

Система обеспечения движения

Страница 1:

Экран приветствия:

Представляем модуль «Система обеспечения движения» курса обучения «Электрические системы локомотива ES44AC». Работа системы обеспечения движения переменного тока значительно сложнее, чем работа системы постоянного тока, что обусловлено пусковым крутящим моментом и регулированием рабочей частоты вращения тяговых электродвигателей переменного тока. Система обеспечения движения преобразует энергию вращения, вырабатываемую дизельным двигателем в электрическую мощность переменного тока, выпрямляет ее в постоянный ток, а затем преобразует выходную мощность обратно в переменный ток для питания тяговых электродвигателей переменного тока. Амплитуда и частота напряжения преобразованного сигнала мощности переменного тока полностью контролируется компьютерной системой для получения надлежащей транспортной скорости и тягового усилия от локомотива ES44AC. В настоящем модуле будет подробно описан принцип работы системы обеспечения движения переменного тока в целом, а также в частности во время движения и динамического торможения.

По завершении настоящего модуля вы сможете:

- Описывать основной принцип работы системы обеспечения движения.
- Описывать принцип работы инвертора.
- Определять местоположение и функцию компонентов тягового электродвигателя.
- Описывать принцип работы системы обеспечения движения во время перемещения.
- Описывать принцип работы системы обеспечения движения во время динамического торможения.

Страница 2:

Назначение двигательной установки:

Цель системы обеспечения движения — принимать команды от электронной системы управления и осуществлять генерацию механической мощности 4400 лошадиных сил в дизельном двигателе, преобразовывать ее в электрическую мощность 3300 кВт и распределять на 6 тяговых электродвигателей, где эта мощность будет преобразована обратно в механическую для осуществления тяги грузового поезда.

Страница 3:

Генерирование мощности перемен. тока и ее преобразование в мощность постоянного тока:

В транспортной отрасли часто используются генераторы переменного тока в качестве средства генерирования электрической энергии из источника механической энергии вращения. На локомотиве ES44AC дизельный двигатель является источником механической энергии вращения. Благодаря генератору перемен. Благодаря генератору переменного тока GE 5GMG203, локомотив ES44AC может преобразовать механическую мощность 4400 лошадиных сил в электрическую мощность 3300 кВт. Генератор переменного тока выдает электрическую мощность переменного тока, но имеет не соответствующие частоты и напряжения для работы тяговых электродвигателей переменного тока. Для генерирования мощности перемен. тока с соответствующей частотой и напряжением сначала нужно преобразовать переменный ток в постоянный. Это происходит в главном выпрямительном блоке.

Страница 4:

Система обеспечения движения:

Генератор переменного тока 5GMG203 (ALT), расположенный в отсеке нагнетателя (BLO) локомотива ES44AC, подсоединен к задней части дизельного двигателя по отношению к торцу 1 локомотива. Его ротор подсоединен к коленчатому валу. Тяговый генератор переменного тока, называемый также ТА, преобразует механическую энергию, передаваемую вращательным движением в коленчатом валу, в электрическую энергию. На выходе генератор переменного тока выдает трехфазное напряжение переменного тока. Почему используется генератор переменного тока с таким типом вывода? Ответ кроется в том, что энергия, выдаваемая генератором переменного тока, доступна немедленно.

Страница 5:

Сравнение трехфазного и однофазного переменного тока:

Если будет использоваться однофазный генератор переменного тока, его выходные данные будут выглядеть, как показано на рисунке. Исходя из формы волны, мощность представляет собой квадрат напряжения в любой момент времени. Когда форма сигнала напряжения приближается к нулю, аналогичным образом изменяется выходная мощность генератора переменного тока. Это происходит дважды в каждом цикле переменного напряжения с помощью генератора переменного тока с трехфазным выходом, как показано на рисунке. Каждая из отдельных фаз не согласуется с другими фазами. Когда происходит наложение, три фазы визуально объединяются таким образом, что результат никогда не пересекает ноль. Выходная мощность генератора никогда не равна

нулю. Это целесообразно для обеспечения бесперебойной работы локомотива при любой нагрузке.

Страница 6:

Главные выпрямительные блоки:

Теперь при наличии ненулевого сигнала мощности переменного тока нужно преобразовать его в постоянный ток. Одним из средств, с помощью которых этого можно добиться, является «выпрямление» переменного тока. То есть отрицательные отклонения складываются по положительной оси напряжения. Для выполнения этой функции используются выпрямительные блоки или модули системы обеспечения движения. Локомотив ES44AC использует три выпрямительных модуля (RMA, RMB и RMC) для преобразования выходного сигнала генератора 5GMG203 переменного тока в постоянный ток. Блок из трех выпрямительных модулей, расположенных в САЗ на стороне В вспомогательной кабины, виден в крайнем левом углу САЗ в торце длинного капота (или сзади) локомотива. Таким образом, главный блок выпрямителей преобразует выход переменного тока тягового генератора переменного тока в постоянный ток, который можно использовать для восстановления переменной мощности переменной частоты или переменного напряжения.

