

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

**Л. В. Веппер**

# **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И КОМПЛЕКСОВ**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной и заочной форм обучения  
В двух частях  
Часть 1**

Гомель 2009

УДК 658.5(075.8)  
ББК 32.965я73  
В30

*Рекомендовано научно-методическим советом  
факультета автоматизированных и информационных систем  
ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 9 от 12.05.2008 г.)*

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

**Веппер, Л. В.**

В30 Автоматизация типовых технологических установок и комплексов : лаборатор. практикум по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» днев. и заоч. форм обучения / Л. В. Веппер. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2009. – 57 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: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Рассмотрены вопросы автоматизации в прокатном производстве: автоматизированные системы управления слябингом, натяжением полосы между клетью и моталкой, бесконтактные системы управления электроприводами реверсивных станков.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» дневной и заочной форм обучения.

УДК 658.5(075.8)  
ББК 32.965я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2009

## ВВЕДЕНИЕ

### *Основные сведения о прокатном производстве*

В металлургической промышленности прокатное производство, являющееся одним из основных технологических процессов обработки металла давлением, наиболее широко используют системы автоматизированного электропривода (ЭП).

Прокатный цех является основным при завершении технологической обработки металла в металлургической отрасли. В состав прокатного цеха входят прокатный стан, механизмы для подготовки металла к прокатке, механизмы обработки готовой продукции, вспомогательная служба.

Прокатный стан (ПС) — это сложное устройство, состоящее из большого количества механизмов, объединённых одной технологической линией. В ПС имеются главные механизмы — рабочие валки прокатной клетки и вспомогательные механизмы, обеспечивающие непрерывность технологического процесса.

Главные механизмы, предназначенные для обработки металла в одной или нескольких клетях ПС, обеспечивают обжатие металла и придают ему требуемое сечение и форму готовой продукции.

Вспомогательные механизмы предназначены для перемещения рабочих валков, транспортировки и резки металла и других операций, обеспечивающих определённую последовательность технологического процесса прокатки.

### *Классификация ПС и клеток.*

ПС классифицируют по следующим признакам:

1. Назначению;
2. Числу и расположению клеток;
3. Числу и расположению валков;
4. Режиму работы клеток.

1) По *назначению* ПС разделяют на обжимные станы для производства полупродукта прямоугольного и квадратного сечения (блюминги, слэбленги) и заготовочные станы:

— сортовые станы, предназначенные для производства сортового металла, балок, полос и т.д. (балочные, средне- и мелкосортные, проволочные станы);

— толсто- и тонколистовые станы горячей прокатки, предназначенные для получения листовой стали;

— листовые станы холодной прокатки, предназначенные для производства тонкого и сверхтонкого листа с высоким качеством поверхности;

— трубопрокатные станы;

— специальные станы, предназначенные для прокатки сложных профилей, круглых тел вращения, профилей с винтовой поверхностью и др.

2) По числу рабочих клеток ПС подразделяют на одноклетьевые и многоклетьевые.

Одноклетьевые станы применяются как обжимные, реверсивные толстолистовые станы горячей прокатки и реверсивные станы холодной прокатки, направление прокатки в которых меняется и трубные станы, направление прокатки в которых не меняется. Многоклетьевые станы применяются для прокатки заготовок, сортового и листового металла, труб и т.д.

По расположению клеток станы подразделяются на последовательные, линейные, непрерывные, полупрерывные, зигзагообразные и шахматные.

Последовательные станы состоят из нескольких клеток, расположенных последовательно одна за другой, (рис.1,а) а прокатка металла в каждой из клеток происходит отдельно. Каждая клетка имеет свой двигатель для вращения рабочих валков.

Линейные станы состоят из нескольких клеток, валки которых вращаются от одного электродвигателя (рис.1,б). Направление прокатки в линейно расположенных клетях меняется.

Непрерывные станы (рис.1,в) имеют ряд клеток, расположенных последовательно, включая группу клеток, в которых прокатываемый металл проходит одновременно в двух или нескольких клетях и направление прокатки не меняется.

Полунепрерывные станы имеют в своём составе группу клеток и либо реверсивную клетку (рис.1,г), либо линейную группу. Прокатываемый металл имеет направление прокатки.

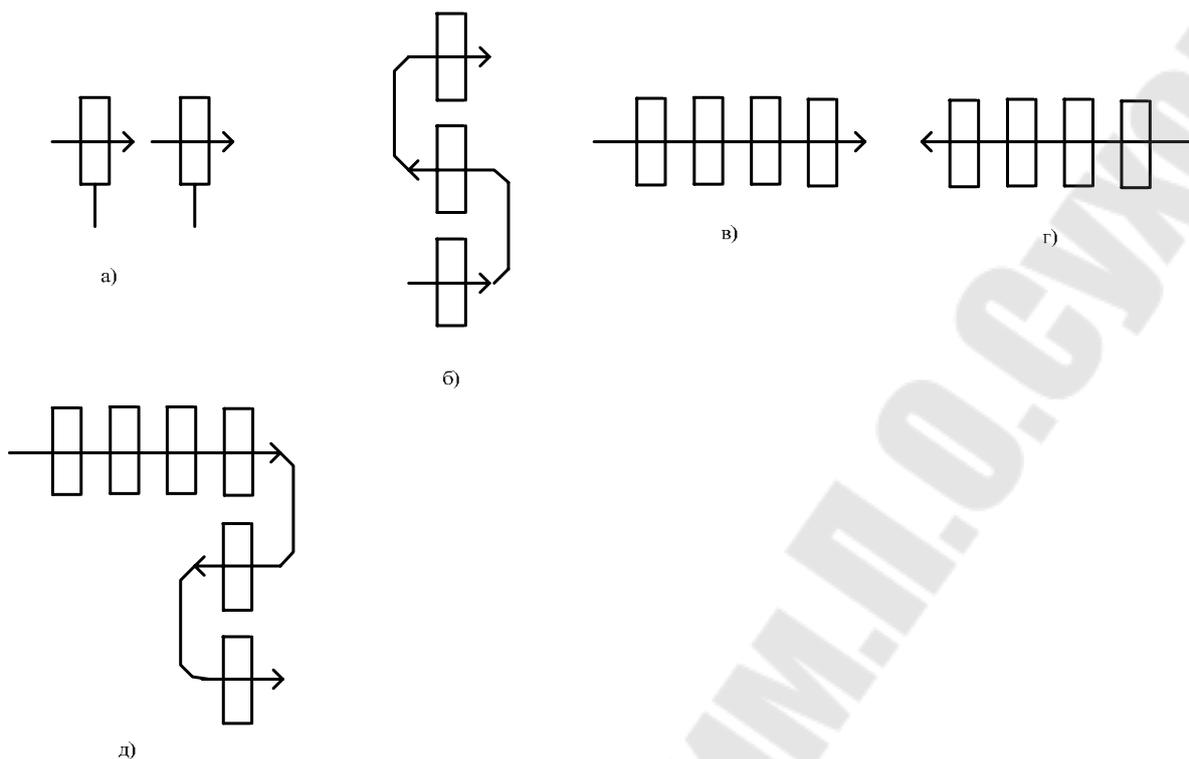


Рис.1

3) Клетки, в которых происходит основная обработка металла, т.е. изменение геометрии размеров заготовки, классифицируют по количеству и расположению валков, по режиму работы. По *количеству валков* клетки ПС разделяются на 2-х валковые, 3-х, 4-х и многовалковые. Приводными являются, как правило, рабочие валки. В них происходит обжатие металла. В многовалковых в качестве приводных используют как рабочие, так и опорные валки.

По *расположению валков* клетки выполняют с горизонтальными, вертикальными и косыми валками. Некоторые клетки имеют как горизонтальные так и вертикальные валки. 2-х валковые и 3-х валковые клетки применяются в тех случаях, когда отношение диаметра рабочего валка к его длине  $> 0,4$ , что обеспечивает достаточную жесткость валка на изгиб. Такие клетки устанавливают на обжимных, заготовочных, сортовых и трубных станах. 3-х валковая клетка имеет один двигатель, 2-х валковая клетка может иметь один или два двигателя с индивидуальным или групповым приводом рабочих валков.

4-х валковые клетки, кроме двух рабочих валков, осуществляющих обжатие металла, имеют два опорных валка, что позволяет повысить жесткость рабочих валков. Приводными являются рабочие валки. В зависимости от мощности привода используют один или два двигателя, соединенный механически на одном валу.

Шести, 12 и 20 валковые клетки, кроме двух рабочих валков, имеют 4,10,18 опорных валков, обеспечивающих высокую жесткость рабочих валков не только по вертикали. Такие клетки служат для прокатки тонкого металла толщиной менее 0,1мм. Приводными валками являются как рабочие, так и опорные валки при индивидуальном и групповом питании. Используются для станов холодной прокатки.

### *Требования предъявляемые к ЭП ПС.*

Производительность реверсивных станов во многом зависит от времени протекания переходных процессов главного привода рабочих валков и вспомогательных механизмов. Общее время прокатки слитка состоит из машинного времени, когда металл находится в валках, и времени пауз, определяемого продолжительностью работы вспомогательных механизмов для подготовки к очередному пропуску.

Средняя продолжительность пауз между отдельными пропусками 1,5-1,6с, средняя скорость захвата металла 1-4,5 рад/с и средняя скорость выброса 1-4,5 рад/с. Отсюда следует, что реверсирование главного привода после выхода слитка из валков и достижение скорости захвата за среднее время паузы, равное 1,5с, происходит со средним ускорением и замедлением 4-7 рад/с<sup>2</sup>.

Максимальное значение динамического момента на современных станах выбирают примерно равным  $M_n$  двигателя, что позволяет большую часть перегрузочного момента использовать на преодоление статического сопротивления, возникающего при обжати металла. В процессе разгона рекомендуется равноускоренный или равнозамедленный режим управления, интенсивность которого может изменяться автоматически при перегрузке ЭД.

Производительность ПС зависит не только от темпа прокатки и мощности ЭП, но и от согласованной и надёжной работы всех механизмов. Один из важнейших факторов, определяющих бесперебойную работу механизмов стана – надёжное электроснабжение.

Исходя из технологического процесса прокатки на реверсивных станах к системе электрического оборудования главного ЭП предъявляют следующие основные требования:

1. Минимальное время переходных процессов при заданном значении динамического тока;
2. Большая частота включений ЭД (больше 1000 в час);
3. Диапазон регулирования скорости 1:10;

4. Высокие перегрузочные способности приводного двигателя по току и моменту;

5. Высокая степень надёжности системы ЭП и системы электропитания (схема электропитания должна обеспечивать падение напряжения на более 10%).

В соответствии с требованиями для главного привода клетей реверсивных станов применяется ДПТ, скорость которых регулируется изменением напряжения на якоре и тока возбуждения. В зависимости от длины прокатываемой заготовки для обжимных станов характерны различные графики изменения скорости рабочих валков (рис.2). Треугольный график характерен для первых пропусков, когда слиток короткий и скорость двигателя при прокатке не успевает достигнуть номинального значения. Трапециидальный график скорости имеет место при прокатке средних по длине заготовок. Значение скорости обычно равно номинальному значению скорости. В последних пропусках, когда заготовка достигает значительной длины, для повышения скорости прокатки целесообразно снижать магнитный поток двигателя. Обычно двигатель разгоняется с постоянным динамическим током независимо от уровня магнитного поля двигателя. Поэтому по мере ослабления поля ускорение двигателя постепенно уменьшается. При расчётах принимают среднее значение ускорения при ослабленном поле.

