

ВНЕДРЕНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ШАХТНЫЙ САМОХОДНЫЙ ВАГОН В15К

А.С. Аникин

г. Челябинск, ЮУрГУ

ADAPTATION OF FREQUENCY-CONTROLLED ASYNCHRONOUS DRIVE ON SHAFT SELF-PROPELLED CAR V15K

A.S. Anikin

Chelyabinsk, SUSU

Представлены опыт внедрения, проблемы и перспективы частотно-регулируемого асинхронного электропривода в горных машинах, а именно, реализация тягового электропривода самоходного пневмоколесного вагона В15К, построенного на одном преобразователе частоты и четырех асинхронных двигателях, подключенных параллельно, без датчиков обратных связей.

Ключевые слова: преобразователь частоты, горный транспорт, многодвигательный электропривод, шахтный самоходный вагон В15К, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, мотор-колесо.

The article presents the adaptation experience, problems and prospects of frequency-controlled asynchronous drive on mining transport, namely implementation of tractive drive of self-propelled pneumowheel car V15K. The drive contains one frequency converter and four parallel-connected induction motors without feedback sensors.

Keywords: frequency converter, mining transport, multimotor drive, shaft self-propelled car V15K, squirrel-cage induction motor, hub motor.

Для угледобывающей и соледобывающей отраслей чрезвычайно актуальна задача внедрения регулируемого электропривода (ЭП) на базе преобразователя частоты (ПЧ) и асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АДКЗР). Это позволит обеспечить быстрое и точное регулирование усилий и скорости механизмов, а также энергосберегающие режимы, которые сейчас являются неотъемлемым требованием всех технологических процессов.

В настоящее время горные машины оснащены большим количеством ЭП:

- тяговые ЭП;
- ЭП погрузочно-разгрузочных механизмов;
- приводы подачи режущих инструментов;
- приводы режущих инструментов;
- вспомогательные механизмы и т.д.

Регулирование всех этих механизмов осуществляется, в лучшем случае, переключением обмоток двигателя, что является морально устаревшим и неэффективным техническим решением.

Принято считать, что большинство указанных механизмов не требуют глубокого регулирования скорости и усилий в электроприводе, а ПЧ – это громоздкие, ненадежные, дорогостоящие устройства, не пригодные к работе в горных машинах. Эта точка зрения в настоящее время далека от ис-

тины, но продолжает сдерживать применение регулируемых электроприводов в горных машинах.

Действительно, утверждать, что не существует технических проблем для внедрения ПЧ на горных машинах, нельзя. Именно с этими проблемами связаны неудачные попытки ряда российских и европейских предприятий внедрить частотное регулирование на горные машины, в частности, в качестве тягового ЭП на самоходные пневмоколесные вагоны. В настоящее время только американская фирма Joy Technologies Inc. поставляет на рынок вагоны с частотно-регулируемым тяговым приводом. При этом их стоимость в несколько раз превышает стоимость отечественных вагонов.

Вагон пневмоколесный самоходный грузовой В15К Копейского машиностроительного завода предназначен для транспортировки горной массы в подземных условиях шахт, опасных по газу (метану) и угольной пыли. Двухскоростные асинхронные двигатели, в которых секции обмоток статора соединяются треугольником или двойной звездой, обеспечивали передвижение вагона на двух скоростях.

ОАО «Копейский машиностроительный завод» с 2007 года проводит работы по внедрению частотно-регулируемого тягового ЭП на вновь

разрабатываемый пневмоколесный вагон. Исходные данные для установки ПЧ были следующие:

- в качестве тяговых электродвигателей применялись 4 мотор-колеса, АДКЗР мощностью 22 кВт с мягкими механическими характеристиками (критическое скольжение на уровне 60 %) и большими возможностями по перегрузке;
- необходимо обеспечить 3 скорости передвижения: 3 км/ч, 6 км/ч и 9 км/ч;
- эксплуатация вагона должна обеспечиваться на трассе с углами уклонов ± 12 градусов.

Последнее требование равносильно изменению нагрузки на тяговый привод от -300% до $+300\%$.

