



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

В. В. Брель, В. В. Логвин, Л. В. Веппер

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ТИПОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МЕХАНИЗМОВ

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
дневной формы обучения**

Гомель 2018

УДК 62-83(075.8)
ББК 31.291я73
Б87

*Рекомендовано научно-методическим советом
факультета автоматизированных и информационных систем
ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 10 от 24.05.2017 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук,
доц. Ю. А. Рудченко

Брель, В. В.

Б87 Автоматизированный электропривод типовых производственных и транспортных механизмов : учеб.-метод. пособие по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. формы обучения / В. В. Брель, В. В. Логвин, Л. В. Вепер. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. – 30 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены современные крановые электроприводы по основным элементам: электродвигателям, аппаратуре управления, резисторам, выключателям, тормозным устройствам и по комплектным электроприводам основных механизмов кранов.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной формы обучения.

**УДК 62-83(075.8)
ББК 31.291я73**

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2018

ВВЕДЕНИЕ

Крановое оборудование представляет собой одно из основных средств сокращения тяжелого физического труда. Подавляющее большинство грузоподъемных машин имеет электрический привод механизмов, и поэтому эффективность движения и производительность этих машин в значительной степени зависят от качественных показателей используемого кранового электрооборудования.

Для массовых кранов общего назначения начинают широко применяться электроприводы на основе короткозамкнутых двигателей, значительная часть кранов изготавливается с управлением с пола, а быстроходные краны для тяжелых режимов работы комплектуются различными тиристорными системами, обеспечивающими глубокое регулирование скорости, плавность пуска и торможения при постоянно повышающихся требованиях к экономии энергоресурсов.

Большинство грузоподъемных кранов характеризуется постоянно меняющимися условиями использования при переработке грузов, и поэтому механизмы кранов, имеющие в своем составе электроприводы, должны быть в максимальной степени приспособлены к постоянно видоизменяющейся работе с грузами, разнообразными по массе, размерам, форме, и в условиях производственных помещений или на открытых грузовых площадках.

Чрезвычайно широкий диапазон изменения нагрузок практически любого из крановых электроприводов является одним из главных факторов, требующих особого подхода к выбору расчетных параметров приводных электродвигателей, аппаратуры управления и защиты. Поскольку классические методы определения среднеквадратичной нагрузки электродвигателей могут быть применены лишь для малочисленной группы механизмов со стабильным циклом работы, то в настоящее время широко используется метод выбора по эквивалентному КПД электропривода.

1. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Перемещение грузов в процессе хозяйственной деятельности осуществляется с использованием грузоподъемных машин различного назначения. Грузоподъемные машины по назначению объединяются в следующие группы:

1. Универсальные машины для подъема и перемещения груза с помощью крюка на гибком подвесе (грузовом канате). К ним относятся различные краны, кран-балки, лебедки, тали. Вариантом этой группы являются машины со специальным грузозахватным органом на грузовом канате.

2. Различные грузоподъемные краны для перегрузки сыпучих грузов с помощью грейфера.

3. Грузоподъемные машины для перемещения груза при помощи захвата, перемещающегося по жестким направляющим. К ним относятся краны-штабелеры, технологические краны металлургии, штыревые краны цветной металлургии.

4. Специализированные краны для возведения зданий и сооружений. К ним относятся строительные башенные краны, судосборочные краны и самоподъемные строительные краны.

5. Краны с несущими канатами (кабель-краны).

По условиям использования грузоподъемные машины объединяются в следующие группы:

1. Машины универсального назначения, используемые для работы в помещениях в одну-две смены в повторно-кратковременном режиме: кран-балки, мостовые опорные и подвесные краны.

2. Машины универсального назначения, используемые для работы на открытом воздухе в одну-две смены в повторно-кратковременном режиме: козловые краны, порталные краны, поворотные стреловые краны, мостовые краны на эстакадах: грейферные и магнитно-грейферные краны.

3. Машины для циклической перегрузки специализированных грузов (контейнеров, пакетов, поддонов, связок лесоматериалов) в две-три смены в повторно-кратковременном режиме: мостовые, козловые и порталные краны.

4. Машины для выполнения технологических операций в металлургии, термических и кузнечных цехах по вполне определенному комплексу перегрузочных работ круглосуточно в повторно-кратковременном режиме: магнитные мостовые краны, литейные крапы, ковочные краны, стриппер-краны, колодцевые краны и т. п.

Номинальная грузоподъемность кранов и других подъемных машин регламентирована ГОСТ 1575-81 и представляет собой ряд: 0,2; 0,25; 0,32; 0,4; 0,5; 0,63; 0,8; 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600 т.

У специализированных кранов средние массы поднимаемых грузов близки к номинальной грузоподъемности. У универсальных крюковых кранов средние массы перемещаемых грузов составляют 30-50 % номинальной грузоподъемности, а из всех подъемов грузы, близкие к номинальному, поднимаются не чаще каждого десятого подъема.

Скорости работы крана установлены в результате многолетней практики использования грузоподъемных механизмов, причем повышение скорости сверх указанных значений практически не приводит к увеличению производительности, если при этом принципиально не меняются технологические приемы транспортировки грузов, например литейные краны традиционных способов сталелитейного производства имеют скорость подъема 0,05 м/с, и ее повышение не сказывается на процессе заливки изложниц. Применение Нового технологического процесса непрерывной разливки стали продиктовало необходимость увеличения скорости в 3 раза - до 0,15 м/с, которая для такого процесса является необходимой и оптимальной.

Для высокопроизводительных быстроходных кранов рекомендуемые скорости установлены исходя из условий минимума затрат энергии на часовую производительность крана данной грузоподъемности. И в этом случае повышение скорости сверх рекомендуемой будет сопровождаться непропорционально большими и, следовательно, неоптимальными затратами энергии. В некоторых случаях значение скорости ограничивается возможностями человека управлять процессом перегрузки (для кранов, управляемых с пола).

Нагрузки механизмов кранов изменяются как по абсолютному значению от номинальных до холостого хода, так и по направлению в режимах тяги (подъема) и торможения (спуска).