Страница 7:

Выпрямители:

Чтобы понять процесс преобразования переменного тока в постоянный, рассмотрим форму сигнала напряжения переменного тока. При сохранении перепадов напряжения на положительной стороне оси напряжения в результате будет выдано постоянное напряжение. Для этого используется электронный компонент, называемый диодом. Мы видим, что ток может течь только в одном направлении через диод. Ток не может проходить в обратном направлении. Графически условный ток всегда показан как проходящий через диод в направлении, обозначенном вершиной треугольника, где он встречает поперечную связь.

Страница 8:

Действие выпрямителя:

Диоды также имеют полезное свойство в отношении применяемых к ним напряжений. Напряжения, приложенные в «прямом» направлении, беспрепятственно проходят через диод, тогда как напряжения, приложенные в обратном направлении, блокируются диодом. Если диод находится в цепи, где напряжение подается в прямом направлении, ток будет течь по цепи. Если напряжение подается в обратном направлении через диод в цепи, ток не будет

течь. Таким образом, диод вынуждает ток в цепи стать постоянным током.

Страница 9:

Невыпрямленный вывод:

Рассмотрим цепь с однофазным переменным током. Источником переменного напряжения может быть генератор переменного тока или генератор колебаний. Отображаемый выход имеет два полных синусоидальных цикла переменного тока. По мере продвижения вперед рассмотрение эффектов на двух циклах поможет более наглядно продемонстрировать работу диода в качестве выпрямителя. Когда в цепи устанавливается диод, выход цепи меняется. Мы получаем положительную часть синусоидального напряжения, в то время как отрицательные части блокируются диодом. Выходная мощность выпрямляется, но эта цепь предоставляет «импульсный» постоянный ток с отключенным выходом столько времени, сколько он включен. Это значит, что для использования доступна только половина генерируемой мощности.

Страница 10:

Введение в мостовые выпрямители:

Чтобы использовать всю выходную мощность источника переменного тока, требуется мощность от отрицательных и положительных частей формы сигнала напряжения. Этого можно добиться с помощью «мостового» выпрямителя (диодный мост). Мост состоит из четырех диодов, которые соединены в ромбовидную форму, если взглянуть на него в виде схемы. В течение положительного полупериода верхний правый и нижний левый диоды цепи мостового выпрямителя проводят ток и обеспечивают полярность на выходе. График зависимости выходного напряжения от времени показан на рисунке. Так как выход источника переменного тока меняет свою полярность, преимущества схемы мостовой выпрямителя становятся очевидными. При изменении полярности в противоположном направлении верхний левый и нижний правый диоды схемы мостового выпрямителя проводят ток и обеспечивают полярность на выходе цепи. Разница выходной мощности цепи отображается на графике зависимости выходного напряжения от времени. Выходное напряжение выглядит примерно одинаково с положительной половиной, за исключением того, что импульсы во втором случае возникают в другое время. Если взять графики напряжения/времени для обоих показанных случаев и наложить, получится результат, представленный ниже.

Страница 11:

Мостовые выпрямители в системе обеспечения движения:

Схема мостового выпрямителя использует всю выходную мощность

переменного тока от источника для генерации мощности постоянного тока. Поскольку наше обсуждение основывалось на однофазном источнике переменного тока, выходная мощность, однако, имеет несущественный недостаток: она все еще является «импульсной» мощностью постоянного тока, что означает наличие случаев, когда источник имеет нулевую выходную мощность. Мы знаем, что выходная мощность генератора переменного тока представляет собой трехфазный сигнал мощности переменного тока. В локомотиве ES44AC используются три выпрямительных модуля, выполненных в виде трехфазной схемы мостового выпрямителя, которая подключена к выходу ТА, в целях выработки мощности постоянного тока для преобразования в мощность переменного тока. Обратите внимание на выход главного выпрямительного блока. Три формы сигнала напряжения перекрывают друг друга таким образом, что в любой момент времени нулевые значения отсутствуют. Следовательно, схема неизменно способна выдавать мощность постоянного тока. Если посмотреть на график, который показывает текущее максимальное значение трех форм сигнала напряжения, мы увидим, что выходное выпрямленное напряжения имеет постоянное во времени выходное значение. Это форма сигнала напряжения, подаваемая на основной канал постоянного тока локомотива ES44AC. В напряжении имеется циклическая составляющая, но она незначительна по сравнению со средним значением напряжения в динамике. Эта форма сигнала располагает более постоянным уровнем выходной мощности, что целесообразно для бесперебойной работы локомотива при значительной нагрузке.

