

III российская молодежная научная школа-конференция
«Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи»
Секция 1. Энергоэффективные технологии в электромеханике

вы хотите управлять на большом расстоянии, вам необходимо оставить телефон или планшет с включенным bluetooth и интернетом, установить специальные программы и управлять с другого телефона, что на мой взгляд является не эффективным, устройства самобытны и не связаны в сеть, устройство не позволяют повысить энергоэффективность, они только добавляют дистанционное управление

Идея Bork заключается в оснащении своих устройств интеллектом, вы можете выбирать расширенные режимы приготовления, например, для чайника вы можете выбрать цвет чая и чайник сам подберет оптимальную температуру заваривания, но устройства не умеют управляться удаленно и автоматически. При этом стоимость чайника Bork равна 20 т.р.

Есть английский проект по созданию умного чайника iKettle, стоимость чайника 100 фунтов, это более 10 т.р. Их чайник наделен хорошим функционалом, способен удаленно управляться, управляться по таймеру, но проект не выходит за рамки чайника, не распространяется на другие устройства и чайник не способен работать в комплексе с другими устройствами умного дома и в других системах умный дом.

Область применения технологии модернизации промышленно изготовленных приборов довольно обширна. Её можно использовать в качестве автоматизации на производстве, например, в котельной, оснатив управляющие устройства данной технологией, мы без труда сможем удалённо регулировать температуру, следить за давлением и стабильностью работы котлов, следить за состоянием насосов и тд. Также модель позволит модернизировать управление оборудованием, повысить энергоэффективность и КПД, можно автоматизировать процесс прогрева станков до прихода сотрудников на рабочее место или автоматизировать управление климатом помещения в зимний период, и на основе анализа температуры и работы станков уменьшить потребление платной тепловой энергии. Технология позволит модернизировать производственные линии, благодаря централизованному управлению с обратной связью

Так же эту технологию можно применять и в медицине, например, оснатив медицинские приборы данной технологией, мы имеем возможность удалённо наблюдать за состоянием больного.

В домашней обстановке данная технология направлена на облегчение бытовых нужд и направлена на сотрудничество с действующим производителем бытовых приборов, нуждающегося в модернизации своих устройств.

ЭЛЕКТРОПРИВОД МОТОР-КОЛЕСА БОЛЬШЕГРУЗНОГО САМОСВАЛА ПРОИЗВОДСТВА БЕЛАЗ

Сотников Н. В., Кутеев В. И.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Среди многообразия средств транспорта и механизации строительства преобладают самоходные пневмоколесные (безрельсовые) транспортные средства [1]. На них в качестве основных применяются механические, гидромеханические и электрические трансмиссии. Основным недостатком механических трансмиссий является ступенчатое изменение скорости, осуществляемое для использования полной мощности источника энергии при изменении тягового усилия, определяемого сопротивлением движению машины. Помимо этого, при переключениях передач тяговое усилие исчезает вследствие разрыва силового потока в трансмиссии. Частичное

устранение недостатков механических трансмиссий достигается установкой на входе коробки передач гидротрансформатора, а внутри ее – фрикционных муфт, обеспечивающих переключение передач под нагрузкой. Однако гидромеханические трансмиссии сложнее, дороже, тяжелее и имеют меньший коэффициент полезного действия, чем механические трансмиссии. Электрические трансмиссии свободны от недостатков механических и гидромеханических трансмиссий. В электротрансмиссиях имеется два бесступенчатых преобразователя энергии – генератор и двигатель, что позволяет изменять составляющие мощности в отношении 1:20 и шире. Это является основным преимуществом электрических трансмиссий, которое в сочетании с высокой надежностью обуславливает их практическое применение. В связи с этим широкое распространение получили так называемые мотор-колеса, содержащие встроенные в ступицы тяговые электродвигатели, редукторы и аварийно-стояночные тормоза, их преимущества заключаются в следующем:

- Возможность передачи мощности до нескольких тысяч лошадиных сил от одного или группы дизелей к необходимому числу движителей;
- Бесступенчатая тяговая характеристика в диапазоне регулирования скорости 1:20 при номинальной мощности;
- Меньшие расходы на обслуживание по сравнению с расходами при механических и тем более гидромеханических трансмиссий;
- Простота и эффективность автоматизации управления трансмиссиями и процессов работы машин.