Грузоподъемные машины могут устанавливаться как непосредственно в рабочих помещениях, так и на открытом воздухе. При работе в помещении многие краны располагаются непосредственно над линиями технологических механизмов в среде с высокой концентрацией пыли, газов, паров воды, кислот и т. п. Ряд кранов в процессе эксплуатации передвигается из отапливаемого помещения на открытый воздух и обратно. Краны, работающие на открытом воздухе, могут иметь суточное изменение температуры до 50 °С. Это приводит к выпадению на поверхности частей кранов конденсата, атмосферной влаги и соляного тумана. В смеси с производственной пылью конденсат вызывает снижение поверхностной изоляции между токоведущими частями и коррозию металлических деталей. Движение кранов с ударами по металлоконструкции на стыках рельсов, интенсивные разгоны и торможения механизмов, собственные колебания металлоконструкций при нагружении машин вызывают весьма интенсивные механические воздействия на электрооборудование, располагаемое на мостах и тележках кранов. Хотя вероятность совпадения предельных условий невелика, для обеспечения необходимой надежности электрооборудования оно должно отвечать следующим основным требованиям.

Температура окружающей среды изменяется от -40 до +40 °С. В металлургических цехах температура изменяется от -10 до +60 °С.

ПИТАНИЕ КРАНОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ.

Грузоподъемные машины в большинстве своем являются устройствами, от надежности работы которых зависит нормальный ход производства, поэтому в соответствии с ПУЭ электроприводы кранов относятся к категории потребителей не ниже второй, для которой перерыв питания допускается только на время переключения питания с основной сети на резервную. Ряд кранов, такие, как литейные, перегрузочные для операций со взрывоопасными, ядовитыми или радиоактивными грузами и некоторые другие, относятся к приемникам первой категории, которые должны обеспечиваться питанием от двух независимых источников, при этом перерыв питания может быть допущен только на время автоматического ввода резервного питания.

Крановые электроприводы могут получать питание от трехфазных сетей переменного тока промышленного предприятия или специальных единых общезаводских сетей постоянного тока. Основным

напряжением для питания крановых механизмов является напряжение 380 В переменного тока. Наряду с этим напряжением по согласованию с изготовителями крановое электрооборудование может изготавливаться для следующих нестандартных напряжений:

- 1) постоянный ток 220 и 440 В;
- 2) переменный трехфазный ток 220 В, 50 Гц; 380 В, 60 Гц; 440 В, 60 Гц; 415 В, 50 Гц; 500 В, 50 Гц.

На напряжение свыше 440 В постоянного тока и 500 В переменного тока крановое электрооборудование не изготавливается. В перспективе намечается использование для питания крупных кранов напряжением 660 В, 50 Гц. Качество электроэнергии переменного тока определено ГОСТ 13109-67. Допуск на отклонение частоты от номинального значения составляет $\pm 0,2$ Гц, Допустимые колебания напряжения сети, предназначенной для питания электроприводов, от -5 до +10 %. Несимметрия фазных напряжений в трехфазной сети допускается в пределах до 2 % номинального значения. Несинусоидальность формы кривой напряжения за счет высших гармоник не должна превышать 5 % действующего значения напряжения основной частоты. Падение напряжения в крановом токопроводе и крановой сети не должно превышать 10 % номинального напряжения при пуске двигателя наибольшей мощности.

Надежная работа кранового электрооборудования во многом зависит от устойчивости всех элементов разветвленной сети питания крановых электроприводов к токам короткого замыкания (КЗ). Вероятность КЗ в цепях и элементах электрооборудования кранов значительно выше, чем у стационарных механизмов, ввиду того что краны при работе создают вибрацию, ударные сотрясения и ускорения, которых нет у стационарных установок.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КРАНОВЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ.

Системы управления крановыми механизмами относятся к категории устройств, находящихся под непрерывным контролем оператора, т. е. в этих системах выбор момента начала операции, скоростных параметров и момента окончания операции осуществляется лицом, управляющим механизмом. В свою очередь система управления должна обеспечивать необходимую последовательность переключения для реализации желаемых скоростных параметров, предотвратить

при этом недопустимые перегрузки и обеспечить необходимую защиту.

Все многообразие различных систем управления может быть разделено на следующие группы.

По способу управления:

1) управляемые непосредственно силовыми кулачковыми контроллерами весь процесс управления, включая выбор необходимых ускорений, осуществляется исключительно оператором;

2) управляемые кнопчными постами; возможности управления ограничены конструктивными особенностями поста и заданной программой пуска (торможения);

3) управляемые сложным комплектным устройством (магнитным контроллером с использованием преобразователя энергии или без него), оператор выбирает только необходимые скорости, а процессы разгона, торможения и необходимые промежуточные переключения осуществляются автоматически.

По условиям регулирования:

1) с регулированием скорости ниже номинальной;

2) с регулированием скорости выше номинальной и ниже номинальной

3) с регулированием ускорения и замедления.

В соответствии с приведенной классификацией в крановом электроприводе применяются следующие системы электроприводов:

электропривод постоянного тока с управлением при помощи силового контроллера (К - ДП);

электропривод постоянного тока с управлением при помощи магнитного контроллера (МК - ДП);

электропривод постоянного тока с питанием и управлением при помощи тиристорного преобразователя (ТП - ДП);

электропривод постоянного тока по системе генератор - двигатель (Г-Д);

электропривод переменного тока с асинхронным короткозамкнутым двигателем, управляемым магнитным пускателем (МП - АДК);

электропривод переменного тока с асинхронным короткозамкнутым двигателем, управляемым силовым контроллером (К - АДК);

электропривод переменного тока с двухскоростным асинхронным двигателем, управляемым магнитным контроллером (МК - АДД);

электропривод переменного тока: асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый силовым контроллером (К - АДФ);

электропривод переменного тока: асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый силовым контроллером с динамическим торможением способом самовозбуждения (КД - АДФ);

электропривод переменного тока: асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый силовым контроллером с тиристорным импульсно-ключевым регулированием (КИ - АДФ);

электропривод переменного тока: асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый магнитным контроллером с торможением способом противовключения (МКП - АДФ);

электропривод переменного тока: асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый магнитным контроллером с динамическим торможением способом самовозбуждения (МКД - АДФ);

электропривод переменного тока; асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый магнитным контроллером с бездуговой коммутацией (МКБ - АДФ);

электропривод переменного тока: асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый тиристорным преобразователем напряжения (ТПН - АДФ);

электропривод переменного тока: асинхронный двигатель с фазным ротором, управляемый магнитным контроллером с тиристорным импульсно-ключевым регулированием (МКИ - АДФ);

электропривод переменного тока: асинхронный двухскоростной коротко-замкнутый двигатель, управляемый непосредственным преобразователем частоты (НПЧ - АДД).

2. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ В КРАНОВОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Номинальные параметры электрических машин общего назначения относятся к температуре окружающей воздушной среды 40°C, а электродвигателей металлургического исполнения 50°C. Номинальным режимом работы электрической машины называется такой режим, для которого машина предназначена и который указан на ее фирменном щитке.

Номинальный режим работы электродвигателей, используемых для кранов, должен соответствовать одному из следующих стандартных режимов: продолжительному S1; кратковременному S2 с длительностью работы при неизменной номинальной нагрузке в течение 10, 30, 60 и 90 мин; повторно-кратковременному S3 с ПВ = 15, 25, 40 и 60% при продолжительности цикла 10 мин. Номинальные режимы S1, S2, S3 являются основными.

Изоляция электрических машин относительно корпуса и между обмотками рассчитывается на испытательное напряжение $2 U_{\text{ном}} + 1000$ В, но не менее 1500 В, в том числе обмотки крановых двигателей постоянного тока 1880 В, обмотки статора крановых двигателей переменного тока 1760 В.

Электрическая прочность межвитковой изоляции проверяется в течение 3 мин напряжением на 30 % выше номинального.

По геометрии активного слоя, степени использования материалов, режимам работы, электромеханическим характеристикам, особенностям теплового режима, конструкции, а также по условиям эксплуатации крановые электродвигатели значительно отличаются от двигателей общего назначения, поэтому при использовании на кранах электродвигателей общего назначения их основные параметры должны быть приближены к крановым.

Крановые электродвигатели обычно работают со значительными перегрузками по отношению к номинальному моменту при широком диапазоне изменения частоты вращения, частых пусках и торможениях, в условиях ударов, вибраций и других неблагоприятных факторов, поэтому конструкции узлов и деталей двигателей отличаются повышенной прочностью и надежностью.

Основное исполнение крановых электродвигателей IP44. При этом технически и экономически целесообразно применять изоляци-

онные материалы классов F и H с допущением повышенных на 5-10°C нагревов отдельных частей.

Для снижения расхода энергии при пусках и торможениях момент инерции ротора (якоря) должен быть по возможности минимальным, а номинальная частота вращения выбирается относительно небольшой. Для обеспечения большой перегрузочной способности по моменту магнитный поток двигателей относительно велик. В двигателях постоянного тока с учетом продолжительного режима включения обмоток параллельного возбуждения и необходимости уменьшения размагничивающего действия реакции якоря отношение высоты оси вращения к диаметру якоря равно 0,92-1,05. Общая тенденция в электромашиностроении к уменьшению высоты оси вращения двигателей заданной мощности привела к тому, что расстояние между пакетом железа статора и опорной плоскостью лап в двигателях переменного тока составляет только 12-15 % высоты оси вращения, а в двигателях постоянного тока поперечная форма станины приближается к квадрату.

Получение повышенной частоты вращения двигателей постоянного тока может достигаться как ослаблением поля, так и повышением напряжения на якоре до двойного значения номинального. Вместе с другими перечисленными факторами это усложняет требования к коммутации двигателей, изоляции токоведущих частей, жесткости конструкции двигателей.

В крановых двигателях, переменного тока за номинальный режим принят режим при ПВ = 40 %, а в двигателях постоянного тока режим 60 мин (наряду в режимом ПВ = 25 %).

3.КРАНОВАЯ КОНТАКТНАЯ АППАРАТУРА

Электрические контактные аппараты - это электротехнические устройства, предназначенные для коммутации тока в электрических цепях и изменения за счет этого параметров тока и напряжения в обмотках двигателей. Электрические аппараты классифицируются по принципу действия, назначению и выполняемым функциям. По принципу действия различаются аппараты ручного включения, электромагнитного включения, индукционные, тепловые, электромашинные и контактно-механические. По назначению и выполняемым функциям контактные аппараты подразделяются на две группы: осуществляющие оперативное управление электроприводом путем выполнения определенных, заранее обусловленных программ включения и отключения в цепях электропривода и выполняющие функции защиты, контроля и сигнализации.

Контактная аппаратура предназначена для коммутации тока в главных цепях электроприводов, цепях управления и цепях сигнализации. При редких коммутациях и в особенности при мало индуктивной нагрузке коммутируемых цепей размыкание тока не вызывает существенного изменения физического состояния контактных поверхностей и размеры коммутирующих аппаратов определяются целиком их возможностью пропускать электрический ток без недопустимых нагревов. Режим коммутаций тока в силовых цепях крановых электроприводов характеризуется сравнительно частыми включениями и отключениями, высокой индуктивностью размыкаемых цепей и частыми кратковременными перегрузками контактов пусковыми и тормозными токами. С точки зрения коммутационных условий крановая аппаратура может быть отнесена к категории аппаратов с наиболее неблагоприятным режимом работы.

Включение и отключение двигателей. В процессе пуска асинхронного короткозамкнутого двигателя ток в период первой полуволны может превысить расчетный пусковой ток двигателя. Амплитудное значение тока первого полупериода после включения может достигнуть 12-кратного значения номинального тока двигателя. Такие кратности при номинальных токах свыше 40 А вызывают относительно большие усилия на контакты в направлении их размыкания. Одновременно при соударении включающихся контактов происходит их ударная вибрация. Продолжительность вибрации контактов 1-3 мс

при прохождении 10-12 кратного тока вызывает основной коммутационный износ контактов, поскольку отключение вращающегося двигателя происходит при коммутации номинального тока и напряжении между расходящимися контактами менее 10 % номинального. Однако это справедливо лишь для электроприводов общего назначения. В крановых электроприводах процесс пуска растягивается на 2-3 с, поэтому для этих приводов высока вероятность размыкания цепи разгоняющегося двигателя со значением коммутируемого тока 80 % пускового при напряжении между расходящимися контактами 50-70 % номинального. Таким образом, для крановых электроприводов даже простое включение или отключение короткозамкнутого двигателя может быть отнесено к тяжелым условиям коммутации.

Двигатели переменного тока с фазным ротором при включении в сеть даже при разомкнутом роторе имеют в первый период ток, равный 10-кратному номинальному, и явление включения практически аналогично включению короткозамкнутого двигателя. Большая часть отключений двигателя с фазным ротором происходит при скорости, близкой к нулю, т. е. при включенных в цепь ротора резисторах; ток отключения равен номинальному при напряжении отключения также номинальном и $\cos\varphi = 0,6$. Этот режим несколько легче коммутации короткозамкнутого двигателя в пусковом режиме, но также достаточно тяжелый.