Страница 12:

Назначение пропульсивной мощности:

Почему выходную мощность переменного тока от генератора переменного тока нельзя отправить напрямую на тяговые электродвигатели? Выходная частота генератора переменного тока определяется частотой вращения дизельного двигателя. Она зависит от работы системы подачи топлива. Это означает, что генератор переменного тока имеет только столько дискретных выходных частот, сколько установлено значений частоты вращения дизельного двигателя. Обычно для конфигураций локомотива ES44AC доступно пять выходных частот. Частота входного переменного напряжения (или тока) электродвигателя переменного тока определяет его частоту вращения. Ожидается, что локомотив ES44AC будет работать на любой частоте вращения от 0 до 80 миль/час. К сожалению, это несовместимо с доступными выходными частотами тягового генератора переменного тока. Такие частоты будут поддерживать только следующие скорости локомотива: 15 миль/час, 20 миль/час, 31 миль/час, 34 мили/час и 36 миль/час. Очевидно, что нам требуется возможность создания

частоты переменного тока для тяговых электродвигателей, которая не зависит от частоты вращения дизельного двигателя и, следовательно, выходной частоты генератора переменного тока.

Страница 13:

Преобразователи:

Локомотив ES44AC использует устройство для преобразования мощности постоянного тока, доступной на выходе главного выпрямителя, в мощность переменного тока с переменной частотой. Это устройство называется «преобразователь», и оно преобразует постоянный ток в переменный.

Преобразователи, применяемые в локомотиве для питания тяговых электродвигателей, относятся к типу коммутируемой сети, то есть генерируют необработанный прямоугольный синусоидальный сигнал переменного тока. Преобразователи используют естественные фильтрующие способности силовых кабелей локомотива и огромные витки провода в обмотках тягового электродвигателя для сглаживания синусоидального сигнала переменного тока. Синусоидальный сигнал переменного тока, хотя и не является идеальным, удовлетворяет требованиям к мощности тяговых электродвигателей.

Страница 14:

Преобразователи (продолжение):

Схема преобразователя включает в себя все элементы силовой цепи, используемые в локомотиве ES44AC. Источник питания постоянного тока можно рассматривать как выход главного выпрямителя. Фильтр постоянного тока, который защищает источник постоянного тока от бросков тока и напряжения при переключении преобразователя, представляет собой конденсаторы линейного фильтра, встроенные в локомотив. Мост преобразователя представляет собой мостовую схему с шестью переключателями. Такой тип схемы преобразователя требуется для того, чтобы можно было генерировать трехфазный сигнал переменного тока для питания тяговых электродвигателей переменного тока. Нагрузка представляет собой трехфазное устройство с соединением звездой справа от моста преобразователя. Это может рассматриваться как тяговый электродвигатель ES44AC.

Страница 15:

Трехфазный преобразователь:

Переключатели, используемые в преобразователе, не являются механическими или даже электромеханическими переключателями. Такие устройства действовали бы слишком медленно для надлежащего питания тяговых электродвигателей. Для обеспечения частоты переключения моста

преобразователя требуется использование твердотельных силовых устройств, которые не имеют движущихся частей или контактных наконечников. В ES44AC используются твердотельные устройства IGBT (биполярные транзисторы с изолированным затвором). Шесть переключателей, три из которых подключены к положительному источнику питания, а три к отрицательному, называются фазовыми модулями. Так как преобразователь генерирует три фазы и должен обеспечивать положительные и отрицательные соединения на каждой фазе, один мост преобразователя содержит шесть фазовых модулей и другое необходимое вспомогательное оборудование.

Страница 16:

Действие трехфазного преобразователя:

Для генерирования трехфазного сигнала мощности переменного тока для электродвигателя переменного тока одинарный преобразователь использует шестиступенчатый процесс. Сигнал питания имеет фазировку A-B-C, поскольку фаза A сначала проходит свой положительный максимум, а затем фазу B и, наконец, фазу C. Первоначально, когда все переключатели разомкнуты, через преобразователь ток не течет.

Страница 17:

Действие преобразователей:

В начале шестиступенчатого процесса три переключателя замыкаются. Это A+, B- и C+. Теперь ток проходит в обмотки фазы A и фазы C нагрузки и выходит из фазы B. Ток фазы B представляет собой сумму токов в фазе A и фазе C. Поскольку I_A и I_C , как правило, равны, I_B в два раза превышает величину I_A и I_C . I_B показан как отрицательный, потому что выходит из нагрузочного устройства.

Страница 18:

Шаг 1 – действие преобразователя:

На первом этапе процесса преобразования, когда C+ размыкается, а затем C- замыкается, ток в фазе C нагрузки изменяет направление, одновременно меняя величину тока в двух других фазах. Обратите внимание, что C+ размыкается до того, как C- замыкается. Это требуется для того, чтобы избежать короткого замыкания на выходе источника постоянного тока.