Карьерный самосвал БелАЗ-75600, грузоподъемностью 320 т. предназначен для перевозки сыпучих грузов на открытых разработках месторождений полезных ископаемых по технологическим дорогам. Рассматриваемый внедорожный самосвал приводится в движение посредством дизельного четырёхтактного 18-цилиндрового двигателя Cummins QSK 78-C, мощностью 2610 кВт/3500 л.с., соединенного с генератором и системой тягового привода переменного тока. Усредненную схему технологического процесса можно представить следующим образом:

Загрузка груза, выезд из карьера (забоя) со скоростью 30 км/час, движение с грузом со скоростью 60 км/час, разгрузка груза, движение без груза обратно в карьер со скоростью 65 км/час, движение в карьере до места загрузки со скоростью 30 км/час.

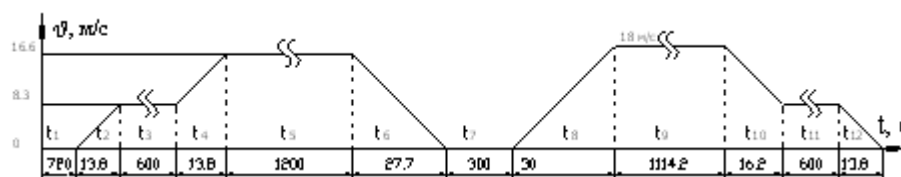


Рис. 1. Упрощенная скоростная диаграмма работы самосвала

Электромотор-колесо крепится к картеру заднего моста.

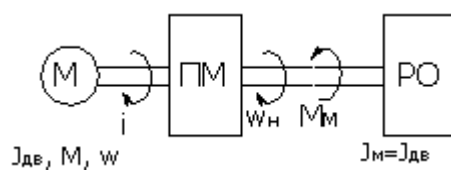


Рис. 2. Кинематическая схема электропривода

Двигатель М служит для преобразования электрической энергии в механическую энергию. Преобразовательный механизм ПМ осуществляет передачу вращения от вала двигателя к валу рабочего органа. При помощи этого механизма происходит понижение скорости и соответственно повышение вращающего момента ведомого вала по сравнению с ведущим. Рабочий орган РО преобразует подведенную к нему механическую энергию в полезную работу. Оптимальными в качестве тягового двигателя в данной системе электропривода может применяться либо двигатель постоянного тока, либо асинхронный двигатель [2]. Применение двигателя постоянного тока нерационально из-за больших размеров двигателей требуемой мощности, также из-за больших потерь и проблем со щеточным коллектором. Наиболее перспективным выглядит применение асинхронных двигателей вкуче с преобразователем частоты, из-за легкости регулирования и хороших статических и динамических свойств данной системы. Для обеспечения требуемой характеристики проектируемый электропривод должен содержать генератор, вращаемый дизельным двигателем, неуправляемый выпрямитель и два преобразователя частоты, по одному на каждый тяговый двигатель [3]. Система управления должна принимать в расчет режим работы самосвала (движение вперед, задний ход, нейтраль, динамическое торможение, режим холостого хода системы привода). Выход генератора питает 3-фазный диодный мост и заряжает конденсаторную батарею постоянного тока С, расположенную в шкафу управления, называемую также "канал связи постоянного тока". Для обеспечения полного управления соответствующим тяговым колесным двигателем каждый инвертор производит 3-фазное напряжение с переменной амплитудой и частотой. Энергия торможения подается обратно в канал связи постоянного тока и направляется тормозными прерывателями в решетки тормозных резисторов, где происходит ее рассеивание.

Блок управления тяговым приводом (БУТП) контролирует и управляет системой тягового привода в целом, включая управление числом оборотов двигателя, выходным напряжением генератора, крутящими моментами двигателей, токами прерывателя, напряжением в канале связи постоянного тока, системой защиты от пробуксовки и проскальзывания колес и охлаждающим вентилятором.

Для обеспечения требуемой характеристики постоянства мощности применяем обратные связи по скорости и току тяговых двигателей.

Функциональная схема электропривода приведена на рисунке 3.