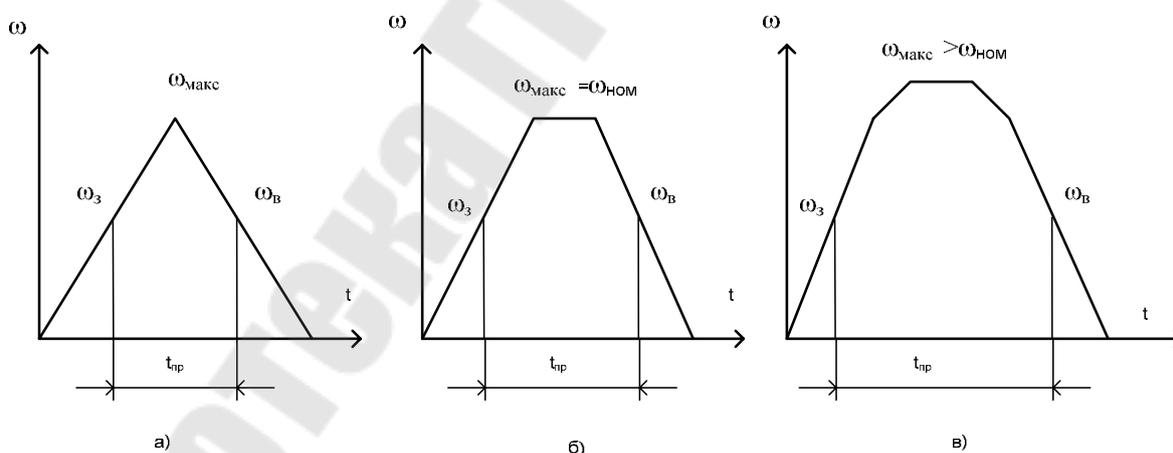


Рис.2

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СЛЯБИНГОМ (БЛЮМИНГОМ)

Слитки металла, нагретые в отделении нагревательных колодцев, подаются слитковозом на приемный рольганг, с которого передаются в нужный момент по промежуточному, переднему удлинительному и переднему рабочему рольгангам к валкам реверсивного обжимного стана (слябинга или блюминга). Слябинг служит для прокатки плоских заготовок – слябов, являющихся полуфабрикатами для листовых станов, а блюминг – для прокатки заготовок, являющихся полуфабрикатами для сортовых станов.

Конструктивно слябинг отличается от блюминга наличием помимо горизонтальных еще и вертикальных валков, называемых эджерными. Эджерные валки служат для формирования кромок сляба и получения сляба заданной ширины. Слитки в валки направляются с помощью линеек манипуляторов, расположенных по обе стороны от валков. Блюминг, прокатывающий квадратные блюмы, имеет валки, разделённые на калибры, а процесс прокатки осуществляется с кантовкой слитка, для чего передние линейки манипуляторов оборудованы кантователем. С помощью кантователя слиток поворачивается на  $90^\circ$  относительно своей оси, после чего обжатие слитка осуществляется по его ширине. Величина обжатия устанавливается изменением положения верхнего валка, поднимаемого и опускаемого механизмом нажимного устройства. Обжатие кромок слитка при прокатке сляба определяется положением нажимного устройства эджерных валков.

Важным моментом процесса прокатки является захват слитка валками, который происходит под действием сил трения.

Продвижение металла в зев валков осуществляется как за счет инерции движущегося слитка, так и за счет сил трения слитка о ролики рольганга, в результате чего создается осевое усилие. Захват металла валками будет происходить тем легче, чем меньше будет угол наклона касательной к валкам в точке их соприкосновения с гранями слитка. Это в свою очередь определяет лучшие условия захвата при большем соотношении диаметра валков и толщины слитка. Поэтому с целью улучшения захвата валки блюминга выполняют со ступенчатым изменением диаметра. Там, где прокатывается более толстая заготовка, валки имеют больший диаметр, и наоборот. Каждая секция

валка с одним диаметром отделена от другой выступающим буртом, образуя так называемые ручки или калибры.

Скорость вращения валков также оказывает существенное влияние на захват металла. Наилучшие условия захвата соответствуют наименьшей скорости валков, что, однако, связано со значительным увеличением времени прокатки и, следовательно, с уменьшением производительности. Чтобы обеспечить нормальный захват металла валками и в то же время сократить машинное время, валки блюминга (слябинга) приводятся во вращение регулируемые двигателями постоянного тока, что позволяет получить малую скорость во время захвата металла.

Большое значение имеет правильный выбор скорости выброса, т.е. скорости валков в момент выхода из них заднего конца прокатываемого слитка. Если эта скорость слишком велика, слиток будет по инерции отброшен от валков на большое расстояние и потребуются длительное время, чтобы рольганг возвратил его снова к валкам. Применение регулируемого привода позволяет решить и эту задачу. Торможение привода начинают, когда в валках остается небольшая длина непрокатанной части слитка, и к моменту выброса скорость валков достаточно снижается.

Число кантовок слитка определяется графиком обжатий. После окончания цикла прокатки слитка, т.е. завершения всех пропусков в соответствии с графиком обжатия, готовый блюм транспортируется рольгангами к ножницам, на которых осуществляется обрезка переднего – дефектного конца блюма. Дефектность этого конца определяется процессами разлива стали в изложницы и ее затвердения.

Помимо обрезки переднего конца ножницы режут весь блюм на мерные длины – заготовки для последующей обработки прокаткой. В зависимости от требований заказа заготовки могут резаться с большими или меньшими допусками, что в ряде случаев позволяет получить безотходный раскрой металла, т.е. последний раз обеспечивает получение заднего конца заданной длины, укладываемой в допуск. Порезанные на ножницах заготовки клеймятся и поступают на склад заготовок для распределения по станам.

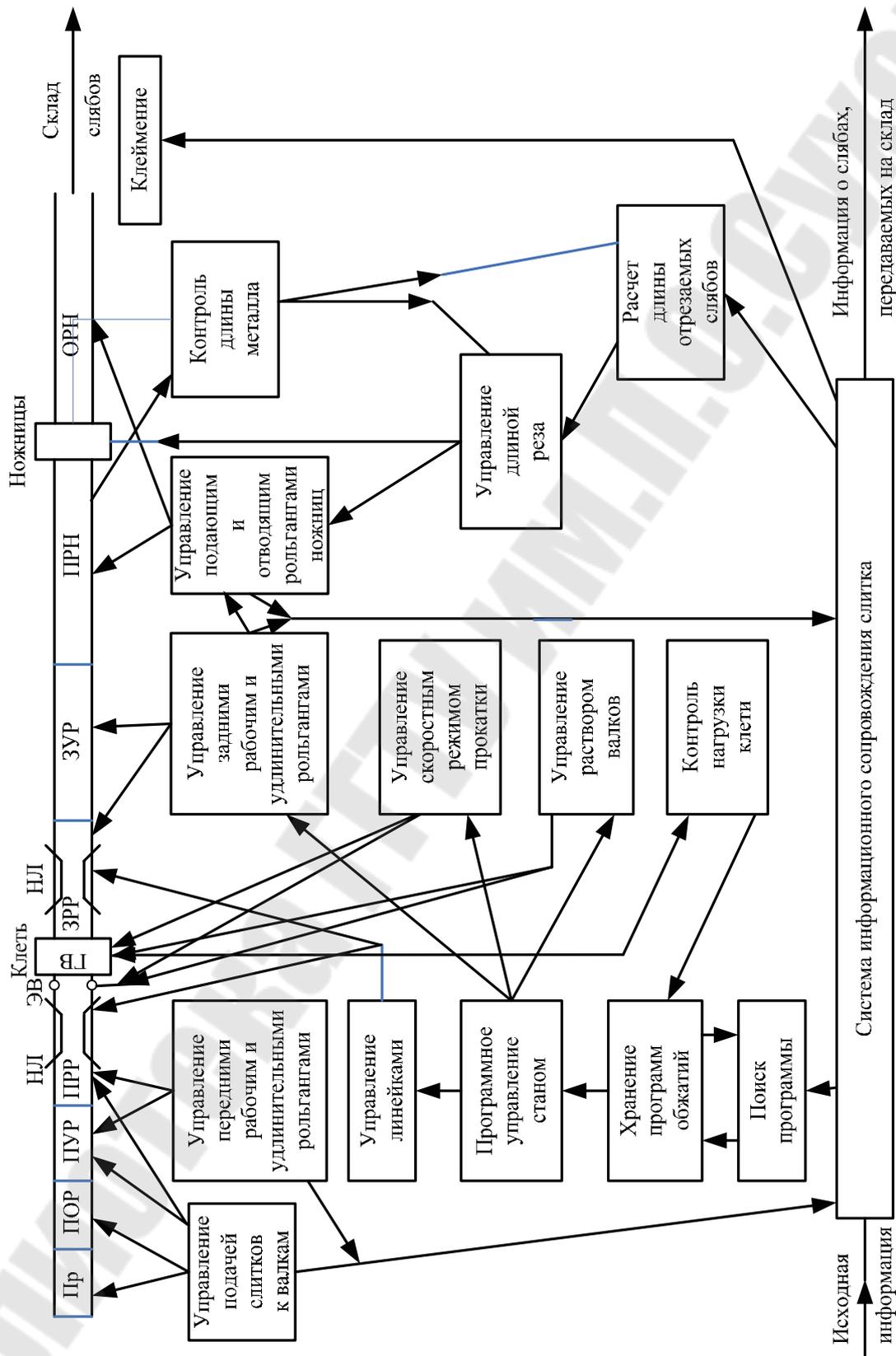


Рис. 3. Функциональная схема информационно-управляющей системы слябинга (блूमинга)

На рис. 3 приведена функциональная схема информационно-управляющей системы слябинга (блюминга), где ПР – приемный рольганг; ПОР – подающий рольганг; ПУР, ЗУР – передний и задний удлинительные рольганги; ПРР, ЗРР – передний и задний рабочие рольганги; ПРН, ОРН – подающий и отводящий рольганги; НЛ – направляющие линейки; ЭВ – эджерные валки; ГВ – горизонтальные валки.

Исходной информацией системы является информация, передаваемая вместе со слитком из отделения нагревательных колодцев и содержащая все необходимые данные для организации процесса прокатки (номер программы прокатки, конечные размеры заготовок и т.п.).

Так как на стане одновременно может находиться несколько слитков (один режется на ножницах, один прокатывается в валках, один ожидает на подающем рольганге и один — на приемном), то для своевременной передачи информации о каждом из слитков служит система информационного сопровождения слитков (СИС). Эта система одновременно (или даже несколько ранее) с передачей слитка к валкам блюминга подает в устройство поиска программы номер программы, по которой следует вести прокатку данного слитка, а при передаче уже прокатанного слитка к ножницам выдает в систему управления ножницами требуемую длину реза. Получив номер программы, устройство поиска программы обращается к носителю информации (например, на магнитной ленте), отыскивает программу с этим номером, которая задает величину растворов валков по пропускам, номера пропусков, в которых осуществляется кантовка слитка, положение линеек манипулятора (для блюминга) и скоростные режимы главного привода. Найденная программа поступает в промежуточную память, откуда для каждого очередного пропуска задаются растворы валков, автоматически устанавливаемые устройствами управления положением верхнего и эджерных валков, а также положение линеек манипулятора, обрабатываемое устройством управления линейками.

Система информационного сопровождения представляет собой логическую схему, получающую сигналы от датчиков положения металла (фотореле) располагаемых в соответствующих местах у рольгангов, клетки блюминга и ножниц. Эти датчики одновременно подают сигналы в системы управления подачей слитков к валкам, рабочими и удлинительными рольгангами, скоростным режимом главного привода, рольгангами ножниц к самим ножницам.

Система управления ножницами, получив данные о длине реза и об общей длине исходной заготовки, измеренной специальным измерительным устройством, рассчитывает в пределах допусков мерную длину реза, при которой будут иметь место минимальные отходы. Найденная расчетная мерная длина реза передается как задание в устройство управления ножницами и передвижным упором.

Информация о числе нарезанных из каждого слитка заготовок передается в СИС, которая обслуживает каждую заготовку. На рис. 3 приведена схема, в которой порезанный металл поступает после клеймения непосредственно на склад. Клеймение осуществляется по команде СИС, которая выдает код клейма, наносимого на каждую заготовку. Если за блюмингом находится непрерывный заготовочный стан, то СИС отслеживает за прохождением через стан каждой заготовки, задавая стану все настроечные параметры (положение нажимных устройств, скоростные режимы валков клетей), которые могут устанавливаться либо автоматически, либо вручную вальцовщиком. Число перестроек заготовочного стана обычно невелико, поэтому целесообразность установки системы автоматической настройки должна быть обоснована экономическим расчетом. СИС выдает также задание летучим ножницам, устанавливающее длину отрезаемых заготовок. Система управления летучими ножницами осуществляет не только поддержание скорости ножниц, но и обеспечивает отрезание переднего дефектного конца исходной заготовки и автоматическое установление таких длин отрезаемых заготовок, при которых обеспечивается безотходный раскрой металла.