При включении двигателя постоянного тока ток в главной цепи нарастает по экспоненте, поэтому при вибрации контактов, включающих постоянный ток, износ контактов незначительный, и, наоборот, при размыкании цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой время горения дуги даже при мощных средствах дугогашения занимает 25-50 мс, и основная часть коммутационного износа происходит при размыкании тока. В крановом приводе примерно половина всех размыканий происходит при напряжении на расходящихся контактах не менее 70% номинального, поэтому условия коммутации двигателей постоянного тока являются весьма тяжелыми.

Таким образом, для большинства режимов коммутаций цепей электродвигателей в крановых электроприводах наиболее характерным режимом являются условия тяжелой коммутации, связанной со значительным дугообразованием, относительно высокой длительностью горения дуги и, следовательно, высокой степенью разрушения поверхности контактов при каждой коммутации.

Коммутационной износостойкостью контактных устройств называется число циклов включения - отключения (В - О) электрической цепи с заданными параметрами до достижения 70-90 % износа рабочего объема контактов. При конструировании коммутационных аппаратов принимаются разнообразные средства снижения степени разрушения контактных поверхностей в процессе коммутации.

Для аппаратов переменного тока это прежде всего снижение вибрации контактов при включении. Для этого применяется пружинная или иная амортизация подвижных и неподвижных контактов с максимальным сближением масс соударяющихся элементов. Сокращение скорости соударения осуществляется за счет максимального уменьшения раствора контактов. Для аппаратов переменного тока весьма существенным также является наиболее рациональный подбор состава материала контактов. Так, металлокерамические композиции, состоящие из прессованных мелкодисперсных порошков серебра и оксида кадмия, существенно повышают коммутационную износостойкость контактов по сравнению с серебряными контактами.

Для аппаратов постоянного тока, наоборот, главной задачей является максимально быстрое удаление дуги с контактов на дугогасительные рога путем повышения раствора контактов, выдувания дуги за счет эффективного поперечного магнитного поля дугогашения и охлаждения дуги массивными контактными деталями и стенками дугогасительных камер.

Для современных коммутационных аппаратов коммутационная износостойкость составляет 10-15 % механической износостойкости при коммутации номинальных токов. Механической износостойкостью контактных систем называется полное число циклов В - О без коммутации тока в пределах износа основных узлов: контактов, осей, пружин, опорных поверхностей и т. п. Механическая износостойкость является одним из важных показателей пригодности коммутационного аппарата к использованию по назначению. Все современные коммутационные аппараты переменного тока рассчитаны на использование в цепях переменного трехфазного тока с напряжением до 660 В. Коммутационные аппараты постоянного тока рассчитаны на использование в цепях постоянного тока с напряжением до 320 В, некоторые аппараты при снижении основных показателей могут использоваться в сетях постоянного тока напряжением 440 В.

4. ПРИВОДЫ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ

Крановый механизм должен иметь устройство для его остановки в заданном положении или ограничения пути торможения при выбеге после отключения приводного электродвигателя, и исключение составляют механизмы передвижения кранов со скоростью движения не более 0,5 м/с. Такими устройствами являются тормоза, обеспечивающие остановку механизма крана за счет сил трения между вращающимся шкивом или диском и неподвижной тормозной поверхностью, связанной с механизмом.

Существуют разнообразные конструкции тормозных устройств с фрикционными элементами дискового типа (дисковые тормоза), коническими поверхностями торможения (конические тормоза) и с цилиндрическими поверхностями торможения, которые в свою очередь делятся на колодочные и ленточные тормоза.

Дисковая система торможения применяется в тех случаях, когда тормоз является частью приводного электродвигателя. При этом габаритные размеры тормоза определяются размерами электродвигателя. Такие тормоза могут эффективно работать при тормозных моментах от 30 до 1000 Нм. Конические тормозные устройства находят применение в специальных механизмах небольшой мощности при тормозных моментах до 300 Нм. Наибольшее распространение для большинства крановых механизмов находят колодочные тормоза. Эти тормоза используются в механизмах, в которых необходимые тормозные моменты могут достигать 10 000 Нм. Для создания тормозных моментов свыше 10000 Нм применяются ленточные тормозные устройства.

Механические тормоза фрикционного действия могут иметь два конструктивных исполнения:

1) нормально разомкнутый тормоз, когда тормозные поверхности не контактируют между собой при отсутствии внешней силы и торможение происходит путем приложения внешней силы от привода тормоза;

2) нормально замкнутый тормоз, когда тормозные поверхности контактируют между собой с необходимым давлением при отсутствии внешней силы от привода за счет силы сжатия пружины или рычажно-грузового устройства. Освобождение такого тормоза происходит под действием его привода, преодолевающего действие пружин или груза.

Все перечисленные тормоза могут иметь привод, выполняющий работу, равную произведению силы, необходимой для создания тормозного эффекта, на путь перемещения поверхности трения, достаточный для выполнения гарантированной операции (торможения или растормаживания). Тормоза на кранах могут быть с непосредственным воздействием оператора (ручные или ножные) и с механическим приводом. В настоящее время в большинстве крановых тормозов с механическим приводом используются либо электромагниты, либо электрогидравлические толкатели и только мощные ленточные тормоза имеют гидравлические или моторные приводы.

Приводы тормозов могут иметь два исполнения: короткоходовой, у которого рабочий ход равен или близок к пути перемещения тормозных поверхностей, и длинноходовой, у которого рабочий ход в несколько раз больше пути перемещения тормозных поверхностей. Естественно, что усилия, развиваемые приводами короткоходовых тормозов, должны быть одного порядка с суммарным усилием, действующим на фрикционные поверхности, а усилие длинноходовых приводов может быть настолько меньше необходимого усилия торможения, насколько ход привода тормоза больше зазора между поверхностями торможения.

В грузоподъемных машинах тормоз является важнейшим элементом, обеспечивающим безопасность эксплуатации, поэтому наиболее важные условия выбора, установки и функционирования тормозов регламентированы действующими правилами безопасной эксплуатации кранов, утвержденных Госгортехнадзором. В соответствии с этими правилами каждый подъемный механизм грузоподъемной машины должен снабжаться нормально замкнутым тормозом, расположенным на таком участке кинематической схемы, который имеет неразъемную под нагрузкой связь с выходным валом передаточного механизма. Подъемные механизмы, которые служат для перемещения жидкого металла или взрывоопасных грузов, должны иметь два нормально замкнутых независимых тормоза. Наличие в кинематической цепи двух тормозов обязательно также для двухдвигательных механизмов при аварийном механическом отключении одного из двигателей.