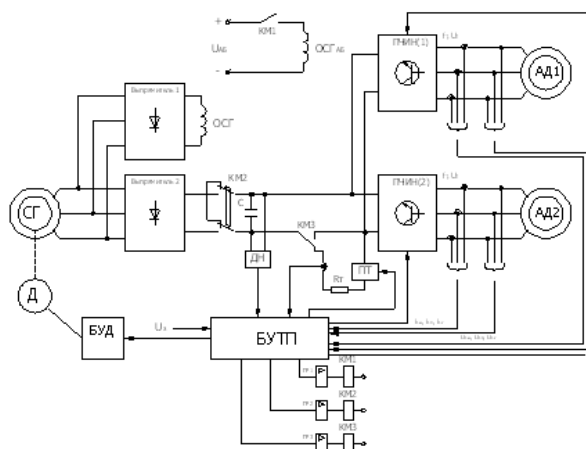


Рис. 3. Функциональная схема тягового электропривода самосвала

В основе системы управления лежит микроконтроллер, позволяющий осуществлять управление тяговыми электродвигателями в функции постоянства мощности, а также реализовывать защиту от перенапряжений и токов, превышающих номинальные значения. Для этого в системе присутствуют термодатчики, установленные на каждом блоке инвертора, а также непосредственно на тяговых двигателях. В случае, если на контроллер поступает сигнал о превышении допустимой температуры нагрева этих элементов, контроллер выдает команду на включение дополнительной вентиляции, а в случае, если нагрев критических элементов продолжается – контроллер принимает решение о принудительном выключении системы привода, с обеспечением наложения механического тормоза. В системе реализована возможность торможения машины путем гашения энергии движения на решетках тормозных резисторов. При нажатии на педаль динамического торможения инверторы мгновенно инвертируют двигательный момент и посылают энергию, расходуемую на торможение в канал связи постоянного тока, где она рассеивается тормозным прерывателем (ПТ). Ток в системе управления напряжением двигателя вентилятора для охлаждения решеток тормозных резисторов контролируется и должен оставаться в пределах заданного диапазона, в противном случае в системе регистрируется возникновение неисправности и происходит включение системы защиты. Если индикатор свидетельствует о наличии подобной неисправности, оператор должен немедленно применить динамическое торможение, поскольку время, отводимое в данном случае на динамическое торможение, ограничено. При превышении времени, отводимого на динамическое торможение, оператор должен применить рабочий тормоз для полной остановки самосвала. Исходя из соображений безопасности, на динамическое торможение отводится очень короткий период времени, так как охлаждение тормозных резисторов в данном случае под вопросом. Блок управления тяговым приводом (БУТП) управляет потоком энергии торможения через решетки тормозных резисторов посредством модулирования рабочих циклов прерывателя (отношение времени включенного состояния к времени выключенного состояния). Так как энергия, полученная в результате торможения от двигателей не может быть возвращена в источник, то выпрямитель отключается от преобразователя частоты контактором КМ2 и микроконтроллер переключает контактор КМ3. В этом случае электропривод переходит в режим гашения энергии торможения на тормозных резисторах. При этом контролируется величина напряжения в канале постоянного тока, и, при превышении заданной величина напряжения, БУТП включает тормозной прерыватель ПТ с некоторой заданной частотой.

Так как механизм работает в длительном режиме с переменной нагрузкой, то по рассчитанным силам, действующим на интервалах времени, можно рассчитать эквивалентную силу:

$$F_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{11} F_i^2 t_i}{t}} = \sqrt{\frac{3.482 \cdot 10^{13}}{3853}} = 95.07$$

На основании эквивалентной силы и номинальной линейной скорости рассчитывается эквивалентная мощность:

$$P_y = F_y \cdot v = 95.07 \cdot 9 = 942 \text{ кВт}$$

Так как в нагрузочной диаграмме неучтено значение момента инерции еще не выбранного двигателя, поэтому расчетная мощность определяется с коэффициентом запаса: $k_{зан} = 1.1 \dots 1.3$.