*Программное управление нажимным устройством и линейками манипулятора.*

СИС слитка одновременно с перемещением слитка по рольгангам передает номер программы ( $N_{\text{пр}}$ ), по которой должен прокатываться слиток. В соответствии с номером программы из памяти хранения программ выбираются все данные, определяющие эту программу, для задания последовательности обжатия по пропускам, кантовок, перехода из одного калибра в другой и т.п. Все программы хранятся на магнитной ленте (МЛ) в порядке возрастания номеров, которые, таким образом, являются адресами мест хранения программ по длине МЛ. Запись всех данных каждой из программ осуществляется последовательно по пропускам, начиная с первого. Запись данных для каж-

дого пропуска производится многоразрядным кодом с выделением заранее известных групп разрядов для записи идентичных для всех пропусков данных. Например, первые 8 разрядов отведены для записи положения верхнего валка, девятый разряд – для записи операции кантовки (нуль в девятом разряде – отсутствие кантовки, единица – кантовка); десятый и одиннадцатый разряды – для записи положения линеек манипуляторов (нули по обоим разрядам соответствуют положению линеек против первого калибра; единица в десятом и нуль в 11 – положению линеек против второго калибра; нуль в 10 и единица в 11 – положению линеек против третьего калибра; единица по обоим разрядам – положение против четвертого разряда); разряды от 12 до 17 служат для записи номера пропуска. Помимо дорожек для записи данных программы имеют дорожки для записи адреса – номера программы. Магнитная лента с записанными программами и их адресами намотана на бобины, перемотка которых осуществляется реверсивным приводом. Пусть в какой-то момент времени в устройство поиска адреса поступил номер программы прокатки очередного слитка (рис. 4), а МЛ в это время расположена на обеих бобинах. В процессе предыдущего движения МЛ воспроизводящие головки (ВГ) считали адрес места остановки ленты и передали его в память устройства поиска адреса. Поступивший на вход этого устройства номер программы сравнивается с адресом, имеющимся в памяти, на основании чего определяется направление вращения привода бобины с МЛ. При совпадении номера программы и номера адреса лента остается неподвижной. Если же, например, номер программы больше номера адреса, то привод наматывает ленту на левую бобину и наоборот. В процессе перемотки ВГ считывают адреса и сравнивают их с номером заданной программы. В момент их совпадения соответствующие ВГ ключами К подсоединяются к электронным регистрам ЭР1...ЭР21. Число регистров равно максимальному числу пропусков, которое для схемы рис. 4 принято равным 21. Регистры выполняют роль оперативной памяти, в которой записываются все данные программы по всем пропускам, после чего привод МЛ останавливается. Во время считывания данных программы ее номер передается для хранения в электронный регистр ЭРС. Эта передача



осуществляется при совпадении кода считанного адреса  $N_A$  с кодом  $N_{\text{пр}}$  заданного номера программы, при котором с командного выхода  $N_A = N_{\text{пр}}$  выдается единица, замыкающая ключ  $K$  на входе в электронный регистр ЭРС. Переданный в ЭРС код адреса схемой совпадения  $СС$  сравнивается с кодом номера программы. Так как оба кода одинаковы, то на выходе  $СС$  будет нуль. Перед запоминанием других программ прокатки очередного слитка все регистры ЭР1 – ЭР21 промежуточной памяти должны быть погашены. Для этого используется единица, которая возникает на выходе  $СС$  при несовпадении кода адреса и кода номера программы.

Гашение регистров может осуществляться только после того, как начался последний пропуск прокатки предыдущего слитка, что контролируется с помощью элемента  $И$ , один вход которого через элемент  $НЕ$  соединен с выходом  $СС$ , а другой получает единицу после начала последнего пропуска и перехода схемы счета пропусков в исходное положение – положение первого пропуска П1.

Воспроизводящие головки, соответствующие разрядам, ответственным для записи номера пропусков, через электронные усилители ЭУВ подключены к декодирующей диодной матрице, преобразующей двоичный код в десятичный, и выдают единицу по одному из 21 выхода. Появление единицы на первом выходе матрицы определяет, при совпадении кода адреса  $N_A$  с кодом номера программы  $N_{\text{пр}}$ , появление единицы на выходе элемента  $И$ , управляющего ключом  $K$  в цепи электронного регистра ЭР1. Аналогичным образом управляются и ключи всех остальных регистров, что определяет запись в каждый из регистров данных программы, относящихся только к соответствующему пропуску.

Для счета числа пропусков в коде прокатки слитка служит электронный счетчик ЭСЧП, на вход которого подаются импульсы сигнала пропуска П (рис. 4). Переход счетчика ЭСЧП в новое состояние осуществляется передним фронтом импульса П, поэтому в момент начала очередного пропуска счетчик переходит в состояние, соответствующее очередному пропуску. Следовательно, в исходном положении перед началом прокатки очередного слитка счетчик должен находиться в первом положении, т.е. в счетчик уже должен поступить один импульс. Этот импульс поступает от формирователя импульсов ФИ 1, вход которого соединен с выходом элемента ИЛИ 2, подключенного ко всем разрядам счетчика. В момент гашения ЭСЧП по всем его разрядам появляются нули, в результате чего на выходе элемента

ИЛИ 2 единица сменится на нуль. Это вызывает появление кратковременного импульса на выходе ФИ 1, с которого импульс через элемент ИЛИ 1 подается на вход счетчика, переводя его из нулевого положения в первое. Счетчик ЭСЧП соединен с декодирующей диодной матрицей, преобразующей двоичный код в десятичный и выдающей единицу по одному из выходов матрицы (всего их 21), управляющих ключами К считывания электронных регистров ЭР1...ЭР21. Первый выход П1 диодной матрицы управляет ключом регистра ЭР1, второй выход П2 – ключом ЭР2 и т.д. Таким образом, начало очередного пропуска, вызывая переход счетчика числа пропусков в новое положение, обеспечивает считывание данных, являющихся заданием для механизмов линеек манипулятора, кантователя и нажимного устройства в следующем пропуске. Выполнение этих заданий осуществляется только после окончания пропуска, т.е. при  $\Pi = 0$ . После того, как будет начат последний пропуск, ЭСЧП должен вернуться в исходное положение, что достигается гашением счетчика, осуществляемым в момент, когда на выходе элемента ИЛИ 0 единица сменится на нуль и формирователь ФИЗ подаст кратковременный импульс на вход (Г) гашения ЭСЧП. Элемент ИЛИ 0 подключен к разрядам выходных цепей схемы, определяющих задание положения верхнего валка, и на его выходе появляется нуль только в том случае, если задание отсутствует. Пусть, например, в программе имеется всего одиннадцать пропусков, – начало последнего (одиннадцатого) пропуска вызовет появление единицы на двенадцатом выходе декодирующей матрицы ЭСЧП и замыкание ключа, соединяющего выходные цепи схемы с регистром ЭР 12, в котором ничего не записано, т.е. по всем разрядам присутствуют нули. Появление нулей на выходных цепях схемы вызовет гашение ЭСЧП и последующий его переход в положение П1.

Если число пропусков в программе равно 21, то начало двадцать первого пропуска приведет к размыканию ключа в цепи связи ЭР 21 с выходными цепями схемы, на которых никакого кода присутствовать не будет, и на выходе ИЛИ 0 также появится нуль.

На рис. 5. приведена схема счета числа пропусков, поясняющая принцип работы декодирующей диодной матрицы. Для числа пропусков, не превышающих 21, число разрядов электронного счетчика ЭСЧП должно быть равно пяти. Выходы прямого и обратного кодов счетчика через заградительные диоды VD подключены на вертикальные шины матрицы, заземленные через

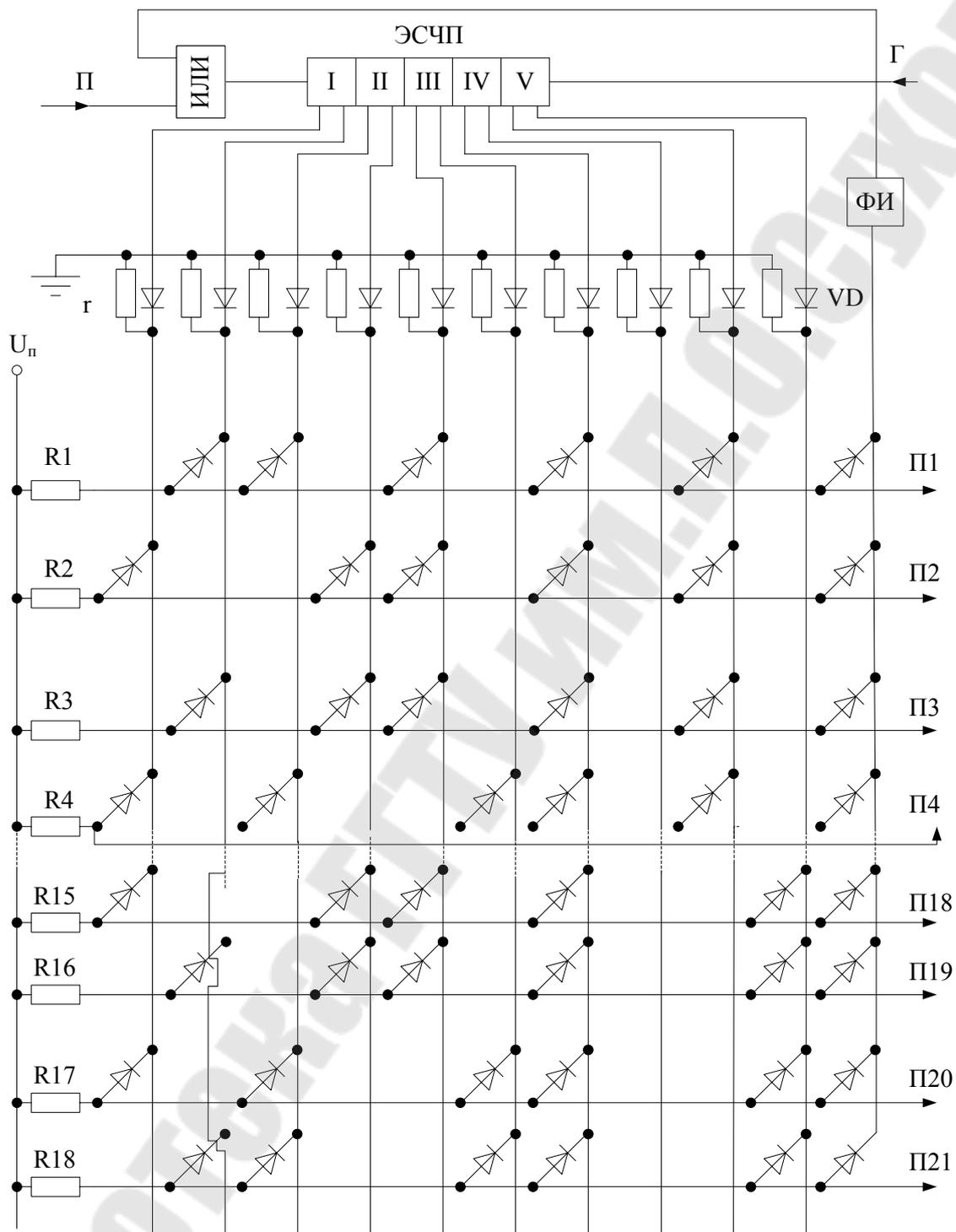


Рис. 5

сопротивления  $r$ . Таким образом, если, например, с данного разряда в обратном коде снимается единица, то через соответствующее сопро-

тивление  $r$  течет ток, создающий на нем падение напряжения  $U_r$ . Все горизонтальные шины через сопротивления  $R$  подсоединены к источнику питания  $U_{\Pi}$ . Эти шины в определенном порядке соединены с вертикальными шинами через диоды, обеспечивающие возможность протекания тока через сопротивление  $R$  от источника  $U_{\Pi}$ .

Рассмотрим соединение вертикальных шин с первой горизонтальной шиной, образующей выход П1. Пусть ни на одной из вертикальных шин не будет напряжения, тогда через все диоды, соединяющие эти шины с первой горизонтальной шиной, будут проходить токи, определяемые величиной напряжения  $U_{\Pi}$  и общим сопротивлением  $R+r$  в цепи каждого диода. Легко видеть, что напряжение выхода П1 относительно земли будет равно падению напряжения на сопротивлении  $r$

$$U_{\text{П1}} = r \frac{U_{\Pi}}{r + 5R}.$$

Поскольку  $r \ll R$ , то это падение напряжения будет незначительным и его можно принять равным нулю. Очевидно, что на выходе П1 полное напряжение будет в том случае, если через все сопротивления  $r$  в цепях диодов первой горизонтальной шины будут проходить токи с выходов соответствующих ячеек счетчика. Согласно изложенному, на выходе П1 будет единица в том случае, если снимается: по выходу обратного кода 11110, по выходу прямого кода 00001.