Страница 19:

Шаг 2 – действие преобразователя:

На втором этапе B- размыкается, а B+ замыкается, что изменяет направление тока в фазе B устройства нагрузки и величину тока в других фазах. В этот момент токи в фазах B и C изменили свою величину, а также произвели

необходимое изменение направления и представляют собой переменный ток. Осталось изменить ток в фазе А, чтобы преобразователь выдал трехфазный сигнал переменного тока. Это происходит на следующем этапе процесса.

Страница 20:

Шаг 3 – действие преобразователя:

На этапе 3 А+ размыкается, а А- замыкается. Ток в фазе А нагрузки изменяет направление, и преобразователь выдает нужный трехфазный сигнал переменного тока для нагрузочного устройства. Теперь осталось только завершить полный цикл переменного тока на каждом из этапов.

Страница 21:

Шаг 4 – действие преобразователя:

На шаге 4 ток в фазе С снова меняет свое направление, поскольку токи в фазах А и В меняют величину. Теперь вам известно, что схема переключения работает следующим образом: после первоначальных замыканий переключателей на первом этапе переключаются переключатели в фазе С, а затем в фазах В и А. Процесс продолжается на этапе 4 – переключатели снова переключаются в фазе С. На следующих двух этапах схема переключения не меняется: С, В, А, С, В, А и т. д.

Страница 22:

Шаг 5 и 6 – действие преобразователя:

На этапе 5 процесс демонстрирует, что переключатели в фазе В снова переключаются. Это вызывает еще одно изменение направления тока в фазе В. На заключительном этапе (шаге 6) процесса преобразования формируется полный цикл переменного тока в каждой из трех фаз. Переключатели в фазе А переключаются, вызывая еще одно изменение направления тока в фазе А. Теперь токи в каждой фазе имеют то же направление и величину, что и при первом включении переключателей А+, В- и С+.

Страница 23:

Действие инвертора (продолжение):

На экране «Действие преобразователя (продолжение)» представлен дополнительный шаг. На нем показано, как повторяется схема после выполнения 6 шагов. Формы сигналов тока в результате шестиступенчатого процесса приближаются к синусоидальным сигналам переменного тока. У каждого прямоугольного сигнала имеются наложенные синусоидальные сигналы. Формы сигналов переменного тока имеют фазирование А-В-С. Использование другой схемы переключения в процессе преобразования

привело бы к другому фазированию тока. На протяжении всего процесса переключатели переключались сначала на фазе С, а затем на фазе В, А, С, В, А и т. д. Если бы переключение началось с первоначального включения А+, В+ и С- и продолжилось переключением фазы В, а затем С и А, форма сигнала переменного тока имела бы фазу А-С-В.

Страница 24:

Инверторы на ES44AC:

Преобразователь в ES44AC использует эту схему переключения, когда локомотив движется со скоростью более 10 миль/час. Если локомотив движется со скоростью 0–7 миль/час, преобразователь использует гораздо более сложную схему переключения, которая называется «широтно-импульсная модуляция» (ШИМ). В диапазоне скоростей 7–10 миль/час преобразователь использует комбинацию двух схем в разных пропорциях.

Страница 25:

Расположение преобразователей:

Основные компоненты преобразователя расположены в СА3 на стене во вспомогательной кабине на стороне кондуктора локомотива. Эти отсеки содержат переключатели преобразователя и конденсаторы фильтра постоянного тока. Компьютерные платы, управляющие переключателями, размещены внутри контроллера тягового электродвигателя (ТМС), который расположен в СА2 на стене во вспомогательной кабине, ближайшей к торцу 1 локомотива. Устройства, используемые для измерения фазных токов, подаваемых на каждый из тяговых электродвигателей, находятся в СА7. Компоненты, которые измеряют различные напряжения в фазах ТМ, расположены позади СА3 и доступны снаружи локомотива.

Страница 26:

Тяговый электродвигатель перем. тока:

Следует отметить, что хотя мощность переменного тока подается на тяговый электродвигатель, она не связана напрямую со скоростью. Скорость является функцией от частоты, приложенной к тяговому электродвигателю. Тяговый электродвигатель выдерживает нагрузку прим. 1000 л.с. Это происходит потому, что ведущая шестерня интегрирована в ротор, тем самым устраняя проскальзывание.

Страница 27:

Детали тягового электродвигателя переменного тока:

Из каких деталей состоит тяговый электродвигатель переменного тока и как

создается электромагнитное поле?

Страница 28:

Рама:

Остов образует собой внешнюю часть электродвигателя. Это стальной корпус, который удерживает компоненты электродвигателя на месте и позволяет прикрепить электродвигатель к локомотиву. С точки зрения внешней формы тяговые электродвигатели переменного тока могут быть квадратными и с закругленными внешними углами. Электродвигатели имеют аналогичную электрическую конструкцию и являются взаимозаменяемыми.

