УДК 622.625-83(06)

Д.В.ВОЛКОВ
Шахтинский институт – филиал Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института)

АСИНХРОННЫЙ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ПРИВОД ШАХТНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА

Представлены результаты разработки асинхронного привода шахтного электровоза: выбор и построение характеристик тяговых двигателей, варианта силовой части электропривода и структуры системы управления. Обосновано применение индивидуальных преобразователей частоты для каждого двигателя. Система управления приводом формирует механическую характеристику, мягкую в области средних и повышенных нагрузок с ограничением максимального тягового усилия, и жесткую при малых и отрицательных нагрузках с автоматическим ограничением скорости движения и выравниванием нагрузки между тяговыми двигателями.

Разработаны принципиальные схемы силовых преобразователей и система управления с использованием программируемого микроконтроллера. Выполнено математическое моделирование привода с использованием системы MATLAB, результаты которого подтверждают работоспособность предлагаемой структуры системы управления.

Results of an asynchronous drive design for mine electric locomotives are presented such as selection and determination of mechanical characteristics of traction engines, the power part of electric drive and the control structure. Application of individual frequency converters for each motor has been grounded. The drive control system creates mechanical characteristics flexible within average and high loads with limitation of the maximum pull and rigid within low and negative loads with automatic limitation of travel speed and load equalization between the traction engines. Basic diagrams of power converters and programmable microcontroller-assisted control system have been developed. Mathematical modeling of the drive has been carried out with application of the MATLAB software. The results prove the efficiency of the proposed control structure.

The schematic circuits of the power converters and the controlling system with using programmable microcontrollers were worked out. The mathematic modeling with using modeling system MATLAB was made. It's results proves the workability of the suggested structure of the controlling system.

Перспективным направлением развития регулируемого электропривода, в том числе тягового, является применение асинхронных короткозамкнутых электродвигателей с частотным регулированием скорости. Предлагаемая работа посвящена разработке и исследованию такого привода применительно к шахтным электровозам с питанием от контактной сети постоянного тока напряжением 250 В.

Основная задача, которую требуется решать при построении асинхронного тягового привода, – формирование тяговой механической характеристики. Она существенно отличается от естественной характеристики асинхронного двигателя и может быть получена при использовании электропривода с замкнутой системой регулирования скорости, имеющей нелинейную обратную связь.

Один из вариантов реализации подобной системы рассмотрен в данной работе на примере контактного электровоза К14. Этот электровоз имеет две ведущие оси и укомплектован двумя двигателями постоянного тока типа ЭТ-46. В предлагаемом варианте эти двигатели заменены асинхронными двигателями в рудничном исполнении типа ВР200М4.

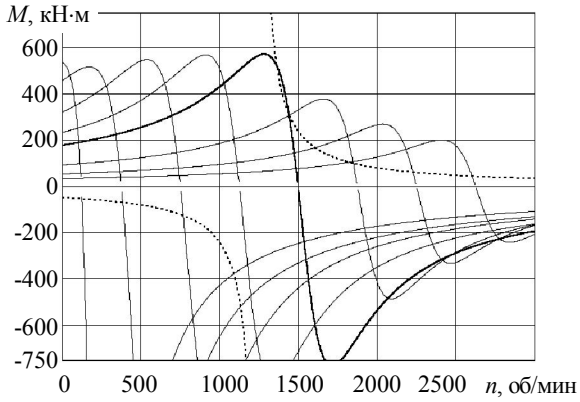


Рис.1. Расчетные механические характеристики асинхронного электродвигателя при частотном регулировании (пунктирная линия – аппроксимация механической характеристики тягового двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением)

Питание тяговых асинхронных двигателей должно осуществляться от индивидуальных автономных инверторов. Как показали расчеты, использование общего инвертора недопустимо из-за высокой жесткости естественных механических характеристик асинхронных двигателей; в этом случае в связи с неидентичностью механических характеристик и неодинаковым износом колесных пар возможно неравномерное распределение нагрузки между двигателями (до 3 раз), что приведет к значительному недоиспользованию тяговой возможности (сцепной массы) электровоза.

Синтез тяговой характеристики возможен путем регулирования частоты напряжения питания электродвигателя в функции нагрузки, что обеспечивает получение семейства характеристик, представленных на рис.1. Расчет указанных характеристик выполнен для закона регулирования с линейной зависимостью напряжения питания от частоты и компенсацией активных потерь в статорной цепи.

Большинство выпускаемых в настоящее время преобразователей частоты рассчитано на питание от трехфазной сети переменного тока 380 В. Поскольку напряжение в шахтной контактной сети составляет 250 В, указанные преобразователи не могут быть применены без изменения их конструкции. В связи с этим было принято решение о разработке специализированного автономного инвертора напряжения (АИН), рассчитанного на указанные параметры питающего напряжения. Звеном постоянного тока преобразователя является контактная сеть. Силовая часть выполнена по схеме трехфазного моста на полностью управляемых вентилях. В качестве силовых вентилей выбраны модули типа PM600DSA060, каждый из которых содержит два IGBT-транзистора, соединенных по схеме полумоста.

Управление вентилями осуществляется по методу широтно-импульсной модуляции (ШИМ) от системы управления на базе программируемого микроконтроллера. Применение указанного решения позволяет формировать весьма сложные последовательности управляющих сигналов.

Таким образом, на электровозе имеются два объекта управления – преобразователи частоты для тяговых двигателей. Для формирования тяговой характеристики и равномерного распределения нагрузок между двигателями (ведущими осями) требуется специализированная система регулирования. Структура и параметры указанной системы являются предметом исследования. В настоящее время предложена структура, показанная на рис.2.