Аналогичным образом найдем, что П2 = 1 при прямом коде 00010, П3 = 1 при 00011 и т.д. Для того, чтобы счетчик не попадал в нулевое положение, все горизонтальные шины объединены через заградительные диоды и связаны с формирователем ФИ, выдающим кратковременный импульс в момент исчезновения единицы на его выходе. Этот импульс, как уже указывалось выше, через элемент ИЛИ подается на вход счетчика.

Задаваемые в соответствии с программой положения верхнего валка и линеек манипуляторов перед каждым пропуском автоматически обрабатываются соответствующими следящими системами. Эти системы выполняются цифровыми, поскольку задания им выдаются в виде цифрового двоичного кода. В следящей системе осуществляется непрерывное вычисление величины ошибки – разности между заданным и текущим положением механизма. Измерение текущего положения в цифровых системах осуществляется с помощью так называемого преобразователя вал – цифра вырабатывающего код положения, например, расстояние между верхним и нижним валками стана, или

положения линейки – относительно ее крайнего исходного положения.

Существует большое число конструкций преобразователей вал – цифра. На рис. 6 а приведен преобразователь, представляющий собой набор зубчаток, сидящих на одном валу и отличающихся друг от друга шагом зубьев. Первая зубчатка имеет наименьший шаг зуба и, следовательно, наибольшее число зубьев; вторая имеет шаг в два раза больший, чем первая; третья – в два раза больше, чем вторая, и т.д. Число таких зубчаток определяется требуемой точностью преобразования углового перемещения вала в код. Ось с зубчатками через редуктор связана с механизмом, положение которого требуется измерить. Над каждой из зубчаток расположены жестко закрепленные в держателе головки датчика, реагирующие на величину воздушного зазора между ними и телом зубчатки.

Головка – датчик представляет собой разомкнутый магнитопровод с двумя обмотками, одна из которых питается напряжением переменного тока, а вторая – измерительная – служит для снятия наведенного в ней напряжения (схема магнитных цепей головки датчика приведена на рис. 6 б). Для уменьшения напряжения, наводимого во вторичной обмотке при протекании по первичной намагничивающего тока  $i_n$ , при положении головки между зубцами (магнитное сопротивление нижней части магнитопровода максимально) вторичная обмотка выполняется секционной.

Когда зуб проходит под головкой, резко уменьшается магнитное сопротивление нижней части магнитопровода и увеличивается напряжение, наводимое в нижних секциях обмотки при одновременном уменьшении напряжения в верхних секциях.

Так как шаг зуба каждой последующей зубчатки в два раза больше предыдущего, то совокупность значений напряжений, снимаемых со всех головок, представляет собой двоичный код угла поворота оси зубчаток относительно такого положения этой оси, при котором все головки дают напряжение, близкое нулю (т.е. все головки находятся между зубьями). Такой преобразователь вал – цифра весьма сложно выполнить для большого числа разрядов, поскольку шаг зуба увеличивается в  $2^n$  раз (где  $n$  – число разрядов). Так, для девяти разрядов шаг зуба зубчатки первого разряда должен быть в



на одной оси, а оси связывают между собой дискретной передачей (передачей, в которой последующая зубчатка перемещается на один зуб, когда предыдущая сделает полный оборот. Такие передачи применяются в электрических счетчиках, счетчиках-спидометрах и др.).

Вычитание кода  $N_T$ , снимаемого с преобразователя вал-цифра, из кода задания  $N_3$  может осуществляться либо в арифметическом устройстве – многоразрядном сумматоре, либо в цифроаналоговом преобразователе – сумматоре. На рис. 7 приведена схема следящей системы с цифроаналоговым преобразователем – сумматором ЦАПС, на вход которого также подается напряжение, пропорциональное расчетному пути торможения  $S_r$  привода механизма. Для привода постоянного тока, схема управления которого имеет обратную связь по току силовой цепи, момент, развиваемый двигателем в процессе разгона и торможения, поддерживается неизменным, что определяет постоянство величины ускорения и замедления привода, если отсутствует момент статического сопротивления. Если же  $M_c$  не равен нулю, то замедление привода  $a_3$  пропорционально сумме моментов, а ускорение  $a_p$  – их разности:

$$a_3 = K(M + M_c); \quad a_p = K(M - M_c).$$

Так как величина  $M$  – момента двигателя заранее известна (определяется настройкой схемы управления приводом), то в процессе разгона, определив величину ускорения, легко найти и величину момента статического сопротивления

$$M_c = M - \frac{a_p}{K}.$$

Величина ускорения может быть найдена как приращение частоты вращения  $\Delta n_p$  за некоторый фиксированный интервал времени

$$a_p = K_1 \frac{\Delta n_p}{\Delta \tau}.$$

Проведя подстановку, найдем замедление

$$a_3 = 2KM - K_1 \frac{\Delta n_p}{\Delta \tau}.$$

Если начальная частота вращения была  $n_0$ , то путь торможения привода

$$S_r = \frac{a_3 \tau_r^2}{2} = \frac{K_2^2 n_0^2}{2a_3}$$

или

$$S_r = \frac{K_2^2 n_o^2}{4KM - 2K_1 \frac{\Delta n_p}{\Delta \tau}}.$$

Как следует из схемы рис. 7, вычисление величины  $S_r$  осуществляется с помощью делителя, на один вход которого подается напряжение, пропорциональное квадрату частоты вращения, а на другой – напряжение с выхода суммирующего звена СЗ, вычисляющего разности

$$4KM - 2K_1 \frac{\Delta n_p}{\Delta \tau}.$$

Для получения напряжения, пропорционального квадрату частоты вращения, в схеме рис. 7 используется два каскадно соединенных тахогенератора BR1 и BR2. Тахогенератор BR1 дает напряжение, прямо пропорциональное частоте вращения  $n$  привода  $U_1 = c_1 n$ , служащее для питания обмотки возбуждения BR2. Напряжение  $U_2$ , снимаемое с BR2, прямо пропорционально частоте вращения якоря  $n$  и величине тока возбуждения  $i$ , т.е.

$$U_2 = c_2 \cdot i \cdot n.$$

В свою очередь,

$$i = \frac{U_1}{r_2} = \frac{c_1}{r_2} n,$$

где  $r_2$  – сопротивление обмотки возбуждения BR2.

Таким образом,

$$U_2 = \frac{c_2 c_1}{r_2} n^2.$$

Измерение ускорения привода осуществляется путем запоминания величины напряжения тахогенератора BR1, которое достигается через время  $\Delta \tau$  от момента начала разгона. Отсчет времени  $\Delta \tau$  осуществляется с помощью интегрирующего звена ИЗ, к выходу которого подключено реле напряжения РН, имеющее напряжение срабатывания  $U_{\Delta \tau}$ . В момент начала разгона привода и появления напряжения на BR1 срабатывает реле нулевой скорости РНС, замыкающее ключ К на входе ИЗ. При замыкании этого ключа начинается нарастание напряжения на выходе ИЗ. Когда это напряжение достигнет величины  $U_{\Delta \tau}$ , срабатывает реле РН, вызывая через элемент НЕТ размыкание ключа на входе блока памяти БП, которое «помнит» (сохраняет) значение напряжения тахогенератора BR1.

Команда на разгон и торможение двигателя Д привода подается в систему управления СУД двигателя с выхода цифроаналогового преобразователя – сумматора ЦАПС в соответствии со знаком выходного напряжения  $\Delta U$ . Отработка этой команды осуществляется только после завершения очередного пропуска, что достигается наличием ключа в командной цепи СУД, управляемого через элемент НЕТ по сигналу П.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение системы информационного сопровождения слитка.
2. Как осуществляется прокатка металла на слябинге?
3. Что определяет программа прокатки металла?
4. Как осуществляется захват слитка валками?
5. Какая информация записана в каждом из рядов кода записи данных для пропуска металла?
6. Как осуществляется прокатка металла на блюминге?
7. Как осуществляется поиск необходимой программы, записанной на магнитной ленте?
8. Как влияет скорость вращения валков на захват и выброс металла?
9. Назначение электронного счетчика ЭОПЧ.
10. Назначение системы управления ножницами.
11. Принцип действия декодирующей матрицы.
12. Назначение электронных регистров ЭР.
13. Принцип действия преобразователя вал-цифра.
14. Как осуществляется гашение электронных регистров ЭР?
15. Как в схеме рис. 7 формируется сигнал, пропорциональный квадрату частоты вращения двигателя?
16. Как осуществляется гашение счетчика ЭСЧП, если число пропусков в программе меньше 21?
17. Как в схеме рис. 7 изменяется ускорение привода?
18. Назначение элемента ИЛИ 0.
19. Как в схеме рис. 7 формируется сигнал, пропорциональный расчетному пути торможения?
20. Назначение элементов ИЛИ 1 и ИЛИ 2.

21. Принцип действия головки датчика преобразователя вал-цифра.
22. Как формируется единица на выходе П18 декодирующей матрицы (рис. 5)?
23. Принцип действия следящей системы с цифроаналоговым преобразователем.
24. Как осуществляется гашение счетчика ЭСЧП, если число пропусков в программе равно 21?

### Лабораторная работа №2

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД БАРАБАННЫХ МОТАЛОК И РАЗМАТЫВАТЕЛЕЙ

В современных прокатных станах применяются моталки и разматыватели для сматывания в рулоны листов и ленты при холодной прокатке, при горячей прокатке, при различных непрерывных технологических процессах обработки листов (например, на линиях непрерывного травления).

На рис. 8 приведены технологические схемы станов холодной прокатки: а) непрерывного стана; б) реверсивного стана.

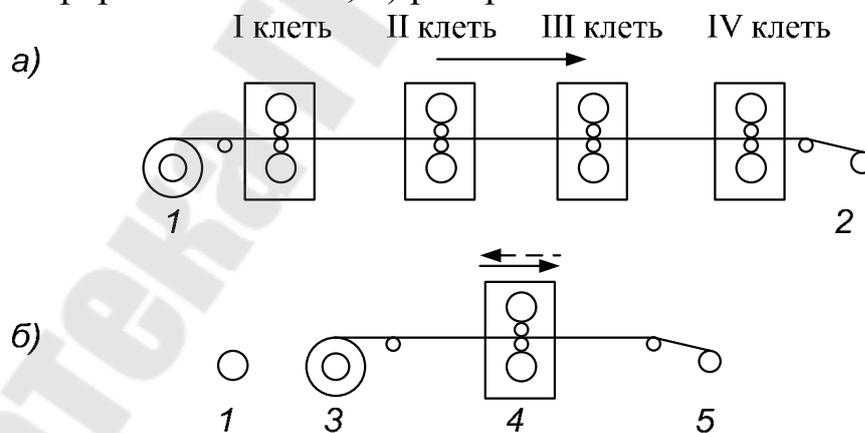


Рис. 8

На непрерывных станах используется разматыватель 1, с которого сматывается рулон металла, предназначенный для прокатки, и моталка 2, установленная в конце стана, для наматывания листа после прокатки.

Реверсивные станы холодной прокатки выполняются одно-клетьевыми (рис. 8 б). Прокатка полосы производится в несколько

пропусков при реверсировании рабочих валков клетки. С обеих сторон реверсивного стана установлены моталки: входная – 3 и выходная – 5. Причем в одном направлении одна моталка работает в качестве наматывающей, а другая – в качестве разматывающей. При изменении направления прокатки роли моталок меняются. Реверсивный стан холодной прокатки на входной стороне кроме моталки имеет еще и разматыватель 1, с которого заправляется в рабочую клетку рулон металла, предназначенный для прокатки.

Высококачественный холоднокатаный лист может быть получен только при прокатке с натяжением. Чем больше натяжение, тем качественнее прокатанная полоса. Натяжение при холодной прокатке необходимо также для того, чтобы предотвратить образование петель и перекоса полосы, а также уменьшить усилие, действующее при прокатке на валки и станину клетки.

Натяжение полосы, в особенности между последней клетью и моталкой, оказывает существенное влияние на толщину прокатываемого металла. При изменении натяжения меняется и толщина листа. Для получения листа с допустимой неравномерностью толщины необходимо при постоянной скорости прокатки поддерживать неизменным натяжение полосы.

В процессе намотки полосы на барабан увеличивается диаметр рулона. При постоянной угловой скорости моталки с увеличением диаметра рулона растет скорость намотки, а следовательно, и натяжение полосы. Для сохранения в процессе намотки постоянства натяжения полосы следует с увеличением диаметра рулона уменьшать угловую скорость барабана моталки так, чтобы линейная скорость намотки оставалась неизменной. В процессе же разматки диаметр рулона уменьшается, поэтому для сохранения неизменной линейной скорости разматки следует увеличивать угловую скорость двигателя.