Страница 29:

Статор:

Статор состоит из обмоток, на которые подается трехфазный переменный ток. Токи, которые проходят через эти обмотки, создают магнитные поля, индуцирующие мощность в роторе. Такие отдельные обмотки уложены последовательно. Сверху и по часовой стрелке: обмотки A1, C2, B1, A2, C1 и B2.

Страница 30:

Зазор:

Зазор — это область между статором и ротором. Это пространство обеспечивает зазор, чтобы детали не соприкасались при вращении. Здесь создаются магнитные поля от токов, протекающих в обмотках статора.

Страница 31:

Ротор:

Ротор — вращающаяся часть электродвигателя, которая прикреплена к валу для обеспечения направленного импульса локомотиву. Магнитные поля индуцируются в роторе для создания сил притяжения, вызывающих вращение ротора.

Страница 32:

Вал:

Ведущая шестерня выполнена заодно с валом для предотвращения скольжения между валом и шестерней, которое может иметь место на двигателях с шестерней, закрепленной на валу.

Страница 33:

Трехфазный ввод напряжения перем. тока:

Трехфазный ввод напряжения перем. тока является точкой подключения для

выхода преобразователя, подключаемого к обмоткам статора.

Страница 37:

Электромагнитное поле статора:

При возбуждении трехфазным переменным током обмотки возбуждения статора создают электромагнитные поля внутри тягового электродвигателя. Эти поля индуцируют переменные токи в роторе, поскольку их сила меняется в динамике по времени. Эти поля суммируются для формирования результирующего электромагнитного поля, которое «вращается» внутри тягового электродвигателя. Показана простая схема обмоток статора в тяговом электродвигателе переменного тока. Видно, что три электромагнитных поля возникают в конкретный момент времени, когда токи в разных фазовых обмотках определяются по тому, где вертикальная линия пересекает каждый из трех синусоидальных сигналов переменного тока.

Страница 38:

Электромагнитное поле статора (продолжение):

На данном этапе ток фазы А достигает положительного максимума, в то время как токи фаз В и С находятся в отрицательных точках средней величины. Три пересекающихся поля можно объединить и представить в виде полей, ориентированных в одном направлении. Анализируя ситуацию чуть позже, когда ток фазы С достигает максимального отрицательного значения, форма волны выглядит следующим образом. Обратите внимание, что поля повернулись на 60° по часовой стрелке. Двигаясь к точке, где ток фазы В достигает максимального положительного значения, поля снова поворачиваются еще на 60° по часовой стрелке. Проследуем через точки, где ток фазы А достигает максимального отрицательного значения. По мере продвижения по линии вправо (вперед во времени) для определения различных значений фазных токов положение полей всегда поворачивается на 60° по часовой стрелке. Тогда ток фазы С достигает положительного максимума. По мере продвижения по линии вправо (вперед во времени) для определения различных значений фазных токов положение полей всегда поворачивается на 60° по часовой стрелке. И наконец, ток фазы В достигает максимального отрицательного значения. По мере продвижения по линии вправо (вперед во времени) для определения различных значений фазных токов положение полей всегда поворачивается на 60° по часовой стрелке.

Страница 39:

Электромагнитное поле статора (продолжение):

На схеме показаны две вертикальные линии. Это свидетельствует о том, что можно выбрать любую линию (любой момент времени) и итоговая ориентация

поля будет аналогичной. Это значит, что по мере прохождения тока через полный цикл переменного тока положение поля совершает один полный оборот на 360° по часовой стрелке внутри корпуса тягового электродвигателя. Следующие циклы просто продолжают процесс вращения поля. Заметьте, что в этом примере показан упрощенный тяговый электродвигатель. Для реального тягового электродвигателя 5GEB13 требуется три цикла переменного тока, чтобы выполнить одно полное вращение поля на 360° по часовой стрелке.

Страница 40:

Электромагнитное поле статора — смена фазы:

При фазировке тока А-С-В вместо А-В-С итоговые электромагнитные поля вращались бы в противоположном направлении. Положение поля, когда ток в фазе А достигает максимального положительного значения, приводится ниже. Когда вертикальная линия первый раз перемещается вправо и вперед по времени, следующее максимальное значение находится в отрицательном направлении фазы В. Это приводит к перемещению положения поля на 60° в направлении против часовой стрелки (см. рис.) Такое вращение продолжается против часовой стрелки для каждого из оставшихся шагов в течение одного полного цикла переменного тока. Важное значение имеет возможность преобразователя выполнять фазирование А-В-С и А-С-В. Эти разные последовательности определяют направление вращения полей внутри тягового электродвигателя, что, в свою очередь, определяет направление движения ротора внутри тягового электродвигателя. В асинхронном двигателе переменного тока частота определяет скорость вращения, а фазирование тока — направление вращения.