Конструктивно, оптимальным вариантом тягового привода является ЭП на базе четырех АДКЗР (АИУЕ225М), параллельно питающихся от одного ПЧ (Vacon NXP). Такая система снижает износ механических частей (исключается прямой пуск, используется динамическое торможение вместо механического), улучшает эксплуатационные характеристики привода (энергетику, тяговые усилия).

Прикладные программы, поставляемые фирмой-изготовителем ПЧ, разработаны для общепромышленных механизмов (насосов, вентиляторов, конвейеров) и не подходят для такого специфического оборудования, как самоходный вагон. Поэтому на данном этапе из-за отсутствия программных средств приходится проектировать структуру и программное обеспечение (ПО) ЭП, исходя из других «применений» (прикладных программ), что достаточно сложно, так как фирмы производители и их представительства в России не предоставляют структуры и алгоритмы управления преобразователей, а также прав корректировать эти структуры и алгоритмы.

Получается, что напряжение $U_{A,B,C}$ и частота f на выходе ПЧ формируются в зависимости от сигнала задания скорости n_3 и измеряемых суммарного тока I_Σ и напряжения U преобразователя по стандартной макропрограмме и по функциональной схеме (рис. 1), не учитывающей особенностей данного электропривода.

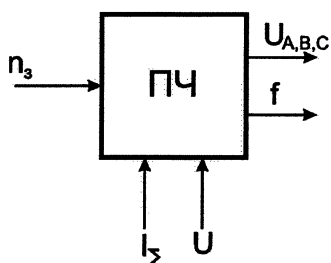


Рис. 1. Функциональная схема

Тяговый электропривод вагона должен обеспечивать работу на трех скоростях: 3, 6 и 9 км/ч. В связи с этим наиболее подходящей для управления двигателем является «Макропрограмма с набором

фиксированных скоростей». Выбран режим управления двигателя, обеспечивающий поддержание скорости. Очевидно, при этом в ПЧ происходит вычисление «усредненной» скорости двигателя.

Проведены эксперименты в заводских условиях и в условиях шахты. Результаты экспериментов фиксировались с помощью программного обеспечения к ПЧ NCDrive, которое позволяет выводить на экран до 10 параметров. Диаграммы работы вагона в условиях шахты представлены ниже.

При проведении экспериментов особое внимание уделялось следующим режимам:

- обеспечение работы привода на низких скоростях, что считается проблемой для асинхронных регулируемых электроприводов;
- обеспечение тормозных режимов при движении под уклон и при остановке;
- поддержание скорости при изменениях внешней нагрузки;
- процессы регулирования тока статора и момента;
- работа привода при максимальных нагрузках.

На рис. 2 изображено движение вагона под уклон. Торможение обеспечивается путем рассеивания энергии на тормозном резисторе. Его мощность составляет 2 кВт, но ее вполне достаточно для работы под уклон. Также активирована функция динамического торможения, которая позволяет при торможении гасить часть энергии в двигателе. Отрицательный момент формируется снижением напряжения на выходе преобразователя.

Рис. 3 иллюстрирует изменение нагрузки в широких пределах. Сначала груженный вагон (3–4 тонны) двигался по горизонтальной поверхности, момент нагрузки составлял примерно 30 % (участок I).

На участке II была включена вторая скорость, вагон разогнался, заехав на небольшое возвышение ($1-2^\circ$), но затем в течение 10 с двигался под небольшой уклон (нагрузка 20 %). Потом (участок III) при угле подъема примерно 3–4 градуса момент возрастает до 70 %. На участке IV угол подъема увеличивается до 9–10 градусов (нагрузка 160 %). Затем вагон движется по горизонтальной поверхности при небольших неровностях трассы (участок V), а на участке VI происходит разгон до третьей скорости.

При работе на второй заданной скорости скольжение, соответствующее 20 % нагрузки, составляет 4,5 %, а при 160 % нагрузки – 11,5 %. За время движения ошибка по скорости не превышала 4,5 %. Кривые момента, тока и напряжения имеют колебательный характер, причем ток и напряжение повторяют форму момента.