Моталки современных станов холодной прокатки приводятся во вращение индивидуальными ЭД постоянного тока независимого возбуждения. Для поддержания заданного натяжения между клетью и моталкой, клетью и разматывателем применяются замкнутые САР с воздействием обычно на магнитный поток двигателя. Регулируемой величиной является непосредственно измеряемое натяжение или косвенная величина, имеющая функциональную связь с натяжением. Пределы изменения потока двигателя при этом должны быть равны пределам изменения диаметра рулона.

Двигатели моталок и разматывателей питаются от индивидуальных генераторов, которые обеспечивают регулирование скорости двигателей, необходимое для изменения скорости прокатки.

Скорость прокатки, а следовательно, и намотки полосы на современных станах весьма велика и достигает 15 м/с для трехклетевых станов и до 35 м/с и выше – для пятиклетевых станов.

*Основные принципы регулирования натяжения полосы между клетью и моталкой (разматывателем)*

Непосредственное изменение величины натяжения полосы между клетью и моталкой связано со значительными техническими трудностями. Поэтому в настоящее время наибольшее распространение получили косвенные схемы регулирования натяжения, построенные на принципах измерения и регулирования пропорциональных натяжению мощности, тока якоря ЭД моталки или его ЭДС. При этом предполагается постоянство скорости прокатки полосы.

Обозначим  $T$  – натяжение полосы;  $v$  – линейная скорость намотки;  $P$  – мощность двигателя моталки;  $I$  – ток двигателя моталки;  $\eta$  – КПД привода моталки.

Мощность двигателя моталки при наматывании полосы

$$P = \frac{T \cdot v}{1000 \cdot \eta}$$

Отсюда

$$T = 1000 \cdot \eta \cdot \frac{P}{v} = f(P) \quad (2.1)$$

Если принять, что

$$P = U \cdot I = (E_{\text{дв}} + IR_{\text{я}}) \cdot I$$

то

$$T = 1000 \cdot \eta \cdot \frac{U}{v} \cdot I = f(I) \quad (2.2)$$

или

$$T = 1000 \cdot \eta \cdot \frac{E_{\text{дв}} + IR_{\text{я}}}{v} \cdot I = f(E_{\text{дв}}, I) \quad (2.3)$$

Из уравнений (2.1), (2.2), (2.3) следует, что натяжение полосы можно регулировать, замеряя мощность  $P$ , ток  $I$  или одновременно ЭДС двигателя  $E$  и ток  $I$ .

## Токовый регулятор натяжения

Упрощенная схема токового регулятора натяжения изображена на рис. 9.

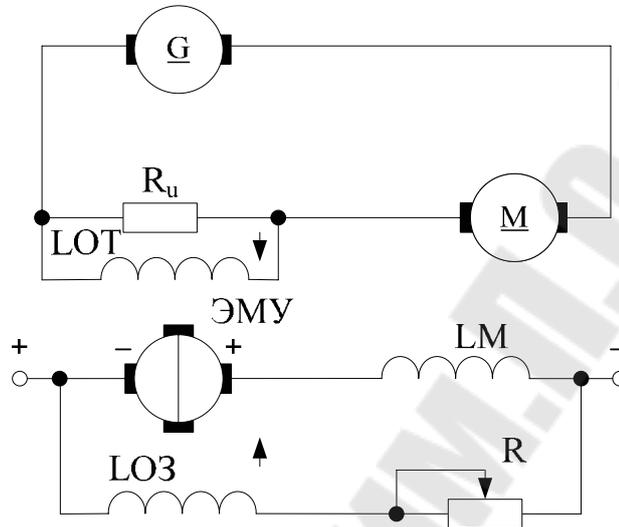


Рис. 9

Регулятор поддерживает постоянство натяжения полосы за счет поддержания на постоянном уровне тока двигателя моталки путем воздействия на магнитный поток двигателя.

Двигатель моталки М получает питание от отдельного генератора G. Последовательно с обмоткой возбуждения LM двигателя моталки включен электромашинный усилитель в качестве вольтодобавочного генератора. Одна из обмоток ЭМУ используется в качестве задающей (LO3); ее н.с.  $F_3$  определяет величину начального натяжения полосы. Вторая обмотка ЭМУ, так называемая токовая обмотка (LOT), включена на падение напряжения в измерительном сопротивлении  $R_u$  от тока якоря двигателя и ее н.с.  $F_T$  пропорциональна току двигателя М.

Величина и полярность напряжения на зажимах ЭМУ определяется соотношением н.с. обмоток управления, т.е. величиной результирующей н.с.  $F_\Sigma$

$$F_\Sigma = F_T - F_3$$

Рассмотрим работу схемы при намотке металла, т.е. при увеличении диаметра рулона. В этом случае при постоянной угловой скорости ЭД моталки возрастает линейная скорость намотки и натяжения полосы. Это приведет к увеличению мощности на валу двигателя мо-

талки  $M$ , а следовательно, и тока, потребляемого двигателем, увеличится н.с. токовой обмотки  $F_T$ , увеличится напряжение ЭМУ, возрастет магнитный поток двигателя  $M$  и уменьшится его угловая скорость.

В результате увеличения натяжения полосы и тока главной цепи ограничиваются так, что их с некоторой степенью точности можно считать постоянными. Точность поддержания постоянства тока зависит от коэффициента усиления ЭМУ и параметров схемы.

Токовый регулятор, выполненный по схеме рис.2.2, имеет большую статическую ошибку регулирования. Поэтому для современных станов с большим изменением диаметра намотки применяются двухкаскадные схемы регуляторов.

### *Регулятор натяжения в функции ЭДС двигателя моталки*

На рис. 10 приведена схема регулятора натяжения в функции ЭДС двигателя моталки. В этой схеме регулирование осуществляется посредством ЭМУ, одна из обмоток которого (ЛОН) включена на напряжение якоря двигателя, а вторая (ЛОТ) – на падение напряжения в сопротивлении  $R_u$  от тока якорной цепи.

Суммарная н.с. обмоток ЛОН и ЛОТ

$$F_{H-T} = F_H - F_T$$

Параметры подобраны таким образом, что  $F_{H-T}$  пропорциональна ЭДС якоря двигателя.

Навстречу этой намагничивающей силе действует н.с. задающей обмотки  $F_3$ , которая включена на зажимы тахогенератора ВРК, сочлененного с валом двигателя клетки. Н.с. задающей обмотки ЭМУ пропорциональна скорости прокатки и, следовательно, заданному значению ЭДС двигателя моталки.

При минимальном диаметре намотки по обмотке возбуждения двигателя моталки протекает наименьший ток возбуждения и двигатель развивает максимальную скорость. С увеличением диаметра рулона и связанного с этим увеличением натяжения полосы происходит увеличение тока в якорной цепи двигателя моталки и снижение напряжения на его зажимах. Результирующая н.с. ЭМУ при этом возрастает, что обеспечивает рост напряжения на якоре ЭМУ и, следовательно, увеличение тока возбуждения электродвигателем ДМ. Таким образом, регулятор осуществляет изменение тока возбуждения элек-

тродвигателя моталки с изменением диаметра рулона, поддерживая постоянным значение ЭДС якоря.

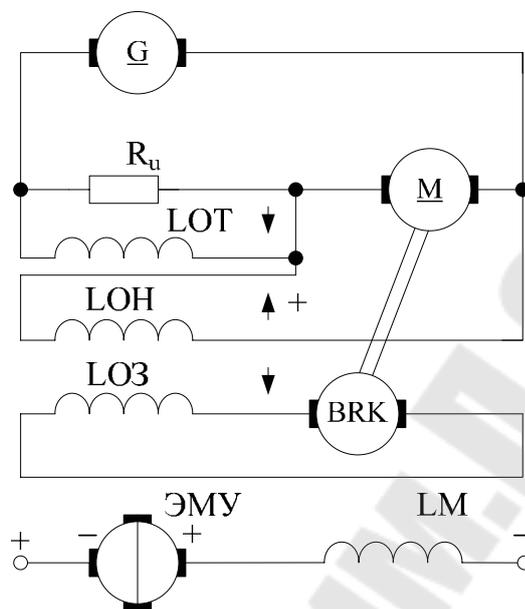


Рис. 10

### *Регулятор натяжения в функции мощности*

На рис. 11 приведена схема регулятора натяжения в функции мощности. Обмотка возбуждения генератора LG подключена на зажимы электромашинного усилителя ЭМУ, имеющего три обмотки управления. Управляющая обмотка LOY включается на разность напряжений тахогенераторов клетки BRK и моталки BRM. Последний является тахометрическим датчиком мощности. В качестве тахогенератора BRM используется машина постоянного тока небольшой мощности, жестко соединенная с валом двигателя моталки M. Обмотка возбуждения LOBRM включается на напряжение, снимаемое с измерительного сопротивления  $R_6$ . Следовательно, ток возбуждения этой машины пропорционален току якоря двигателя моталки. Тогда ЭДС машины BRM будет пропорциональна произведению угловой скорости моталки на ток якоря  $I_{я}$

$$E_{BRM} \equiv \omega \cdot I_{я}$$

Двигатель моталки работает с постоянным магнитным потоком, поэтому

$$E_{BRM} \equiv \omega \cdot I_{я} \equiv \omega \cdot M \equiv P_{ЭЛ}$$

где  $P_{ЭЛ}$  - электромагнитная мощность двигателя моталки.

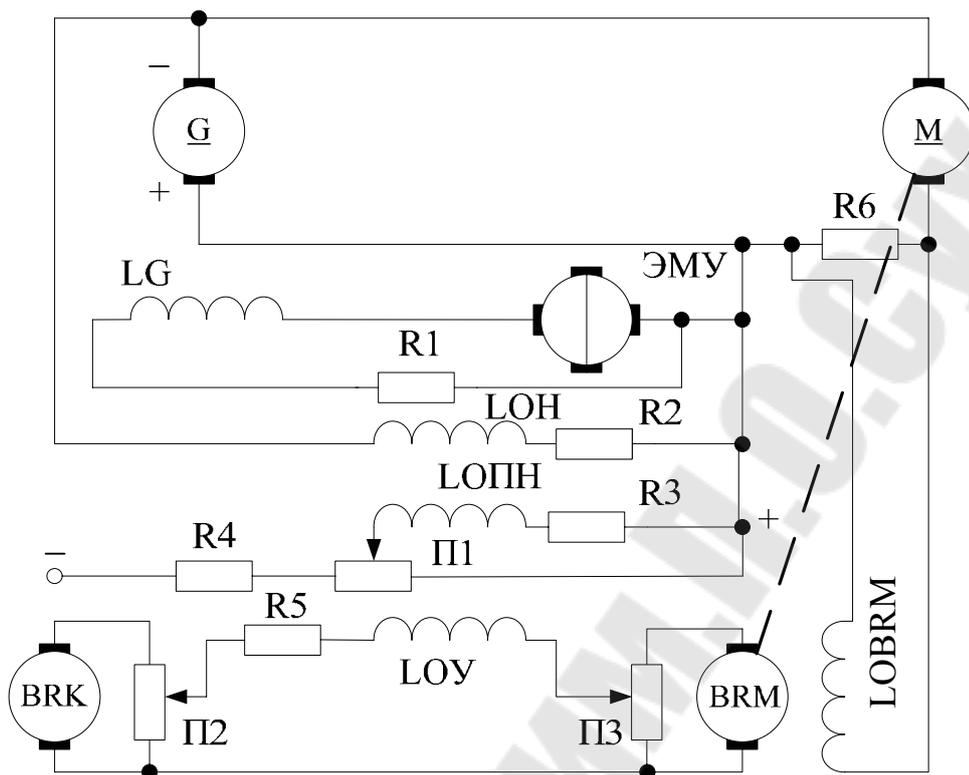


Рис. 11

Н.с. управляющей обмотки LOУ и, следовательно, ЭДС ЭМУ пропорциональны разности напряжений, соответствующих заданной электромагнитной мощности двигателя моталки ( $E_{BRM}$ ) и реальной электромагнитной мощности ( $E_{BRK}$ ).