Страница 41:

Роторы:

Ротор в тяговом электродвигателе 5GEB13 является короткозамкнутым. Его конструкция похожа на круглые клетки, в которых бегают белки и хомяки. Как устроены такие роторы? Первоначально ротор представлен в виде цилиндрического стального сердечника. В нем по длине цилиндра вырезаны прорезы. В прорезы запрессованы медные стержни. На каждом конце медных стержней припаяны две медные заглушки в форме колец. См. вид сборки сбоку. При ближайшем рассмотрении видно, что медные стержни и заглушки создают серию проводящих электрических цепей.

Страница 42:

Воздействие электромагнитного поля на ротор:

При вращении внутри тягового электродвигателя электромагнитное поле,

создаваемое трехфазным переменным током, протекающим в обмотках статора, проходит через каждый из этих путей токопроводящей цепи. Это вытягивающее поле индуцирует ток, протекающий по цепи, за счет действия, подобного тому, что происходит внутри трансформатора. Следует отметить, что поле статора должно проходить через пути цепи ротора. Для индуцирования токов ротора требуется относительное движение между полем статора и цепями ротора. За счет циркуляции вокруг каждого из этих путей цепи индуцированные токи создают электромагнитное поле, почти равное полю, которое вызвало его, но которое ориентировано в противоположном направлении. Здесь показано поле статора и индуцированное электромагнитное поле ротора (вид с торца тягового электродвигателя переменного тока).

Страница 43:

Воздействие электромагнитного поля на ротор (продолжение):

Из-за ориентации в направлении, противоположном электромагнитному полю статора, индуцированное электромагнитное поле ротора притягивается к полю статора и пытается вращаться вместе с ним. Поскольку поле ротора создается в путях медного контура ротора, по мере того, как поле ротора пытается вращаться и отслеживать движущееся поле статора, оно прикладывает крутящий момент к ротору, заставляя его вращаться. Это действие поворачивает ось и колеса тягового электродвигателя, тем самым перемещая локомотив.

Страница 44:

Сдвиг:

Сдвиг (n_s) — это разница между частотой вращения электромагнитного поля токов обмотки статора, называемой синхронной частотой (n_1), и частотой вращения ротора (n_2). Сдвиг может быть выражен как частота сдвига или процент скольжения. Формула частоты сдвига: $n_s = n_1 - n_2$ и Формула процентного отношения частоты сдвига: $\% \text{ сдвига} = (n_s/n_1) \cdot 100$. Как правило, чем меньше сдвиг, тем эффективнее тяговый электродвигатель, но, как видно на схеме, при приближении сдвига к 0 % или 0 об/мин крутящий момент, приложенный к ротору, становится равным нулю. Таким образом, сдвиг необходим для работы асинхронного электродвигателя. Соотношение крутящего момента и частоты вращения ротора при синхронной частоте определяется частотой сигнала мощности переменного тока, который приводит в движение обмотки статора в тяговом электродвигателе. При уменьшении частоты вдвое синхронная частота тягового электродвигателя также уменьшается вдвое, но крутящий момент все еще можно было поддерживать максимальном уровне. Максимальный крутящий момент можно получить практически при любой

частоте, поскольку выходную мощность преобразователя (напряжение и ток) и частоту, подаваемую на электродвигатель, можно отрегулировать при необходимости.

Страница 45:

Режимы работы тягового электродвигателя — движение:

Предусмотрено два режима работы тягового электродвигателя переменного тока — движение (тяги) и динамическое торможение. Во время движения (тяги) частота сигнала мощности переменного тока, посылаемого на обмотку статора, достаточно высока, чтобы генерировать поле, которое вращается с несколько большей частотой, чем ротор. Проще говоря, синхронная частота, генерируемая преобразователем, выше частоты ротора. Вращающееся поле статора обеспечивает постоянное притяжение поля ротора, создавая постоянный крутящий момент на роторе, заставляя его вращаться и перемещать локомотив. Компьютерная система рассчитывает необходимую частоту для привода шести тяговых электродвигателей на правильной скорости с учетом диаметра колес каждого из тяговых электродвигателей. Помимо расчета частоты для каждого тягового электродвигателя компьютерная система должна также обеспечить генерирование каждым электродвигателем достаточного крутящего момента для его вращения. Поскольку величина крутящего момента, генерируемого электродвигателем, определяется напряжением/током, передаваемым на него, компьютерная система контролирует напряжение, которое преобразователь также подает на каждый тяговый электродвигатель. Оператор устанавливает частоту и крутящий момент тягового электродвигателя путем изменения положения ручки контроллера, то есть чем выше позиция контроллера, тем выше частота или крутящий момент, генерируемые двигателем.