В выбранном режиме управления (управление скоростью двигателя в разомкнутом контуре) при больших моментах нагрузки (см. рис. 3) заданная скорость поддерживается с пятипроцентной точностью. Конечно, не известна математическая модель, по которой вычисляется скорость вращения,

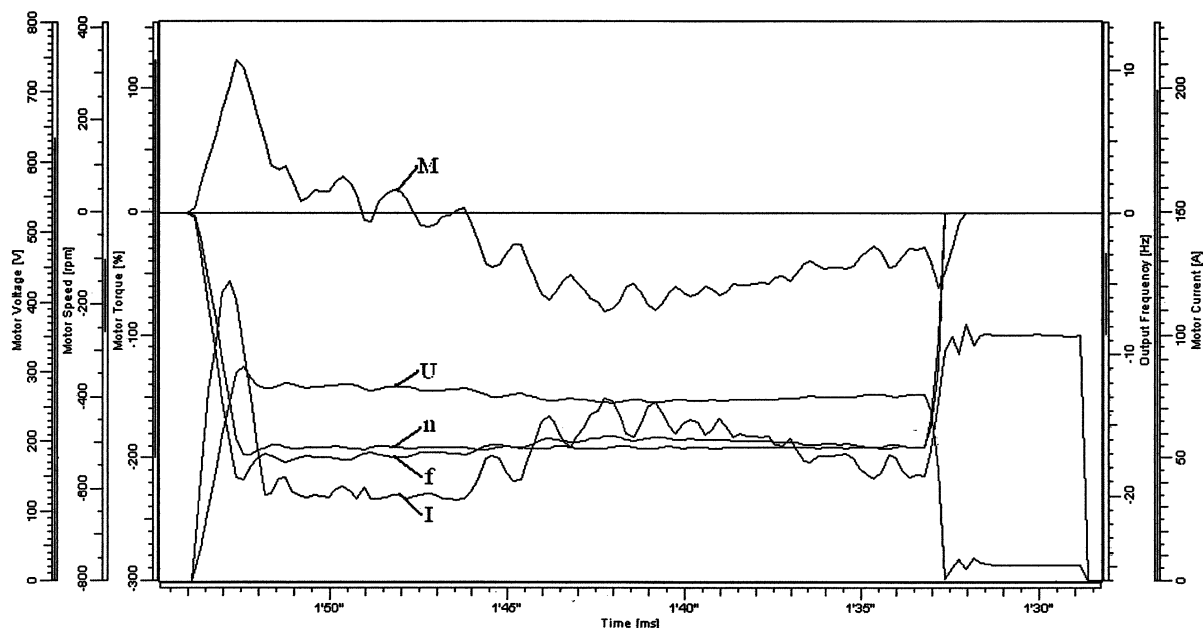


Рис. 2. Движение вагона под уклон

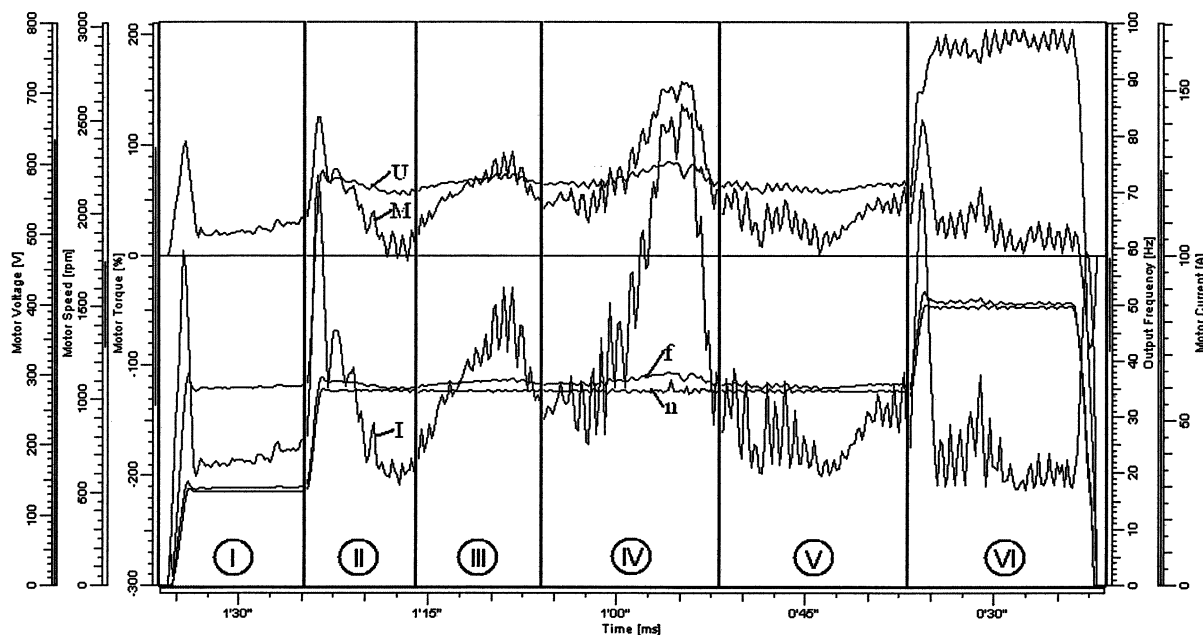


Рис. 3. Изменение нагрузки в широких пределах

да и значение ее усредненное (так как подключены четыре двигателя), но при визуальном наблюдении отклонений при работе на всех скоростях не обнаружено.

Из рис. 3 видно, что $\Delta s = 7\%$, а $\Delta M = 140\%$. На рис. 4 приведена механическая характеристика, соответствующая второй заданной скорости. По ней видно, что приращению момента нагрузки от 20 до 160 % соответствует изменение скольжения на 10 %. Если бы привод работал на фиксированных механических характеристиках, то при больших нагрузках скольжение бы существенно увели-

чивалось, а на низких скоростях привод не смог бы работать.

Поддержание скорости двигателя, реализованное в преобразователе, при изменении нагрузки от -300% до $+300\%$ обеспечивает изменение скольжения не более 10–15 %, при работе двигателя на естественной характеристике, скольжение изменялось бы от -65% до $+65\%$. Пропорционально скольжению изменялись бы потери в роторе, которые не контролируются, но приводят к перегреву двигателя.

По анализу результатов экспериментов были сформулированы проблемы, требующие дальнейшего решения, и перспективы, открывающиеся с внедрением асинхронного регулируемого электропривода.

1. Испытания пневмоколесного вагона в шахтных условиях показали, что применение асинхронных регулируемых электроприводов в горном машиностроении перспективно. Полученные качества привода могут быть использованы в ЭП горных машин для подачи режущих инструментов, приводов режущих инструментов, приводов погрузочных механизмов и т.д. Широкие возможности одновременного регулирования скоро-

сти и момента обеспечат высокое качество и надежность технологических процессов.

2. Внедряемый тяговый ЭП обеспечивает достаточно высокую точность (в пределах 5 %) поддержания скорости с одновременным регулированием механического момента в больших пределах (от – 300 % до + 300 %). При этом нужно учитывать, что ПЧ работает по стандартной макропрограмме и по схеме, не учитывающей особенностей данного электропривода (см. рис. 1).

3. Для оптимизации работы ПЧ предполагается создание математической модели данной системы электропривода с учетом ее особенностей (рис. 5):