При отклонении натяжения от заданной величины изменяется ЭДС тахогенератора моталки BRM. Т.к. ЭДС тахогенератора клетки BRK при неизменной скорости прокатки постоянна, то изменение ЭДС тахогенератора BRM вызовет пропорциональное изменение н.с. управляющей обмотки LOУ. В результате на зажимах генератора G появится дополнительное напряжение того или иного знака, ограничивающее отклонение натяжения полосы.

Для создания натяжения при неподвижном стане используется обмотка предварительного натяжения LOПН усилителя ЭМУ.

Обмотка LOH осуществляет обратную связь по напряжению генератора.

Рассмотрим наиболее распространенную в настоящее время схему ЭП моталок (разматывателей).

*Схема регулирования с замером тока и ЭДС двигателя  
(а статический регулятор тока)*

В схеме производится одновременно регулирование двух величин: тока двигателя моталки с воздействием на напряжение генератора (регулятор тока) и ЭДС двигателя с воздействием на магнитный поток двигателя (регулятор ЭДС).

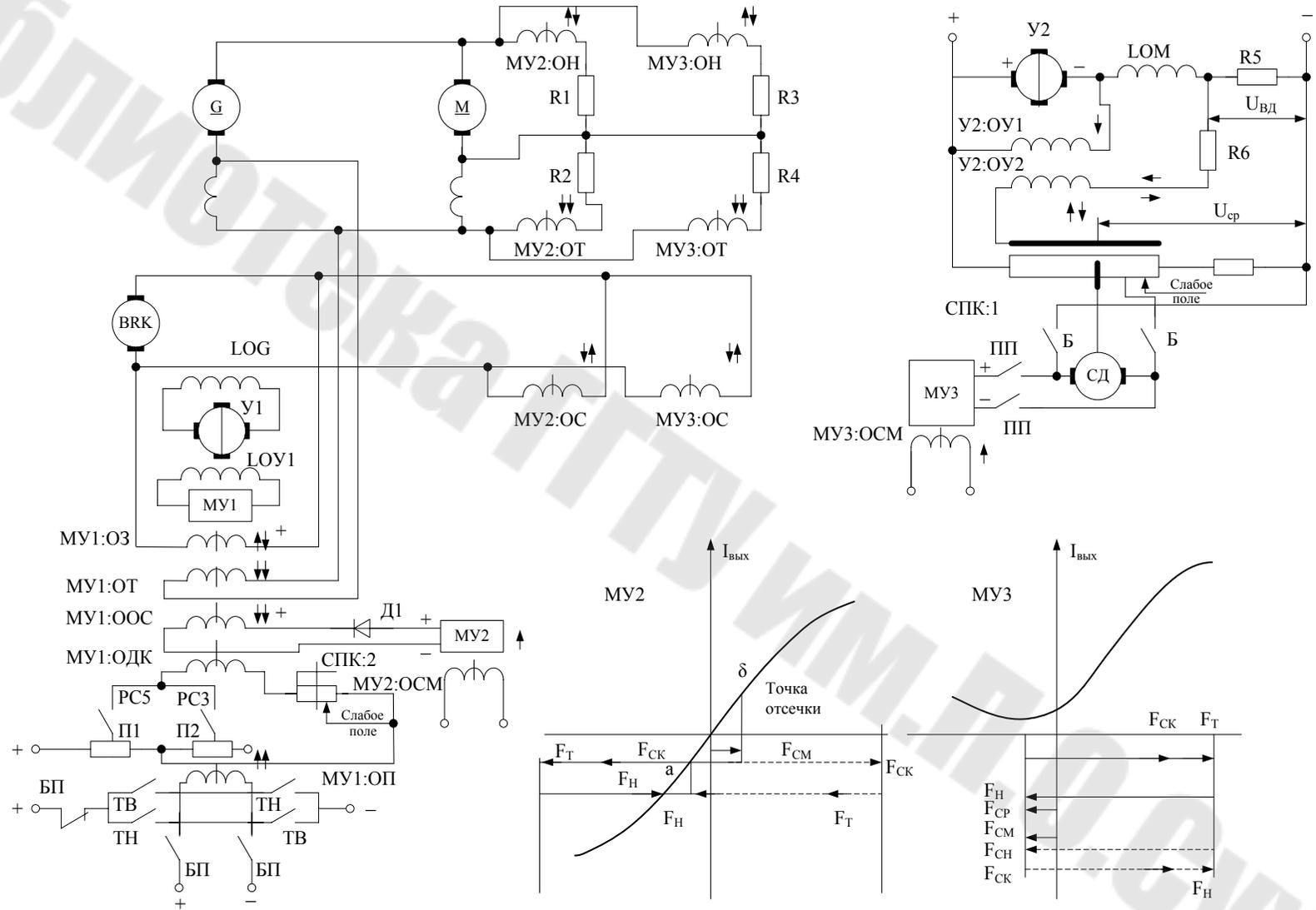
В этой схеме (рис. 12) обмотка возбуждения генератора LOG питается от электромашинного усилителя У1, а обмотка возбуждения У1 – от магнитного усилителя МУ1. Усилитель имеет пять обмоток управления: 1) обмотку “покоя” – МУ1:ОП, используемую также и в толчковом режиме; 2) обмотку компенсации динамической составляющей тока – МУ1:ОДК; 3) обмотку ограничения скорости при обрыве полосы – МУ1:ООС; 4) токовую обмотку – МУ1:ОТ; 5) задающую обмотку – МУ1:ОЗ, подключенную на напряжение тахогенератора двигателя последней клетки ВРК.

Обмотка ограничения скорости при обрыве – МУ1:ООС получает питание от магнитного усилителя МУ2, имеющего четыре обмотки управления: 1) обмотку скорости – МУ2:ОС, подключенную на напряжение тахогенератора двигателя последней клетки ВРК; 2) токовую обмотку – МУ2:ОТ; 3) обмотку напряжения – МУ2:ОН; 4) обмотку смещения – МУ2:ОСМ. Направление действия этих обмоток показаны на статической характеристике МУ2, изображенной на рис.12.

Обмотка возбуждения двигателя моталки LOM получает питание от разности напряжений: напряжение оперативной цепи и напряжение электромашинного усилителя У2. Усилитель У2 имеет две обмотки: обмотку отрицательной обратной связи У2:ОУ1 и обмотку управления – У2:ОУ2. Обмотка управления – У2:ОУ2 получает питание от разности напряжений: напряжение  $U_{ВД}$ , пропорционального току возбуждения двигателя, и напряжения сравнения  $U_{ср}$ , снимаемого с потенциометра и регулируемого с помощью секции плоского контроллера СПК:1. Траверса контроллера СПК перемещается серводвигателем СД, который управляется магнитным усилителем МУ3. Усилитель МУ3 имеет четыре обмотки управления: 1) обмотку скорости – МУ3:ОС; 2) токовую обмотку – МУ3:ОТ; 3) обмотку напряжения – МУ3:ОН; 4) обмотку смещения – МУ3:ОСМ.

БИБЛИОТЕКА ЦТЭ ИМ. П. П. ОУЖОГО

Рис. 12



F

На рис.13 изображена схема плоского контроллера. Плоский контроллер состоит из сопротивления, разбитого на элементы, концы которых выведены к контактам, расположенным в одной плоскости. Траверса 1 перемещается по ходовому винту 2, который приводится во вращение через червячную передачу серводвигателем СД.

При перемещении траверсы меняется напряжение, снимаемое с плоского контроллера. Плоский контроллер, используемый в данной схеме, имеет две секции, управляемые одной и той же траверсой.

В процессе намотки полосы увеличивается диаметр рулона, в связи с этим скорость наматывания полосы стремится повыситься, что, в свою очередь, приводит к увеличению натяжения и тока двигателя моталки. С увеличением тока двигателя возрастает н.с. обмотки – МУ1:ОТ, которая вызывает снижение ЭДС генератора, ЭДС двигателя и ограничение роста тока двигателя. Разность намагничивающих сил обмотки напряжения – МУ3:ОН ( $F_H$ ) и токовой обмотки – МУ3:ОТ ( $F_T$ ) выбирается так, чтобы она была пропорциональна ЭДС двигателя. Эта разность намагничивающих сил сравнивается с н.с. обмотки скорости – МУ3:ОС ( $F_{СК}$ ), подключенной на напряжение тахогенератора двигателя последней клетки. При равенстве сравниваемых величин намагничивающих сил напряжение выхода усилителя МУ3 равно нулю и серводвигатель с траверсой плоского контроллера СПК неподвижен.

Снижения ЭДС двигателя в процессе намотки вызывает разбаланс н.с. усилителя МУ3, что приводит к появлению напряжения на выходе усилителя МУ3, при этом серводвигатель поворачивается и перемещает траверсу СПК влево.

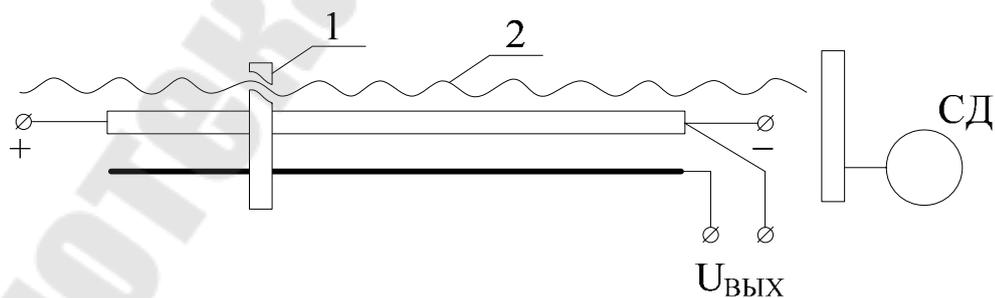


Рис. 13

Траверса плоского контроллера СПК в начале намотки находится в крайнем правом положении (в положении “Слабое поле”). При перемещении траверсы СПК в процессе намотки напряжение  $U_{СР}$  увеличивается, ЭДС  $U_2$  указанной полярности уменьшается, в результате

чего увеличивается ток возбуждения двигателя М. Это влечет за собой снижение тока двигателя М, повышение его ЭДС, снижение результирующей н.с. усилителя МУЗ, равной  $F_{СК} + F_T - F_H$ , снижение напряжения выхода усилителя МУЗ, что приводит к останову серводвигателя СД и траверсы СПК. Перемещение траверсы СПК начинается тогда, когда рассогласование ЭДС двигателя достигает такой величины, при которой нагрузочный ток усилителя МУЗ превзойдет ток трогания серводвигателя, и будет продолжаться до тех пор, пока не ликвидируется возникшее рассогласование ЭДС. Так как в системе регулирования ЭДС имеется серводвигатель, представляющий собой интегрирующее звено, то эта система является астатической.

В конце прокатки стан переводится на запрограммированную скорость, при которой непрокатанный конец пропускается через стан. При выходе заднего конца полосы из последней клетки рулон связывается и снимается с барабана моталки с помощью снимателя рулонов. В момент снятия рулона путевой выключатель снимателя размыкает цепь контактора ПП и замыкает цепь контактора Б. В результате этого двигатель СД отключается от усилителя МУЗ и подключается с помощью контактов Б через потенциометр на напряжение сети, двигатель СД перемещает траверсу слева направо в исходное положение.

При обрыве полосы между последней клетью и моталкой ток обмотки МУ1:ОТ резко снизится, вследствие этого соответственно повысится ЭДС генератора, что приведет к чрезмерному увеличению угловой скорости двигателя. Для ограничения этой скорости предусматривается применение обмотки – МУ1:ООС, которая при обрыве полосы или при отсутствии полосы между последней клетью и моталкой должна заменить обмотку МУ1:ОТ. Обмотка – МУ1:ООС в нормальном режиме намотки бездействует благодаря вентилю Д1. Этому случаю соответствует полярность усилителя МУ2, указанная на схеме, и точка “а” характеристики МУ2 (рис.12). При обрыве полосы или при отсутствии ее н.с. токовой обмотки (МУ2:ОТ)  $F_T$  уменьшается почти до нуля. Это приводит к тому, что напряжение усилителя МУ2 меняет полярность (точка “б” характеристики усилителя) и появившийся ток в обмотке МУ1:ООС создает н.с., компенсирующую снижение н.с. обмотки – МУ1:ОТ.

При разгоне моталки ток якоря двигателя

$$I = I_{нат} + I_{дин} ,$$

а при торможении

$$I = I_{\text{нат}} - I_{\text{дин}},$$

где  $I_{\text{нат}}$  — ток, соответствующий натяжению полосы в установившемся режиме работы прокатного стана (ток натяжения);

$I_{\text{дин}}$  — динамическая составляющая тока.

