элементом являются зубья редуктора. Удары в редукторе могут вызвать (и вызывают) поломки зубьев, приводящие к необходимости сложного и длительного ремонта. Как показывает практика эксплуатации рудничных электровозов, наиболее часто наблюдается выход из строя быстроходной шестерни первой ступени, находящейся в кинематической цепи наиболее близко к электродвигателю.

Напряжения в зубьях, возникающие при ударе, и приводящие в конечном итоге к их поломке, зависят прямо от величины кинетической энергии, накопленной в роторе электродвигателя и упругости элементов передачи. В свою очередь, величина кинетической энергии зависит от момента инерции ротора двигателя и величины его угловой скорости в момент удара. Соответственно, для уменьшения величины энергии удара и, соответственно, износа зубьев редуктора, требуется либо уменьшить упругость элементов кинематической цепи, либо принимать меры по снижению угловой скорости ротора в момент удара.

Вносить какие-либо изменения в кинематическую схему привода рудничного электровоза весьма затруднительно, и, во многих случаях, нерационально. Так, большинство выпускаемых в странах бывшего СССР рудничных электровозов имеют двухступенчатый тяговый редуктор, первая шестерня которого, наиболее часто выходящая из строя, насажена непосредственно на вал электродвигателя. Внесение изменений в конст-

рукцию тягового привода приведет к дополнительным сложностям конструктивного характера, в том числе с размещением привода на электровозе, а также потребует изменения технологии производства. Таким образом, наиболее рациональным способом снижения ударов при пуске тягового привода является снижение угловой скорости двигателя к моменту удара электрическим путем.

Так как при наличии зазора в передаче ротор двигателя не имеет механической связи с нагрузкой, то пуск двигателя происходит, фактически, в холостую, нагрузкой является только момент трения в самом двигателе и динамический момент ускорения ротора. В этом случае на величину угловой скорости ротора к моменту удара основное влияние оказывает величина момента, развиваемого двигателем при пуске, то есть форма динамической механической характеристики.

Наиболее широко применяемой мерой снижения пускового момента в приводах постоянного тока является введение «предварительной» ступени пускового реостата, ограничивающей силу тока в цепи якоря до величины, соответствующей настолько малому вращающему моменту, что к моменту удара угловая скорость, и, соответственно, кинетическая энергия вращающегося ротора (якоря) уменьшена до безопасной для элементов механической передачи величины. Указанный вращающий момент часто даже ниже момента статического сопротивления нагрузки и, после выбора зазоров происходит остановка двигателя, дальнейший же запуск осуществляется только после перехода на очередную ступень пускового реостата.

Аналогичные меры требуются и в других системах тягового привода рудничных электровозов. Например, при использовании коллекторного двигателя совместно с импульсным регулятором напряжения обязательно необходимо предусматривать затягивание процесса увеличения напряжения питания двигателя в период трогания с целью минимизации удара. Подобные меры необходимы и при реализации других перспективных вариантов электропривода, одним из которых является асинхронный привод с частотным регулированием.

Общей проблемой всех рассмотренных способов выбора зазоров является проблема выбора момента завершения периода работы с ограничением момента при автоматическом управлении пуском, то есть определение момента окончания выбора зазора. Наиболее простым способом является управление в функции времени, однако подобный принцип в общем случае приводит к неоправданному затягиванию процесса пуска, так как факт выбора зазоров в данном случае определяется лишь предположительно, и, в связи с этим, время на выбор зазоров устанавливается с запасом и независимо от фактической величины зазора. Более рациональным представляется способ управления, основанный на переключении привода из режима выбора зазора в режим нормального пуска на основе объективного знания факта выбора зазора. Для реализации такого способа требуется сигнал от датчика того или иного рода.

Как было показано выше, в режиме выбора зазора в общем случае развивается вращающий момент, недостаточный для преодоления момента статического сопротивления нагрузки. Следовательно, процесс выбора зазоров может происходить без перемещения выходного кинематического звена (колесной пары) и факт выбора зазора не может быть однозначно определен на основании наличия движения выходного звена.

Более удобен в данном случае датчик вращающего момента (усилия), развиваемого приводом. При этом имеет значении место установки этого датчика. Наиболее удобным вариантом является применение датчика тягового усилия, развиваемого колесной парой (либо вращающего момента на колёсной паре). В таком случае появление усилия тягового двигателя на выходе привода однозначно свидетельствует об окончании выбора зазора и о возможности продолжения запуска в обычном режиме. Однако, установка такого датчика сопряжена с рядом трудностей (прежде всего конструкционного характера), что требует поиска альтернативных решений, не требующих прямого измерения выходного момента привода.