Основным параметром тормоза является гарантированно развиваемый им тормозной момент. Тормозной момент определяется усилием на измерительном рычаге, при котором начинается проскальзывание шкива или дисков тормоза.

Согласно правилам Госгортехнадзора каждый из установленных на механизме механических тормозов должен удерживать груз, составляющий 125 % номинального, при его остановке только с помощью этого тормоза. С учетом того что коэффициент трения асбестовых материалов может меняться в зависимости от температуры поверхности до 30 %, тормоз в холодном состоянии должен развивать тормозной момент, составляющий не менее 150 % номинального, т. е. коэффициент запаса тормозного момента должен быть не ниже 1,5 расчетного момента.

При применении нормально разомкнутых тормозов для механизмов горизонтального перемещения условия выбора тормозного момента аналогичны. Важным параметром, определяющим работоспособность тормоза, является соответствие его режима работы фактической продолжительности включения.

Привод нормально замкнутого тормоза в течение всего времени работы механизма должен быть включен. Таким образом, должно соблюдаться соответствие по времени включения и режиму работы между приводным электродвигателем и тормозом. Это относится к тем механизмам, у которых наложение тормоза происходит одновременно с отключением электродвигателя.

У ряда механизмов, имеющих свободный выбег после отключения электродвигателя, наложение тормоза должно происходить только при срабатывании защиты или по команде оператора-крановщика.

При применении приводов тормозов постоянного тока последовательного возбуждения необходимо учитывать, что растормаживание механизма должно происходить на первых рабочих положениях схем управления крановыми электроприводами, т. е. при токах, составляющих 40-60 % номинального тока катушки тормоза при расчетной продолжительности включения, поэтому при выборе приводов тормозов последовательного возбуждения необходимо определить номинальный ток катушки, а усилия привода тормоза установить с учетом минимального тока включения тормоза, составляющего 40-60% номинального тока катушки.

Теплоотдача при торможениях осуществляется со всех поверхностей тормозного шкива и колодок, но при этом более интенсивный нагрев происходит в зоне тормозных колодок. По результатам экспериментов установлено, что при сложном характере нагрева в качестве расчетной теплоотдающей поверхности можно принять наружную поверхность тормозного шкива. Максимальная рабочая температура

фрикционных поверхностей при торможении не должна превышать 150°C , так как при большей температуре резко падает коэффициент трения поверхностей. Этой температуре соответствует теплоотдача с поверхности периодически вращающегося шкива около $0,2 \text{ Вт/см}^2$.

5. КРАНОВЫЕ ТИРИСТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Тиристорные преобразователи постоянного тока.

Тиристорные преобразователи (ТП) постоянного тока являются устройствами, преобразующими напряжение переменного тока в постоянное регулируемое напряжение посредством фазоимпульсного управления тиристорами. В крановых электроприводах ТП осуществляют питание якорных цепей двигателей постоянного тока и их обмоток возбуждения. Преобразователи для крановых электроприводов выполняются однофазными и трехфазными. Нулевой ТП включает в себя трансформатор с напряжением на вторичных обмотках или токоограничивающий реактор на стороне переменного тока, выпрямительные блоки, сглаживающий реактор в цепи якоря двигателя, а также элементы систем управления и защиты ТП. Регулирование среднего значения выпрямленного напряжения осуществляется путем изменения угла управления тиристоров α . Показанный на диаграммах угол коммутации γ характеризует период времени, в течение которого ток проходит одновременно по двум тиристорам.

Тиристорный преобразователь обеспечивает работу в двух режимах: выпрямительном и инверторном. В выпрямительном режиме двигатель потребляет энергию из сети, а в инверторном, наоборот, энергия передается в сеть. В выпрямительном режиме ЭДС ТП и ток направлены согласно, в инверторном - встречно. Источником тока в инверторном режиме является ЭДС якоря машины или индуктивность обмотки возбуждения. Перевод ТП из выпрямительного режима в инверторный достигается изменением полярности на нагрузке посредством увеличения угла α сверх $\pi/2$.

Для обеспечения режима инвертирования необходимо, чтобы закрывающийся тиристор успел восстановить свои запирающие свойства в течение времени приложения к нему отрицательного напряжения. В противном случае возможно опрокидывание инвертора, при котором возникает аварийный ток, поскольку ЭДС ТП и двигателя совпадут по направлению.

Преобразователи могут выполняться в нереверсивном и реверсивном исполнениях соответственно с одним и двумя выпрямительными группами тиристоров. Нереверсивное исполнение ТП обеспе-

чивает одностороннюю проводимость тока в главной цепи, а реверсивное - двустороннюю проводимость и в этом смысле аналогично силовой цепи системы генератор - двигатель.

Управление группами тиристоров реверсивных ТП возможно совместное или раздельное. При совместном управлении сигналы управления подаются одновременно на обе группы тиристоров. В этом случае одна из групп работает в выпрямительном, а другая подготовлена к работе в инверторном режимах либо наоборот. При раздельном управлении импульсы подаются только на ту группу тиристоров, которая в данный момент должна проводить ток.

Преобразователи с совместным управлением группами тиристоров обладают большим быстродействием и более простой системой управления, однако требуют установки уравнивающих реакторов для ограничения уравнивающих токов, возникающих в замкнутом контуре.

Тиристорные преобразователи частоты с автономными инверторами

Тиристорные преобразователи частоты с автономными инверторами осуществляют преобразование напряжения питающей сети последовательно в напряжение постоянного тока, а затем в трехфазное напряжение регулируемой частоты с отношением как меньшим, так и большим (двухзонное регулирование). К основным элементам таких относятся управляемый выпрямитель (УВ) и автономный инвертор (АИ). Неотъемлемой частью АИ являются устройства принудительной конденсаторной коммутации тиристоров.

Преобразование постоянного напряжения на входе АИ в трехфазное напряжение нужной частоты осуществляется переключением тиристоров в плечах моста с определенной частотой и последовательностью. По принципу работы АИ разделяются на инверторы напряжения (АИН) и инверторы тока (АИТ). В АИН ток на входе (в звене постоянного тока) изменяется как по значению, так и по направлению, поэтому тиристоры в плечах моста должны обладать двусторонней проводимостью. Двусторонняя проводимость обеспечивается встречно-параллельным включением тиристоров и неуправляемых диодов. Диоды проводят ток в промежутки времени, когда выходное напряжение и ток нагрузки имеют противоположные знаки. При этом

обеспечивается периодический обмен энергией между индуктивностью цепи нагрузки и конденсатором в звене постоянного тока.