Страница 46:

Динамическое торможение:

Во время динамического торможения частота сигнала мощности переменного тока, посылаемого на обмотку статора, генерирует поле, которое вращается с несколько меньшей частотой, чем ротор. Это означает, что синхронная частота, генерируемая преобразователем, ниже частоты ротора. Поле вращающегося статора создает тормозное усилие на роторе. Поле ротора, вращающегося с большей скоростью, чем поле статора, индуцирует более высокое напряжение в статоре, чем подается преобразователем. Такое избыточное напряжение проходит через выпрямительные диоды в преобразователях, где преобразуется в постоянное напряжение. Более высокое напряжение смещает в обратном направлении электронные переключатели в преобразователе, отключая его. Это напряжение также подается на звено постоянного тока, откуда направляется на

решетки динамического торможения.

Страница 47:

Динамическое торможение (продолжение):

В соответствии с формулой $P = E^2/R$, где E — напряжение от диодов преобразователя, а R — сопротивление решетки, электрическая мощность, генерируемая движением поезда, рассеивается на решетках. Затем компьютерная система вычисляет частоту и напряжение, которые посылаются на каждый тяговый электродвигатель, для приложения надлежащей скорости замедления и крутящих моментов к каждому ротору. Благодаря активной схеме торможения с компьютерным управлением локомотив ES44AC может применять динамическое торможение для скоростей около полутора миль в час без необходимости в оборудовании для расширенного диапазона торможения. Оператор выполняет динамическое торможение, изменяя положение ручки динамического торможения или комбинированной рукоятки управления мощностью — чем выше уставка тормоза, тем больше величина тормозного усилия.

Страница 48:

Контроль схватывания:

По своей сути электродвигатели переменного тока ограничивают условия заброса оборотов (здесь под Забросом оборотов следует понимать резкое увеличение оборотов двигателя, при снижении сцепления колеса — иначе проскальзывание). Кривая зависимости крутящего момента от частоты вращения ротора показывает, что максимальный крутящий момент возникает при частоте вращения ротора n_2 , которая меньше синхронной частоты n_1 . Тяговые электродвигатели переменного тока на ES44AC предназначены для работы в точке максимального крутящего момента. В случае заброса оборотов частота ротора начинает приближаться к синхронной частоте, а крутящий момент уменьшается. Это приводит к замедлению электродвигателя для восстановления крутящего момента.

Страница 49:

Условие проскальзывания колеса:

Проскальзывание колеса происходит во время движения, когда способность колеса прилегать к рельсу ухудшается из-за плохих условий, возникших на рельсах, таких как лед, дождь и листья. Система управления постоянно контролирует частоту вращения колеса и корректирует проскальзывание колеса, уменьшая частоту, направленную на проскальзывающий электродвигатель. Без такого управления при наличии проскальзывания колеса разница между

частотами статора и ротора уменьшается. Увеличение частоты вращения ротора приводит к уменьшению крутящего момента. При этом частота ротора уменьшается.

Страница 50:

Условие пробуксовки колеса:

Если во время динамического торможения возникает проскальзывание колеса, частота ротора, которая должна быть немного выше, чем частота преобразователя, намного меньше и приближается к нулю, если ротор останавливается. Такое изменение частоты ротора обнаруживается системой управления, которая пытается отрегулировать частоту преобразователя для поддержания надлежащей связи с ротором. Изменение в работе ротора приводит к тому, что система управления уменьшает уровень торможения, тем самым высвобождая ротор для ускорения, чтобы соответствовать частоте роторов других тяговых электродвигателей.

Страница 53:

Заключение:

Вы завершили этот модуль обучения!

В этом модуле вы научились:

- Описывать основной принцип работы системы обеспечения движения.
 - Компоненты системы обеспечения движения включают дизельный двигатель, тяговый генератор переменного тока (ТА), главные выпрямительные блоки, преобразователи и тяговые электродвигатели (ТМ).
 - Дизельный электродвигатель генерирует механическую мощность в форме вращательного движения коленчатого вала.
 - ТА с ротором, прикрепленным к коленчатому валу дизельного двигателя, преобразует механическую мощность коленчатого вала в электрическую энергию. Однако для правильного функционирования тяговых электродвигателей переменного тока поставляемая трехфазная мощность переменного тока имеет ненадлежащую частоту и напряжение, поэтому мощность сначала преобразуется из переменного тока в постоянный.
 - Электрический выход переменного тока, создаваемый ТА, преобразуется в выходную мощность постоянного тока тремя главными выпрямительными блоками или модулями (RMA, RMB и RMC). Выпрямительные модули в упрощенном плане преобразуют ненулевой