В данной схеме сила тяги складывается из сил тяги двух ведущих осей F_1 и F_2, равных произведению момента соответствующего двигателя на радиус приведения ρ_1 (ρ_2). В общем случае $\rho_1 \gamma \rho_2$. Двигатели представлены упрощенно как апериодические звенья, охваченные внутренней обратной связью по скорости. Для подачи сигнала обратной связи по моменту выходной сигнал двигателя условно представлен в виде тока двигателя I, который затем преобразуется в момент умножением на постоянный коэффициент C. Входным воздействием двигателей принимается частота АИН f. При этом предполагается, что выходное напряжение АИН регулируется так, что значение критического момента двигателя поддерживается постоянным.

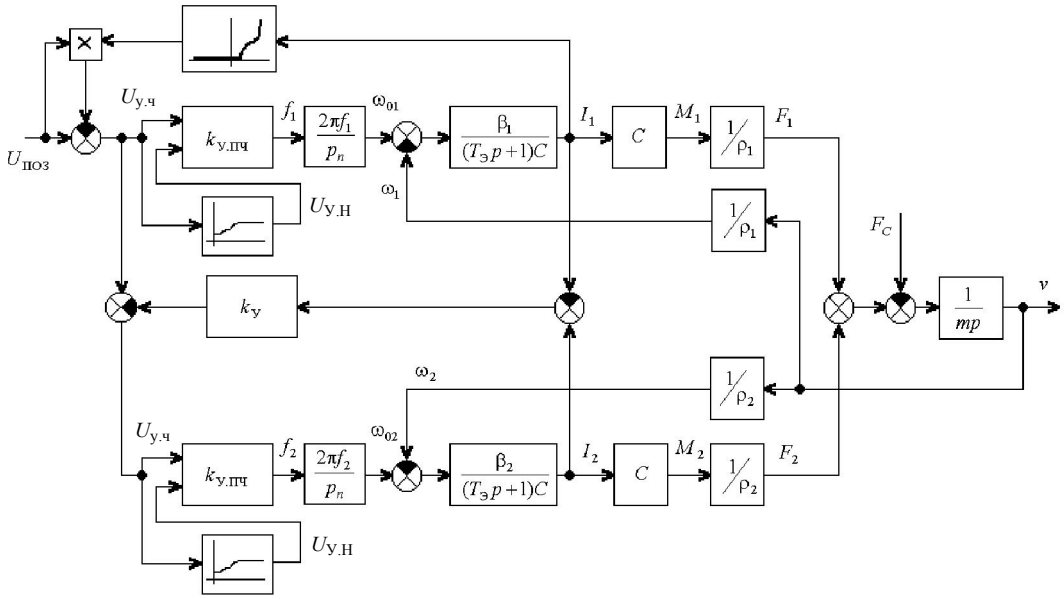


Рис.2. Структурная схема системы регулирования для синтеза механических характеристик

Схема состоит из двух каналов: ведущего и ведомого – и системы выравнивания нагрузки. Входным воздействием схемы является сигнал задания скорости движения в относительных единицах $U_{\text{поз}}$, который задает скорость холостого хода привода. Синтез механической характеристики осуществляется в ведущем канале с помощью нелинейного звена в цепи обратной связи по моменту. Форма нелинейности этого звена должна быть обратной форме механической характеристики привода. За счет воздействия нелинейной обратной связи формируется сигнал управления частотой питания двигателя ведущего канала. Этот же сигнал управления частотой подается и на инвертор ведомого канала, в результате его выходная частота будет такой же, как и в ведущем. Для компенсации неидентичности характеристик двигателей, неравномерного износа бандажей колес и других факторов, проявляющихся в виде неравенства значений радиуса приведения ρ и жесткости β, ведомый канал дополнительно управляется системой выравнивания нагрузки. Данная система представляет собой П-регулятор момента, поддерживающий момент двигателя ведомого канала равным моменту двигателя ведущего канала за счет изменения сигнала задания частоты АИН ведомого канала.

По предложенной схеме была построена математическая модель электропривода с использованием системы визуального моделирования MATLAB 5.0. Проведенное моделирование позволяет дать предварительную оценку выбранной структуры системы управления как правильной.

Разработана принципиальная схема системы управления силовыми преобразователями. Она построена по двухуровневой структуре. На нижнем уровне находятся микропроцессорные модули управления силовыми ключами преобразователей частоты. Каждый преобразователь имеет индивидуальную микропроцессорную систему управления, в задачи которой входит формирование импульсов управления силовыми ключами с целью формирования трехфазной системы синусоидальных напряжений. При этом осуществляется регулирование частоты и напряжения на выходе преобразователя по заданию от верхнего уровня. Этот же модуль осуществляет измерение параметров, характеризующих режим работы одного из тяговых двигателей: нагрузка, угловая скорость ротора, температура обмоток.

На верхнем уровне находится центральный блок управления, конструктивно объединенный с пультом машиниста, который осуществляет регулирование режима работы привода согласно структурной схеме, приведенной на рис.2. Данный блок получает информацию о состоянии привода от датчика напряжения контактной сети и от модулей нижнего уровня, а также задающие воздействия с пульта управления. Связь между центральным блоком и модулями нижнего уровня осуществляется по последовательному каналу.

Работа по данной теме продолжается в направлении уточнения данных моделирования системы с использованием физической модели тягового привода.

Научный руководитель к.т.н. доц. *Ю.П.Сташинов*