В электроприводах с рекуперацией энергии в сеть в состав АИН должен быть включен ведомый инвертор, обеспечивающий двустороннюю проводимость источника питания. В системах с АИТ передача энергии в сеть происходит при неизменном направлении тока за счет поворота вектора напряжения по отношению к вектору тока, и ведомый инвертор для этих целей не нужен.

Регулирование выходного напряжения в ПЧ с АИ для крановых электроприводов осуществляется амплитудным способом, посредством изменения угла управления тиристоры УВ. Принципиально возможны и другие методы регулирования, однако ввиду сложности реализации их применение ограничено.

6. ТИПОВЫЕ КРАНОВЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С КОНТАКТОРНО- КОНТРОЛЛЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ

Электроприводы постоянного тока

Относительно высокие регулировочные свойства рассматриваемых электроприводов при простоте и высокой надежности релейно-контакторной аппаратуры постоянного тока определяют достаточно широкое их применение для крановых механизмов металлургического производства, электрооборудование которых работает в режимах 4М, 5М. В отдельных случаях эти электроприводы применяются и для крановых механизмов общего назначения при электроснабжении на постоянном токе. Электроприводы строятся на основе применения двигателей постоянного тока серии Д с последовательным возбуждением, управляемых от панелей при мощностях двигателей от 2,5 до 110 кВт, и кулачковых контроллеров при мощностях до 10 кВт отдельно для механизмов подъема и передвижения. Для построения серийных электроприводов выпускаются два исполнения кулачковых контроллеров и 13 типов панелей управления. При этом для механизмов подъема использованы кулачковый контроллер КВ 101 и панели ПС и ДПС (сдвоенные) на токи 160, 250 и 630 А, а для механизмов передвижения — контроллер КВ102 и панели управления П и ДП (сдвоенные) на токи 63, 160, 250 и 630 А.

Рассматриваемые электроприводы обеспечивают двухзонное регулирование скорости в диапазоне 1:6 при работе с номинальным грузом и 1:12 при работе с малыми грузами. Кроме двухзонного регулирования особенностью электроприводов постоянного тока является большая кратность пускового момента, ограничиваемого только условиями коммутации машины.

Электроприводы механизмов подъема строятся по несимметричным схемам. Необходимые механические характеристики обеспечиваются путем соответствующего соединения якоря, обмотки возбуждения двигателя и пускорегулирующих резисторов. При этом на характеристиках подъема, за исключением режима доводочной скорости, используется последовательное соединение обмоток П резисторов. Характеристики спуска осуществляются переводом двигателя

в режим динамического торможения, а также путем потенциометрического включения якоря и обмотки возбуждения двигателя. При потенциометрическом включении каждая из характеристик имеет участок, на котором возможен силовой спуск крюка и легких грузов и участок для тормозного спуска грузов. Указанное соединение используется и для получения характеристики доводочных скоростей в режиме подъема.

Схема электропривода подъема с кулачковым контроллером КВ 102 приведена на рис. 1, а соответствующие ей механические характеристики - на рис. 2. Схема предусматривает ступенчатый пуск, торможение и регулирование скорости. Контроллер имеет по пять фиксированных позиций в каждом из направлений и нулевое положение. Указанные выше переключения силовых цепей, необходимые для получения требуемых механических характеристик, определяются приведенной на схеме диаграммой замыкания контактов контроллера SM1 - SM14. Схемой предусмотрена возможность применения тормозного электромагнита с катушкой последовательного YB2 или параллельного YB1 возбуждения (включение показано штриховой линией).

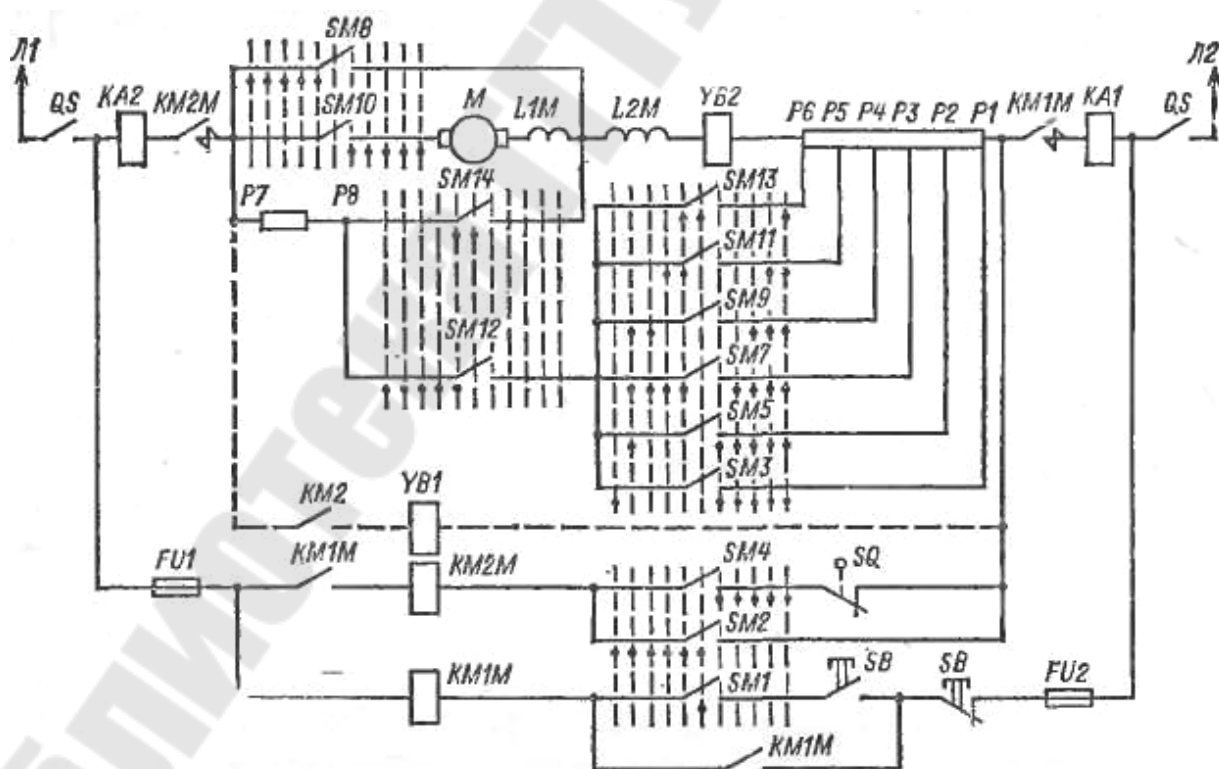


Рис.1.