Подобной альтернативой является измерение (прямое или косвенное) вращающего момента самого тягового двигателя, развиваемого в период работы в режиме выбора зазоров. Для реализации такого принципа управления требуется, чтобы момент сопротивления движению механизма (электровоза) был значительно больше момента трения в самом электродвигателе, а ускорение разгона было настолько мало, чтобы было допустимым пренебречь величиной динамического момента. В этом случае вращающий момент, измеренный на электродвигателе (в том числе косвенно) можно считать с допустимой погрешностью равным моменту, прикладываемому к движущимся элементам кинематической цепи для их перемещения с целью устранения зазора.

Указанные условия являются трудновыполнимыми с традиционным тяговым приводом рудничного электровоза на базе двигателя постоянного тока последовательного возбуждения ввиду сложности ограничения скорости. Кроме того, в настоящее время подобный привод вытесняется другими перспективными видами привода. Это, прежде всего асинхронный привод с частотным регулированием [2], а также приводы на базе реактивных индукторных двигателей [3, 4]. В таких системах привода сравнительно легко реализуется ограничение как вращающего момента, так и скорости (ускорения) путем соответствующего выбора ограничений режима изменения частоты питающего напряжения.

Ввиду того, что подобные перспективные приводы требуют наличия специальной системы управления, меры по предотвращению ударов следует предусматривать при разработке указанной системы наряду с другими защитами от недопустимых режимов, таких, например, как защита от боксования и юза. В большинстве подобных систем управления предусматривается устройство косвенного измерения (наблюдения) развиваемого вращающего момента [5], либо имеется возможность его применения. Кроме того, имеется устройство измерения частоты вращения привода для измерения скорости, наличие которого предписывается правилами безопасности. Следовательно, при конструировании перспективных регулируемых тяговых приводов для рудничных электровозов имеется возможность осуществить защиту от ударов в механических передачах при пуске путем соответствующего построения системы управления, то есть без введения каких-либо дополнительных силовых аппаратов.

При построении систем защиты от ударов при пуске, работающих на основе данных о развиваемом вращающем моменте, следует иметь в виду, что предположение о большой величине момента статического сопротивления не во всех случаях допустимо. Например, при движении электровоза без состава момент статического сопротивления оказывается значительно меньше мо-

мента, определенного исходя, например, из средней загрузки состава. В таком случае возможно, что ограниченный вращающий момент, развиваемый в режиме выбора зазоров, окажется достаточным для начала движения и, следовательно, дальнейший рост развиваемого вращающего момента прекратится. В это случае для своевременного перехода на режим нормального пуска (с выбранными зазорами) следует использовать информацию о движении исполнительного органа (электровоза). Информация об этом может быть получена, например, от упомянутого выше датчика спидометра, обязательного для установки.

Таким образом, резюмируя вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. При конструировании тягового привода для рудничных электровозов необходимо принимать меры по предотвращению ударов в кинематической цепи (редукторе).
2. Переключение с режима выбора зазоров на режим нормального пуска в функции времени приводит к неоправданному повышению времени пуска.
3. Для реализации мер по защите от ударов при пуске возможно использование информации о вращающем моменте, развиваемом тяговым двигателем; при этом, для обеспечения инвариантности к нагрузке привода необходимо совместное использование информации как о вращающем моменте, так и о скорости вращения колесных пар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гейлер Л. Б.* Электропривод в тяжелом машиностроении. – М.: Машгиз, 1958. – 588 с.
2. *Волков Д. В., Сташинов Ю. П.* К вопросу о применении асинхронного частотно-регулируемого привода на рудничном электровозе. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М., 2005. – № 11. – С. 314-318.
3. *Реднов Ф. А., Карпенко Е. В., Коломейцев В. Л., Сулейманов У. М., Щербаков В. Г.* Система тягового индукторного электропривода для рудничного электровоза. // Электровозостроение. Сб. науч. тр. Всерос. н.-и. и проект.-конструкт. ин-т электровозостр. – Новочеркасск, 2001. – № 44. – С. 81 – 86.
4. *Павлюков В.М., Смахтин В.А., Попов К.Н.* Тяговый электродвигатель индукторного типа для безредукторного привода шахтных электровозов. // Сб. науч. тр. Всерос. н.-и. и проект.-конструкт. ин-т электровозостр. – Новочеркасск, 1997. – № 37. – С. 29 – 34.
5. *Асанов А. З.* Астатические наблюдатели нагрузки электромеханической системы. // Электричество, 2004. – № 2. – С. 25 – 30. ГИАБ

Коротко об авторах

Волков Дмитрий Владимирович – аспирант кафедры «Электрификации и автоматизации производства», Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета (НПИ), г. Шахты.