Принимаем $k_{зан} = 1.3$. Тогда расчетная мощность будет равна:

$$P = P_y \cdot k_{зан} = 942 \cdot 1.3 = 1225 \text{ кВт}$$

В качестве тяговых двигателей принимаем к установке четырехполюсные трехфазные асинхронные двигатели 1ТВ 2830 – 2GA012, мощностью 1250 кВт, производства компании Siemens. Каждый двигатель встроен в мотор-колесо, содержащее редуктор, с передаточным числом $i=47,34$. Также в мотор-колесо встроены датчик скорости, посылающий сигнал о текущей скорости вращения двигателя в блок управления тяговым приводом (БУТП).

Таблица 1. Параметры двигателя 1ТВ 2830 – 2GA012

Механические данные двигателя	
Диаметр ротора	495 мм
Диаметр отверстия статора	500 мм
Длина основной сборки	450 мм
Воздушный зазор	2.5 мм
Масса комплекта мотор-колеса, кг	3 400
Технические данные электродвигателя	
Номинальное напряжение, В	1 800
Номинальный ток, А	4 75
Номинальная мощность, кВт	1 250
Номинальная скорость, об/мин	1 480
Номинальная частота питающего напряжения, Гц	50
Коэффициент полезного действия	96.4
Фактор смещения $\cos \varphi$	0.9
Номинальное напряжение изоляции, В	2 300
Максимальный ток, А	1 000
Максимальная скорость, об/мин	2 300

В качестве преобразователя выбран ПЧ-АД с векторным управлением. В качестве тягового двигателя выбираем асинхронный двигатель, с параметрами указанными в таблице 2. Требуемую мощность выбираем из параметров исходной установки – 1250 кВт. Выбираем двигатель производства фирмы Siemens 1ТВ 2830-2GA012.

Таблица 2. Параметры двигателя 1ТВ 2830-2GA012

$P_{\text{ном}}$, кВт	n , об/мин	$S_{\text{ном}}$, %	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos \varphi_{\text{ном}}$	Масса, кг
1250	1480	1.3	96.4	0.9	3400

Более корректным параметром выбора преобразователя является не мощность, а ток двигателя, потребляемый в требуемых режимах работы. На следующем этапе выбора преобразователя частоты необходимо определить требования к его функциональным возможностям. Во-первых, требуется выбрать способ управления двигателем: скалярное или векторное управление. Векторное управление целесообразно выбирать в случаях, когда необходима высокая точность регулирования, поддержание момента на валу двигателя при малых скоростях вращения. Немаловажным фактором, определяющим выбор преобразователя частоты, является режим работы электропривода. С точки зрения теории машин, любой электродвигатель как электромеханический преобразователь энергии может работать в четырех режимах работы: двигательный режим, генераторный режим, режим динамического торможения, режим торможения противовключением.

В двигательном режиме электрическая энергия из сети преобразуется в механическую и передается в нагрузку, при этом часть энергии рассеивается в виде потерь [4]. В генераторном режиме работы двигателя идет обратное преобразование: механическая энергия преобразуется в электрическую энергию, которая передается обратно в сеть. В режиме динамического торможения вся механическая энергия на валу двигателя рассеивается в виде тепла. И, наконец, в режиме торможения противовключением и механическая, и электрическая энергии преобразуются в тепловую и рассеиваются на поверхности двигателя. Большинство преобразователей частоты способны обеспечить только первый и последний из описанных выше режимов работы двигателя. Однако торможение противовключением может применяться только на очень низких скоростях вращения, при очень малых запасах кинетической энергии в рабочем органе. Это объясняется тем, что и механическая энергия рабочего органа, и электрическая энергия из сети преобразуются в тепловую энергию, которая должна быть отведена от двигателя. Следовательно, если не применять дополнительных мер, то двигатель может перегреться и выйти из строя. В этом случае целесообразно использование преобразователя частоты, способного обеспечивать режим динамического торможения. Неподвижное поле статора в этом режиме создается подключением его обмоток к источнику постоянного тока, поэтому этот режим часто называют режимом торможения постоянным током. Из энергетических диаграмм видно, что, в отличие от торможения противовключением, в этом режиме на двигателе рассеивается только механическая энергия рабочего органа (потери от протекания постоянного тока в обмотках статора можно пренебречь). Очевидно, что интенсивность торможения в таком случае будет значительно выше. Но наиболее эффективный отвод механической энергии, а, следовательно, и более интенсивное торможение, может обеспечить генераторный режим работы двигателя. В этом случае большая часть механической энергии преобразуется в электрическую и передается обратно в сеть. Такое преобразование называется рекуперацией энергии. Однако следует помнить, что в большинстве современных преобразователей частоты используются неуправляемые выпрямители, которые способны преобразовывать электрическую энергию только в одном направлении. Поэтому вся электрическая энергия от двигателя будет передаваться в звено постоянного тока, но не может быть передана обратно в сеть. В случае включения в звено постоянного тока балластного сопротивления происходит контроль напряжения в звене постоянного тока и, в случае превышения допустимого значения этого напряжения, происходит включение решеток тормозных резисторов, на которых и рассеивается энергия торможения двигателя. Использование балластного сопротивления не позволяет повысить энергосбережение, однако значительно улучшит динамические характеристики электропривода. А в случаях работы двигателя в режиме частых пусков, остановок, реверсов, при значительных колебаниях момента нагрузки, как в случае с тяговым приводом, использование балластного сопротивления обязательно. Учитывая вышеприведенные особенности, выбираем частотный преобразователь 6SE8018-1BA00 производства компании Siemens, со следующими номинальными параметрами:

Выходной ток – 315 А;

Выходная мощность – 1.3 кВт;

Питание от источника переменного напряжения 2200 В;

Исполнение IP 54;

Номинальное напряжение – 3200 В.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов И.С., Пролыгин А.П., Андреев Ю.М., Миндлин А.Б. Теория и расчет тягового привода электромобилей: Учеб. Пособие для вузов по спец. "Городской электрический транспорт" и "Электрическая тяга и автоматизация тяговых устройств"/ Под ред. И.С. Ефремова. – М.: Высш. Школа, 2004. – 383 с., ил.
2. Гульков Г.И., Гульков А.Г. Формирование тяговой характеристики бесконтактного двигателя постоянного тока. – Энергетика №6, 2001 г.
3. Ключев В.И. Теория электропривода. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2005-560с., ил.
4. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 2002. – 392 с., ил.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ РЕДУКЦИЕЙ СКОРОСТИ В ANSYS MAXWELL

Кремлёв И. А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В последнее десятилетие становятся все более популярными специальные программные комплексы для расчета параметров электромагнитных полей. Одним из мощнейших инструментов для решений этой задачи является программа Maxwell от компании Ansys. ANSYS Maxwell — это ведущее программное обеспечение для моделирования двумерных и трехмерных электромагнитных полей, используемое для исследования и проектирования двумерных и трехмерных моделей, датчиков, трансформаторов, двигателей и других электромеханических и электрических устройств различного применения. Она базируется на методе конечных элементов (Finite Element Method — FEM) и точно рассчитывает гармонические, а также статические электрические и электромагнитные поля и переходные процессы в полевых задачах. [1]

Данная работа связана с исследованием синхронных реактивных двигателей с электромагнитной редукцией скорости. Электродвигатели с электромагнитной редукцией скорости используются в основном в машинах, работающих на основе зубцовых гармоник, например в составе электропривода антенн космических аппаратов. Исследование динамических режимов работы подобного класса электрических машин невозможно без использования специализированного программного обеспечения, обладающего возможностями моделирования трехмерных магнитных полей и расчетом его интегральных характеристик. Суть работы данного типа двигателей заключается в том, что электродвигатель состоит из статора с полюсами, на внутренней поверхности которых присутствуют зубцы, m -фазная обмотка, которая выполнена в виде $2-p$ катушек (где p - число пар полюсов), которые размещены на полюсах. Также содержит коммутационный аппарат, и безобмоточный зубчатый ротор, по окружности которого расположены короткозамкнутые витки из немагнитного и высоко-токопроводящего материала. Эти витки расположены на зубцах ротора таким образом, что при повороте ротора под каждым полюсом статора находится не менее одного витка. [2]

У такого типа электродвигателей можно выделить следующий недостаток: в короткозамкнутой обмотке, которая пересекает магнитное поле первой гармоники, и при синхронной скорости вращения ротора появляется ток, который вызывает