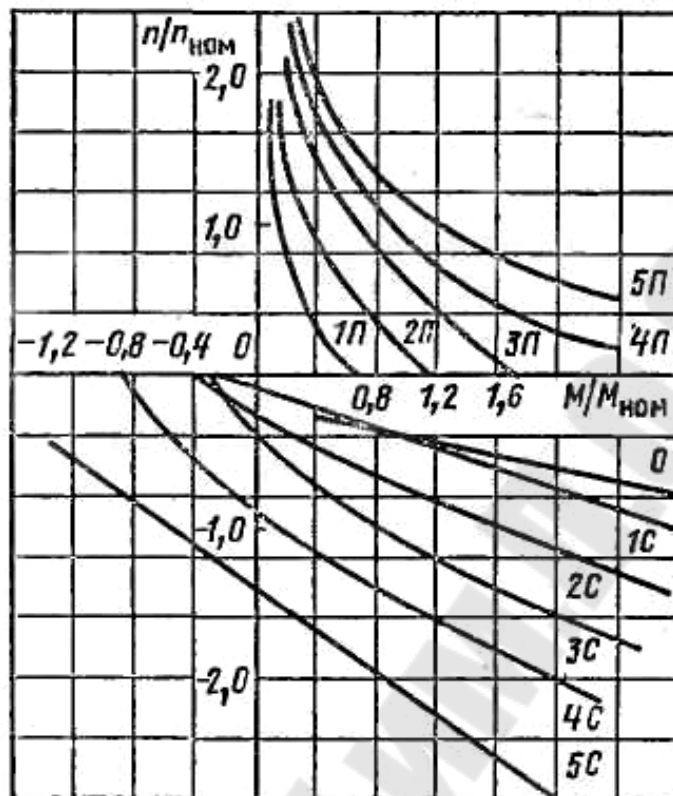


Рис. 2.

Применение электромагнита последовательного возбуждения повышает надежность работы электропривода, однако требует специального выбора сопротивлений из условия обеспечения надежного срабатывания и удержания тормоза на всех положениях контроллера. Схема предусматривает наряду с механическим также электрическое динамическое торможение с самовозбуждением. Защита электропривода вынесена на защитную панель, на которой расположены контактор включения механизмов КМ2М (для механизмов подъема), линейный контактор КМ1М, вводный рубильник QS, максимальные реле КА1 и КА2. При этом обеспечивается конечная защита конечным выключателем SQ, максимальная и нулевая защиты.

Электроприводы с асинхронными фазными двигателями и торможением противовключением

Рассматриваемые электроприводы до последнего времени благодаря простоте реализации находят наиболее широкое применение для крановых электроприводов, особенно для механизмов передви-

жения. В механизмах подъема эти электроприводы все в большей степени вытесняются системами с динамическим торможением самовозбуждением. Комплектные электроприводы выполняют на основе применения асинхронных крановых двигателей с фазным ротором при управлении от силовых контроллеров ККТ60 и панелей управления ТА, ДТА, ТСА, К, ДК, КС. Электроприводы с силовыми кулачковыми контроллерами и панелями ТА, ДТА (для механизмов передвижения) и ТСА (для механизмов подъема) с цепями управления на переменном токе применяют для кранов общего назначения, а с панелями К, ДК (передвижение) и КС (подъем) — с цепями управления на постоянном токе для кранов металлургического производства. Особенности использования определяют и некоторые различия в построении указанных панелей. Панели К и КС имеют индивидуальную защиту, в то время как для панелей ТА и ТСА основной является схема с общей защитой, вынесенной на отдельную защитную панель; в панелях ДК для двух- и многодвигательных электроприводов предусмотрено разделение силовых цепей двигателей для повышения надежности работы системы, имеются также и другие различия.

Диапазон мощностей, охватываемый электроприводами и силовыми кулачковыми контроллерами, составляет от 1,7 до 30 кВт и увеличивается до 45 кВт при добавлении контакторного реверсора, а с панелями управления - от 3,5 до 100 кВт для механизмов передвижения и от 11 до 180 кВт для механизмов подъема (мощности указаны для режима работы 4М при ПВ = 40%). Применяемые в рассматриваемых электроприводах методы регулирования скорости и осуществления тормозных режимов определяют их невысокие регулировочные и энергетические свойства. Характерным для таких систем является отсутствие устойчивых посадочных и промежуточных скоростей и большие потери в пуско-тормозных резисторах. В целом диапазон регулирования этих электроприводов не превышает 3:1, а эквивалентный КПД для режима 4М составляет около 65 %.

Схема электропривода с кулачковым контроллером ККТ61 приведена на рис. 3. Механические характеристики электропривода с кулачковыми контроллерами приведены на рис. 4.

При построении механических характеристик рассматриваемых электроприводов важным вопросом является выбор значения начального пускового момента (характеристики 1 и 1'). С одной стороны, в плане снижения толчка момента при разгоне и обеспечения посадочных скоростей при спуске легких грузов желательно уменьшить пус-

ковой момент. С другой стороны, чрезмерное снижение начального пускового момента может привести к опусканию тяжелых грузов на позициях подъема и возникновению чрезмерных скоростей при их спуске. Для исключения этого начальный пусковой момент должен составлять около $0,7M_{\text{ном}}$.