Регулятор тока, настроенный на величину тока  $I_{\text{нат}}$ , стремится и в переходном режиме поддерживать общий ток двигателя на этом уровне. В результате этого ток натяжения при разгоне моталки уменьшится, а при замедлении увеличится, что приведет к соответствующему изменению натяжения полосы в этих режимах. Для сохранения постоянства натяжения в переходных процессах необходимо при разгоне моталки увеличивать уставку регулятора тока, а при замедлении уменьшать на величину, равную динамической составляющей тока. Узел компенсации динамической составляющей тока работает следующим образом.

При разгоне моталки замыкается контакт РС5 и цепь обмотки МУ1:ОДК усилителя МУ1 получает напряжение такой полярности, при которой н.с. этой обмотки действует встречно н.с. токовой обмотки МУ1:ОТ, компенсируя тем самым действие обмотки МУ1:ОТ по динамической составляющей тока. При торможении замыкается контакт РС3 и цепь обмотки МУ1:ОДК получает напряжение противоположной полярности, при которой н.с. этой обмотки действует согласно с н.с. токовой обмотки МУ1:ОТ. В конце процесса разгона (торможения) размыкается контакт РС5 (РС3) и с обмотки МУ1:ОДК снимается напряжение.

Разгон моталки совместно со станом может потребоваться не только в начале намотки полосы, когда барабан пустой, скорость двигателя наибольшая, поле максимально ослаблено, но и в промежутке между началом и концом намотки после вынужденного останова стана. Разгон же моталки с другим диаметром рулона и с другой степенью ослабления поля двигателя будет происходить при другой величине динамического тока.

Выведем зависимость между динамическим током при разгоне двигателя и диаметром рулона.

Динамический момент двигателя может быть представлен в виде двух слагаемых

$$M_{\text{дин}} = M_{\text{дин1}} + M_{\text{дин2}},$$

где  $M_{\text{дин1}} = J_1 \frac{d\omega}{dt}$  — момент, необходимый для разгона маховых масс механизма и двигателя;

$M_{\text{дин2}} = J_2 \frac{d\omega}{dt}$  — момент, необходимый для разгона маховых масс рулона.

$J_1$  — суммарный момент инерции двигателя и механизма;

$J_2$  — момент инерции рулона металла, приведенный к валу двигателя.

Разгон и торможение двигателя моталки происходит практически с постоянным ускорением, поэтому приближенно можно записать

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega}{t_0},$$

где  $t_0$  — длительность разгона двигателя.

Обозначим  $D_B$  — диаметр барабана моталки;  $D_K$  — конечный диаметр рулона;  $D$  — текущее значение диаметра рулона;  $\omega_K$  — угловая скорость двигателя при номинальном магнитном потоке, соответствующая конечному диаметру рулона.

Учитывая, что

$$\frac{\omega_K}{\omega} = \frac{\Phi}{\Phi_H} = \frac{D}{D_K}; \quad (2.4)$$

можно записать

$$M_{\text{дин1}} = J_1 \frac{d\omega}{dt} = J_1 \frac{\omega}{t_0} = J_1 \cdot \frac{\omega_K}{t_0} \cdot \frac{D_K}{D}; \quad (2.5)$$

из соотношения моментов  $M_{\text{дин1}} = C\Phi I_{\text{дин1}}$  и  $M_{\text{дин2}} = C\Phi I_{\text{дин2}}$  и с учетом формул (2.4) и (2.5) определим

$$i_{\text{дин1}} = \frac{I_{\text{дин1}}}{I_H} = \frac{M_{\text{дин1}}}{M_H} \cdot \frac{\Phi}{\Phi_H} = \frac{M_{\text{дин1}}}{M_H} \cdot \frac{D_K}{D} = J_1 \frac{\omega_K}{M_H \cdot t_0} \cdot \frac{D_K^2}{D^2} = \frac{C_1}{D^2} \quad (2.6)$$

где  $i_{\text{дин1}}$  — относительная величина динамического тока;

$$C_1 = J_1 \cdot \frac{\omega_K}{M_H \cdot t_0} \cdot D_K^2.$$

Момент инерции рулона, приведенный к валу двигателя

$$J_2 = \frac{\pi\rho \cdot B}{32K^2} (D^4 - D_B^4),$$

где  $\rho$  — плотность стали, наматываемой на барабан моталки;

$B$  — ширина рулона;

$K$  — передаточное число редуктора.

Динамический момент

$$M_{\text{дин2}} = J_2 \frac{\omega_K}{t_0} \cdot \frac{D_K}{D} = \frac{\pi\rho \cdot B}{32t_0 \cdot K^2} \cdot \frac{D_K}{D} (D^4 - D_B^4) \quad (2.7)$$

По аналогии с выражением (2.6)

$$i_{\text{дин2}} = \frac{M_{\text{дин2}}}{M_H} \cdot \frac{D_K}{D} = \frac{\pi\rho \cdot B}{32M_H \cdot t_0 \cdot K^2} \cdot \frac{D_K^2}{D^2} (D^4 - D_B^4) = C_2 \frac{D^4 - D_B^4}{D^2}$$

Суммарный динамический ток в относительных единицах

$$\begin{aligned} i_{\text{дин}} &= i_{\text{дин1}} + i_{\text{дин2}} = \frac{C_1}{D^2} + C_2 \frac{D^4 - D_B^4}{D^2} = \\ &= C_2 D^2 + \frac{C_1 - C_2 D_B^4}{D^2} = C_2 D^2 + \frac{C_3}{D^2} \end{aligned} \quad (2.8)$$

где  $C_3 = C_1 - C_2 D_B^4$

Так как при разгоне моталки с разным диаметром рулона динамический ток имеет разное значение (формула 2.8), для точной компенсации динамического тока необходимо, чтобы менялась соответственно и уставка узла компенсации динамического тока. Для этой цели в цепь обмотки МУ1:ОДК включена вторая секция плоского контроллера СПК:2, с помощью которой меняется сопротивление цепи обмотки МУ1:ОДК в соответствии с изменением диаметра рулона. В этом случае сопротивление цепи обмотки МУ1:ОДК в зависимости от диаметра рулона должно меняться так, чтобы н.с. этой обмотки была пропорциональна динамической составляющей тока. При расчете сопротивлений секции СПК:2 следует воспользоваться уравнением (2.8).

В режиме “покоя” контакты ТВ и ТН в цепи обмотки МУ1:ОП разомкнуты, а контакты БЛ замкнуты. В этом случае ЭДС генератора G определяется действием двух обмоток МУ1:ОП и МУ1:ОТ.

Величина тока двигателя M в неподвижном состоянии (ток “покоя”  $I_{\text{пок}}$ ) не зависит от диаметра рулона и определяется при выбранных параметрах системы лишь напряжением  $U_1$ . Момент “покоя”, развиваемый двигателем для обеспечения постоянного значения на-

тяжения “покоя”, при любых диаметрах рулона должен меняться пропорционально диаметру рулона. Благодаря наличию секции плоского контроллера СПК-1 при остановленном двигателе его магнитный поток будет определяться выражением

$$\Phi_{\text{пок}} = \Phi_{\text{нач}} \cdot \frac{D_P}{D_B} = \frac{\Phi_{\text{нач}}}{D_B} \cdot D_P, \quad (2.9)$$

где  $\Phi_{\text{нач}}$  — начальный магнитный поток, соответствующий началу намотки рулона.

Тогда  $M_{\text{пок}} \equiv D_P$

### *Достоинства рассмотренной системы ЭП моталки*

1. Отсутствует статическая погрешность регулятора, в результате чего натяжение за время намотки меняется очень мало.

2. Существующее соотношение между потоком двигателя и диаметром рулона при остановленном двигателе моталки приводит к получению постоянного значения натяжения “покоя” при любых диаметрах рулона.

3. Узел компенсации динамической составляющей тока имеет переменную уставку, меняющуюся в соответствии с изменением диаметра рулона, что обеспечивает полную компенсацию динамического тока при разгоне и замедлении с произвольным диаметром рулона.

### *Системы регулирования натяжения полосы при размотке рулона*

В процессе размотки полоса идет от разматывателя к валкам стана (рис.8). В этом случае барабан с рулоном и двигатель разматывателя вращаются рабочими валками через полосу металла. Если двигатель разматывателя отключен, то натяжение полосы будет примерно равно нулю. Натяжение полосы создается торможением двигателя разматывателя, т.е. двигатель должен работать в генераторном режиме.

При этом для силовой цепи действительно равенство

$$c\Phi \cdot \omega = E_{\Gamma} + IR_0 \quad (2.10)$$

С целью сохранения неизменным натяжения при размотке, так же как и при намотке должно соблюдаться условие постоянства тока и ЭДС двигателя, т.е. чтобы произведение потока на скорость  $\Phi \cdot \omega$

сохранялось неизменным (см. рис.11). В начале размотки диаметр рулона имеет наибольшее значение, а угловая скорость барабана – наименьшее. С уменьшением диаметра рулона скорость двигателя должна увеличиваться за счет ослабления его поля.

Система регулирования натяжения при размотке не отличается конструктивно от системы регулирования натяжения при намотке. Различие лишь в том, что поток двигателя разматывателя в начале размотки имеет наибольшее значение, а в процессе размотки он в результате действия системы регулирования уменьшается. В системе астатического регулятора (рис.12) траверса плоского контроллера СПК в начале размотки стоит в крайнем левом положении, чем устанавливается полное поле двигателя.

В процессе размотки полосы уменьшается диаметр рулона, а угловая скорость барабана разматывателя, ЭДС и ток двигателя увеличиваются. С увеличением тока двигателя увеличивается н.с. обмотки МУ1:ОТ и ЭДС генератора, что приводит к ограничению тока якоря двигателя. Одновременно с увеличением ЭДС двигателя увеличивается и сумма н.с. обмотки напряжения МУ3:ОН и токовой обмотки МУ3:ОТ, пропорциональная ЭДС двигателя. Появившееся рассогласование н.с. обмоток усилителя МУ3 образует на его выходе напряжение, в результате чего начнет поворачиваться серводвигатель СД, перемещая траверсу плоского контроллера СПК слева направо. При этом уменьшится ток возбуждения двигателя разматывателя, вызывая уменьшение ЭДС двигателя. И в данном случае перемещение траверсы СПК начинается с того момента времени, когда рассогласование ЭДС двигателя достигает величины, при которой ток цепи серводвигателя превзойдет ток его трогания и будет продолжаться до тех пор, пока не ликвидируется возникшее рассогласование.

Для установления натяжения “покоя” потребное значение ЭДС генератора создается действием обмотки МУ1:ОП.

На рис.12 направление действия н.с. обмоток указаны для привода моталки сплошными стрелками, а для привода разматывателя – пунктирными.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Принцип прямого и косвенного регулирования натяжения полосы, их достоинства и недостатки.

2. Требования, предъявляемые к электроприводу моталок и разматывателей.
3. Начертить функциональную схему регулятора натяжения в функции мощности.
4. Чем вызвана необходимость поддержания постоянства натяжения полосы металла?
5. Начертить функциональную схему токового регулятора натяжения.
6. Чем вызвана необходимость регулирования скорости вращения моталки?
7. Начертить функциональную схему регулятора натяжения в функции ЭДС двигателя моталки.
8. Назначение обмоток управления усилителя МУ1 (рис. 12).
9. Как осуществляется ограничение скорости при обрыве полосы металла (рис. 12)?
10. Пояснить достоинства и недостатки токового регулятора натяжения.
11. Почему необходимо осуществлять компенсацию динамического тока двигателя?
12. Пояснить достоинства и недостатки регулятора натяжения в функции ЭДС двигателя моталки.
13. Как осуществляется компенсация динамической составляющей тока двигателя (рис. 12)?
14. Пояснить достоинства и недостатки астатического регулятора тока.
15. Начертить функциональную схему астатического регулятора тока при намотке рулона.
16. Пояснить достоинства и недостатки регулятора натяжения в функции мощности.
17. Начертить функциональную схему астатического регулятора тока при размотке рулона.
18. Назначение обмоток управления усилителя МУ2 (рис. 12).
19. Как осуществляется поддержание постоянства натяжения полосы металла астатическим регулятором тока при намотке полосы?
20. Назначение обмоток управления усилителя МУ3 (рис. 12).
21. Почему необходимо менять уставку узла компенсации динамического тока в зависимости от диаметра рулона и как осуществляется ее изменение в схеме на рис. 12?