- сигнал мощности переменного тока в мощность постоянного тока, принимая отрицательные отклонения мощности переменного тока и складывая их в положительную сторону оси напряжения.
- Выпрямленная выходная мощность постоянного тока затем обратно восстанавливается шестью преобразователями в выходную мощность переменного тока регулируемой частоты.
 - Мощность переменного тока регулируемой частоты распределяется на шесть тяговых электродвигателей (ТМ), где преобразуется обратно в механическую мощность, чтобы тянуть грузовой поезд.
- Описывать принцип работы инвертора.
 - Стандартные преобразователи преобразуют мощность постоянного тока на выходе главного выпрямителя в мощность переменного тока с регулируемой частотой посредством коммутируемой сети или контура генератора. Входная мощность постоянного тока преобразуется в необработанный прямоугольный синусоидальный сигнал переменного тока либо электронным образом формируется в синусоидальный сигнал переменного тока с помощью электронного генератора.
 - Шесть преобразователей, применяемых в локомотиве ES44AC для питания тяговых электродвигателей, относятся к типу коммутируемой сети, то есть генерирует необработанный прямоугольный синусоидальный сигнал переменного тока.
 - Преобразователи используют естественные фильтрующие способности силовых кабелей локомотива и огромные витки провода в обмотках тягового электродвигателя для сглаживания синусоидального сигнала переменного тока.
 - В результате этого шестиступенчатого процесса переключения генерируется трехфазный сигнал мощности переменного тока, который можно использовать при движении локомотива со скоростью, превышающей 10 миль/час.
 - При движении со скоростью 0–7 миль/час преобразователь использует гораздо более сложную схему переключения, которая называется «широтно-импульсная модуляция» (ШИМ). В диапазоне скоростей 7–10 миль/час преобразователь использует комбинацию двух схем в разных пропорциях.
 - Определять местоположение и функцию компонентов тягового электродвигателя.
 - Внешняя часть электродвигателя — стальной Остов, который удерживает компоненты электродвигателя на месте.

- Статор состоит из обмоток, на которые подается трехфазный переменный ток.
- Зазор — это область между статором и ротором, которая предотвращает трение деталей. Зазор — это область, где возникают магнитные поля от токов, протекающих в обмотках статора.
- Ротор — вращающаяся часть электродвигателя, которая прикреплена к валу для обеспечения направленного толчка локомотиву. Магнитные поля индуцируются в роторе для создания сил притяжения, вызывающих вращение ротора.
- Ведущая шестерня врезается в вал для предотвращения скольжения между валом и шестерней, которое может иметь место на двигателях других типов.
- Трехфазный ввод напряжения перемен. тока является точкой подключения для выхода преобразователя, подключаемого к обмоткам статора.

Страница 54:

Заключение (продолжение):

- Описывать принцип работы системы обеспечения движения во время перемещения.
 - Во время движения частота сигнала мощности переменного тока, посылаемого на обмотку статора, достаточно высока, чтобы генерировать поле, которое вращается с несколько большей частотой, чем ротор. Это значит, что синхронная частота, генерируемая преобразователем, выше частоты ротора.
 - Вращающееся поле статора обеспечивает постоянное притяжение поля ротора, создавая постоянный крутящий момент на роторе, заставляя его вращаться и перемещать локомотив.
 - Компьютерная система рассчитывает необходимую частоту для привода шести тяговых электродвигателей на правильной скорости с учетом диаметра колес каждого из тяговых электродвигателей. Система также проверяет генерирование каждым электродвигателем достаточного крутящего момента для его вращения. Поскольку величина крутящего момента, генерируемого электродвигателем, определяется напряжением/током, передаваемым на него, компьютерная система контролирует напряжение, которое преобразователь также подает на каждый тяговый электродвигатель.

- Описывать принцип работы системы обеспечения движения во время динамического торможения.
 - При динамическом торможении синхронная частота, генерируемая преобразователем, ниже частоты ротора. Во время торможения происходит проскальзывание колеса, если частота ротора уменьшается и приближается к нулю, поскольку ротор останавливается.
 - Поле вращающегося статора создает тормозное усилие на роторе, замедляя таким образом локомотив.
 - Поле ротора, вращающегося с большей скоростью, чем поле статора, индуцирует более высокое напряжение в статоре, чем подается преобразователем.
 - Такое избыточное напряжение проходит через выпрямительные диоды в преобразователях, где преобразуется в постоянное напряжение.
 - Это более высокое напряжение смещает в обратном направлении электронные переключатели в преобразователе, отключая его.
 - Это напряжение также подается на звено постоянного тока, откуда направляется на решетки динамического торможения.
 - Компьютерная система вычисляет частоту и напряжение, которые посылаются на каждый тяговый электродвигатель, для приложения надлежащей скорости замедления и крутящих моментов к каждому ротору.
 - Оператор выполняет динамическое торможение, изменяя положение ручки динамического торможения, называемой также комбинированной рукояткой управления мощностью.