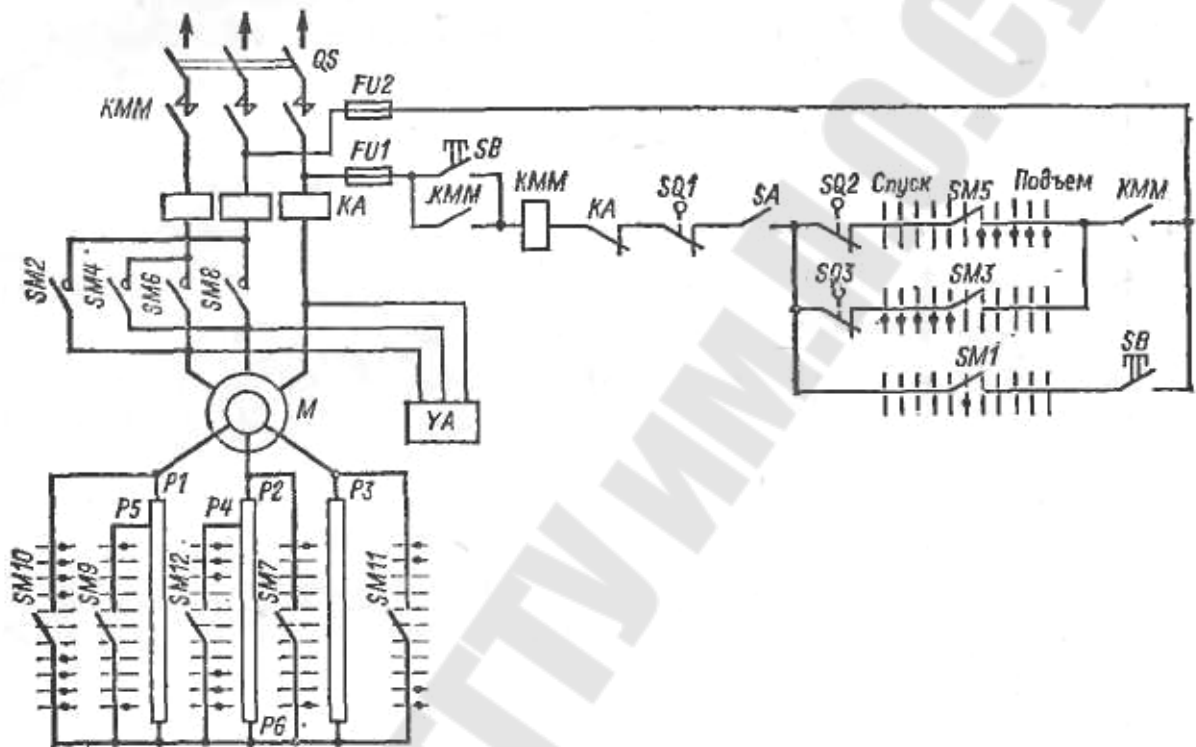


Рис.3.

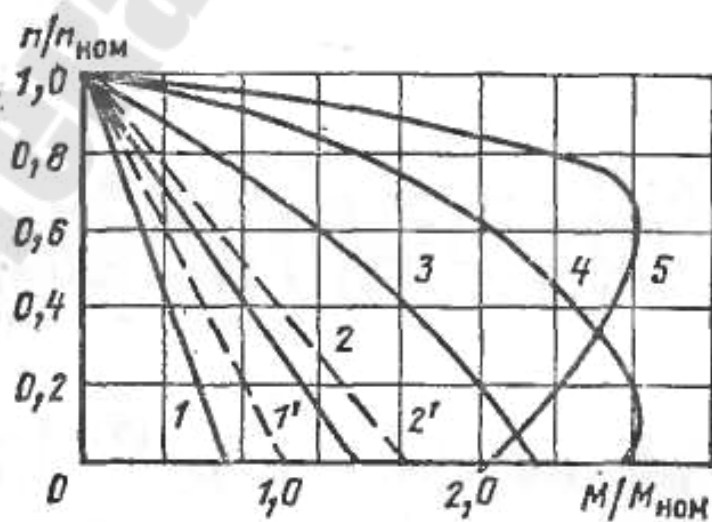


Рис.4.

На схеме рис. 3. контакты SM2, SM4, SM6 и SM8 контроллера выполняют реверс двигателя, контакты SM7 и SM9 - SM12 коммутируют ступени резисторов, контакты SM1, SM3 и SM5 использованы в цепях защиты. Одновременно с двигателем включается катушка тормоза YA. В схеме с контроллером ККТ61 в целях уменьшения числа используемых кулачков применено несимметричное включение сопротивлений, а в схеме с ККТ68 число контактов контроллера позволяет выполнить симметричное включение.

Защита электропривода осуществляется защитной панелью, на которой находятся линейный контактор КММ, силовой рубильник QS, предохранители FU1, FU2 и блок максимальных реле КА. Конечная защита осуществляется выключателями SQ2 и SQ3. В цепь катушки контактора КММ включены контакты кнопки включения SB, аварийного выключателя SA и контакты блокировки люка SQ1.

Рекомендуемая литература

1. Комплектные тиристорные электроприводы: Справочник / И.Х. Евзеров, А.С. Горобец, Б.И. Мошкович и др.; Под ред. канд. техн. наук В.М. Перельмутера. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 319 с.
2. Яуре А.Г., Певзнер Е.М. Крановый электропривод. Справочник. М. Энергоатомиздат, 1988 г. - 344 с.
3. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов./ М.М. Соколов- М., Энергия, 1976 г.
4. Яуре А.Г Крановая электрическая аппаратура / Яуре А.Г. . - Москва : Энергия, 1974. - 104 с. : ил.. - (Библиотека электромонтера ; вып. 402)
5. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: Мастерство, 2000. – 366 с.
6. Котеленц и др., Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин, Асадема, М., 2003 – 315 с.
7. Певзнер Е.М Эксплуатация крановых тиристорных электроприводов / Певзнер Е.М., Яуре А.Г. - Москва: Энергоатомиздат, 1991. - 107с.. - (Библиотека электромонтера; вып.637)
8. Вольдек А. И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1978. - 832 с.
9. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. М.: Энергия, 1980. - 928 с.
10. Капунцов Ю.Д., Елесеев В.А., Ильяшенко Л.А. Электрооборудование и электропривод промышленных установок: Учебник для вузов / Под. ред. проф. М.М. Соколова. – М.: Высш. школа, 1979. – 359с.
11. Александров М.П. Подъемно-транспортные машины. М.: Машиностроение, 1984. – 253 с.
12. Борисов Ю. М., Соколов М. М. Электрооборудование подъемно-транспортных машин. М.: Машиностроение, 1971. – 201 с.
13. Рапутов Б.М. Электрооборудование кранов металлургических предприятий. М.; Металлургия, 1990. – 272 с.
14. Шабашов А. П., Лысяков А. Г, Мостовые краны общего назначения. -М.: Машиностроение, 1980, -304 с

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	3
1. Общие технические характеристики грузоподъемных машин и электрооборудования	4
2. Электродвигатели в крановом электроприводе	10
3. Крановая контактная аппаратура	12
4. Приводы тормозных устройств	15
5. Крановые тиристорные преобразователи	19
6. Типовые крановые электроприводы с контакторно-контроллерными системами управления	22
Рекомендуемая литература	28

**Брель Виктор Валерьевич
Логвин Владимир Васильевич
Вепер Леонид Владимирович**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
ТИПОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
И ТРАНСПОРТНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

**Учебно-методическое пособие
по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 28.05.18.

Рег. № 61Е.

<http://www.gstu.by>