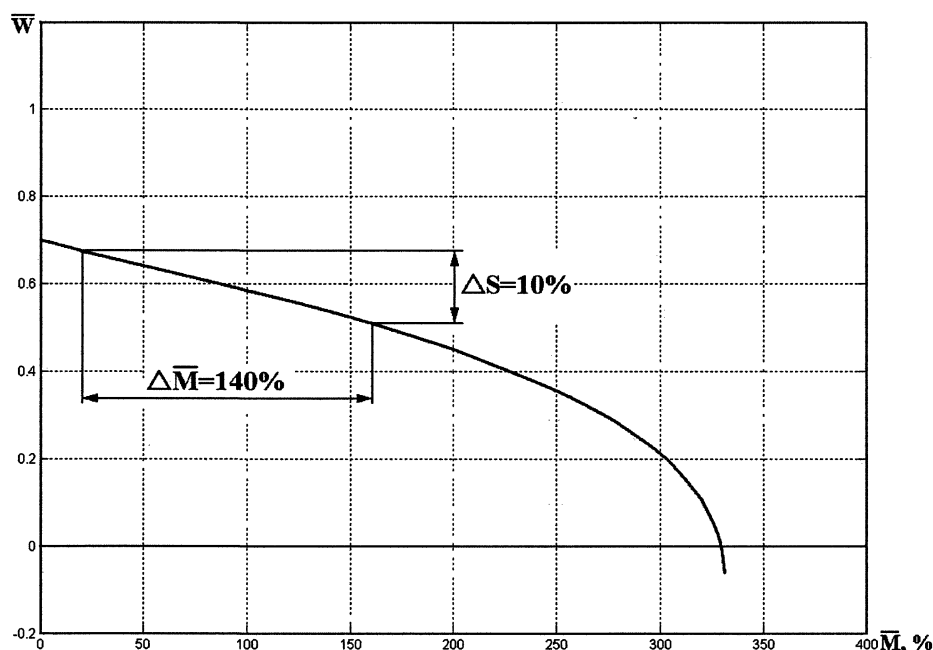


Рис. 4. Механическая характеристика, соответствующая второй заданной скорости

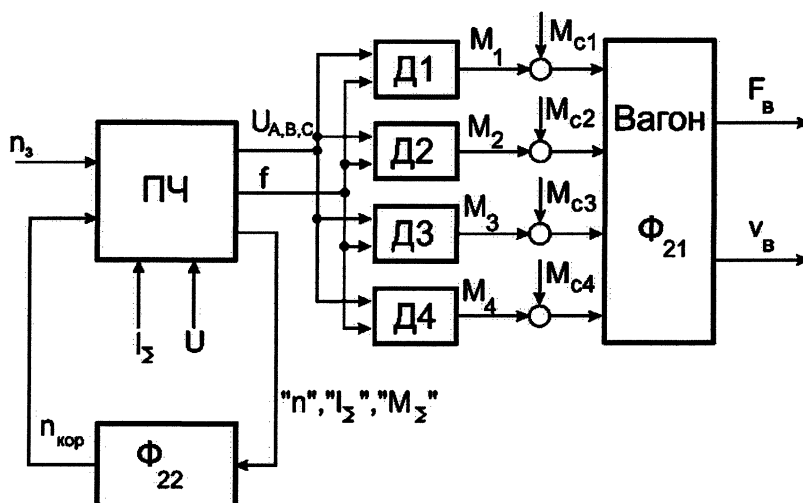


Рис. 5. Функциональная схема электропривода

- работа ПЧ на четыре двигателя, связанных общей неодинаковой нагрузкой;
- невозможность установить датчики на каждый двигатель;
- высокая динамика нагрузки и ее недетерминированность.

Исследование полученной математической модели позволит оптимизировать работу электропривода за счет определения:

- наиболее эффективного закона управления ПЧ в разных режимах;
- наиболее эффективного режима управления двигателем;
- оптимальной U/f -кривой и ее адаптации к изменению нагрузки;
- минимально необходимой мощности тормозного резистора из-за ограниченных габаритов, предоставляемых на машинах для электронного оборудования и т.д.

4. Коллектив разработчиков предполагает обратиться к фирме-изготовителю ПЧ для получе-

ния доступа к работе с «внутренними» алгоритмами работы преобразователя. В результате этого может сформироваться новая макропрограмма применения для шахтных электроприводов, внутри которой будет реализован функционал Φ_{22} . Создание новой прикладной программы управления ПЧ для шахтных электроприводов позволит упростить наладку электроприводов горнодобывающего оборудования и самоходного вагона в частности.

5. Предусмотрена возможность реализации функционала Φ_{22} на базе разрабатываемого дополнительного управляющего устройства, которое предназначено для обеспечения условий взрывозащищенного исполнения цепей управления электроприводами вагона. Устройство будет обрабатывать сигналы задания с пульта оператора (величину задания скорости, направление движения), сигналы, поступающие от ПЧ (« n », « I_F », «предупреждения», «неисправности» и т.д.) и формировать сигналы управления для преобразователя.

Поступила в редакцию 10.01.2009 г.

Аникин Александр Сергеевич – аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Южно-Уральского государственного университета. Область научных интересов: силовая электроника, автоматизированный электропривод. Контактный телефон: 8-(351) 267-93-21.

Anikin Alexander Sergeevich – postgraduate student of the Electric Drives and Automation of Industrial Installations department of South Ural State University. Scientific interests: power electronics, automated electric drive. Contact telephone: 8-(351) 267-93-21