22. Как осуществляется возврат траверсы плоского контроллера в исходное положение после намотки полосы?
23. Как осуществляется поддержание постоянства натяжения полосы астатическим регулятором тока при размотке полосы?
24. Назначение усилителя V2.

### Лабораторная работа №3

## **БЕСКОНТАКТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ РЕВЕРСИВНЫХ СТАНОВ**

Реверсивные обжимные прокатные станы являются ответственными агрегатами, которые во многих случаях пропускают через себя почти всю продукцию металлургического завода. Поэтому электрооборудование этих станов должно иметь высокий уровень надёжности. Повышение надёжности проще всего достигается путём замены релейно-контакторных элементов системы управления бесконтактными. При переходе к бесконтактному управлению в первую очередь необходимо заменить контактные командоконтроллеры бесконтактными и обеспечить необходимую последовательность управления полем двигателя и напряжением в переходных режимах.

### *Бесконтактные командоконтроллеры*

На рис 14. приведена одна из схем сельсинного бесконтактного командоконтроллера для управления главным приводом реверсивных станов. Бесконтактный командоконтроллер состоит из сельсина и фазочувствительного моста. Сельсин имеет однофазную первичную обмотку 11 и трёхфазную вторичную. Первичная обмотка 11 сельсина подключается к однофазной сети переменного тока. Пульсирующий магнитный поток, создаваемый током первичной обмотки, индуцирует в фазах трёхфазной обмотки ЭДС, которые совпадают по фазе с напряжением первичной обмотки. ЭДС каждой фазы вторичной обмотки отличаются между собой лишь величиной, зависящей от расположения каждой фазовой обмотки относительно первичной обмотки. В фазовой обмотке ЭДС имеет максимальное значение при совпадении осей первичной и вторичной обмоток и нулевое значение, если оси обмоток перпендикулярны.

Выходным напряжением сельсина является разность напряжений 1 и 3 фазы (обмотка 2 не используется). В этом случае напряжение на выходе сельсина равно нулю, когда ось первичной обмотки совпадает с осью фазовой обмотки 2 (рис. 15а). С поворотом первичной обмотки на некоторый угол  $\varphi$  (рис. 15б) напряжение на выходе сельсина будет меняться согласно уравнению

$$U_1 - U_3 = \sqrt{3} \cdot U_{\text{макс}} \cdot \sin \varphi$$

где  $U_{\text{макс}}$  – максимальное напряжение фазы при совпадении осей первичной и вторичной обмоток.

Во времени это выходное напряжение изменяется по синусоидальному закону.

Фазочувствительный мост собран из двух вторичных обмоток сельсинного трансформатора СТ (СТ1, СТ2), двух вторичных обмоток опорного трансформатора ОТ (ОТ1, ОТ2) и двух выпрямительных мостов VD1 и VD2 (рис. 14). Первичная обмотка трансформатора СТ подключена на выход сельсина, первичная обмотка трансформатора ОТ питается от сети переменного тока. Вторичные обмотки трансформаторов СТ и ОТ включаются так, что напряжения обмоток СТ1 и СТ2 совпадают между собой по фазе, а обмоток ОТ1 и ОТ2 – действуют в противофазе. Величины напряжений обмоток ОТ1 и ОТ2 выбираются одинаковыми и равными примерно половине максимального значения выходного напряжения сельсина, т.е.

$$U_{\text{от}} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{\text{макс}}$$

Коэффициент трансформации сельсинного трансформатора равен единице.

Результирующие напряжения противоположных плеч фазочувствительного моста выпрямляются мостами VD1 и VD2 и подаются на балластные сопротивления  $R_{\delta 1}$  и  $R_{\delta 2}$ .

Выходное напряжение фазочувствительного моста представляет собой разность падений напряжения на балластных сопротивлениях:

$$U_{\text{вых 1}} = U_{R_{\delta 1}} - U_{R_{\delta 2}}$$

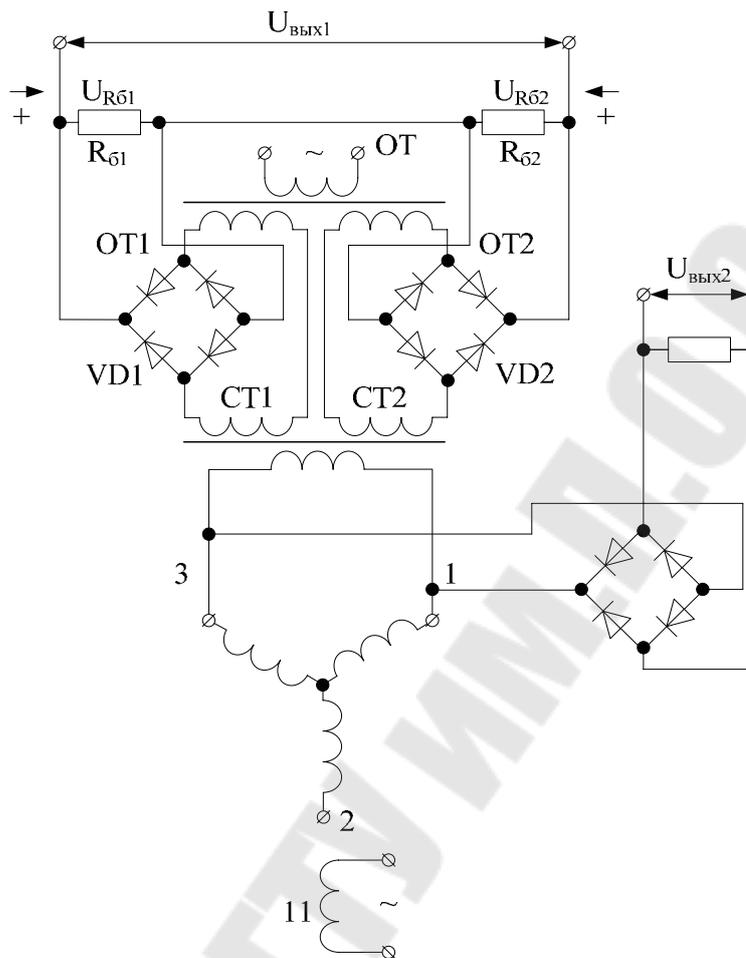


Рис. 14. Схема бесконтактного командоконтроллера с фазочувствительным мостом

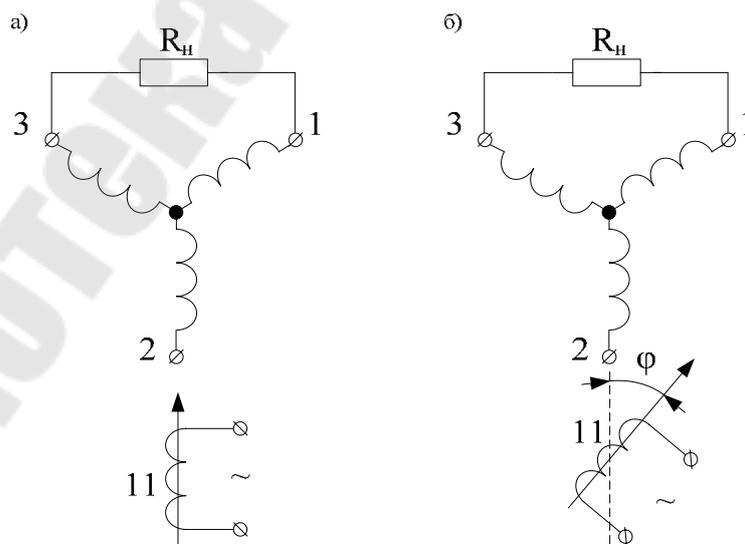


Рис. 15. Схемы соединения обмоток сельсина: а)  $U_{\text{ВЫХ}} = 0$ ; б)  $U_{\text{ВЫХ}} \neq 0$

В нулевом положении командоконтроллера результирующее напряжение вторичных обмоток трансформатора СТ равно нулю, а напряжения  $U_{R61}$  и  $U_{R62}$  определяются напряжениями вторичных обмоток трансформатора ОТ. Так как вторичные обмотки опорного трансформатора действуют встречно друг другу, то выходное напряжение  $U_{\text{вых1}}$  при нулевом положении командоконтроллера равно нулю.

При повороте командоконтроллера на угол  $\varphi=30^\circ$  напряжение каждой вторичной обмотки трансформатора СТ

$$U_{\text{СТ}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{макс}} \cdot \sin 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{\text{макс}}$$

т.е. при  $\varphi=30^\circ$  вторичные напряжения опорного и сельсинного трансформаторов равны между собой

$$U_{\text{СТ}} = U_{\text{ОТ}}.$$

Таким образом, выходное напряжение фазочувствительного моста при  $\varphi=30^\circ$

$$U_{\text{вых1}} = U_{R61} - U_{R62} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{\text{макс}} + \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{\text{макс}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{макс}}$$

С дальнейшим поворотом командоконтроллера вновь происходит увеличение от нуля действующего напряжения одной пары вторичных обмоток трансформаторов и продолжается дальнейшее увеличение от значения  $\sqrt{3}/2 \cdot U_{\text{макс}}$  действующего напряжения другой пары вторичных обмоток, что приводит к росту на одну и ту же величину как  $U_{R61}$ , так и  $U_{R62}$ . Отсюда следует, что при повороте командоконтроллера на угол больший  $30^\circ$  (до  $\varphi=150^\circ$ ), выходное напряжение  $U_{\text{вых1}}$  остаётся неизменным по величине и равным  $\sqrt{3} \cdot U_{\text{макс}}$  (рис. 16).

Вторая выходная величина командоконтроллера  $U_{\text{вых2}}$  пропорциональна выпрямленному линейному напряжению сельсина. Эта величина растёт с изменением угла поворота сельсина от нуля до  $90^\circ$  (рис. 16) и имеет неизменную полярность. Выход 1 командоконтроллера предназначается для управления напряжением генераторов, а выход 2 – для управления полем двигателя. К выходу 1 присоединяется задающая обмотка усилителя схемы возбуждения генераторов, к

выходу 2 – размагничивающая обмотка задающего усилителя схемы возбуждения двигателя.

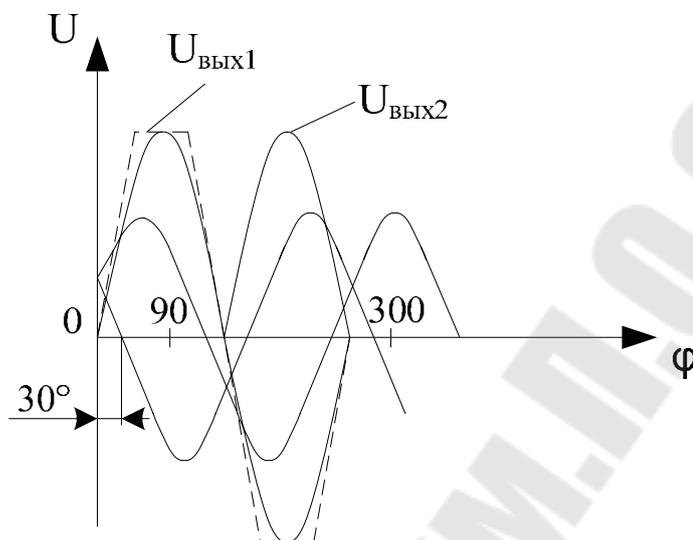


Рис. 16. Кривые выходных напряжений командоконтроллера

На рис.17 представлена схема бесконтактного командоконтроллера для приводов вспомогательных механизмов реверсивных станков. В две фазы трёхфазной вторичной обмотки сельсина включены вентили VD1 и VD2. В нулевом положении командоконтроллера напряжение на выходе, т.е. выпрямленное линейное напряжение между фазами 1 и 3 равно нулю (рис. 17а). При изменении угла поворота сельсина напряжение на выходе сельсина изменяется по закону

$$U_{\text{вых}} = |U_1| - |U_3| = 0,45 \cdot U_{\text{макс}} \left[ |\cos(60^\circ - \varphi)| - |\cos(60^\circ + \varphi)| \right]$$

где  $0,45 = \frac{\sqrt{2}}{\pi}$  — коэффициент, соответствующий однополупериодному выпрямлению.

Следовательно, при  $\varphi=30^\circ$

$$U_{\text{ВВЫХ}} = 0,45 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot U_{\text{макс}}$$

С дальнейшим возрастанием угла  $\varphi$  напряжение  $U_3$ , изменив фазу, начнёт увеличиваться. Однако полярность напряжения  $U_{R2}$  из-за вентиля VD2 не может измениться. Поэтому с возрастанием угла  $\varphi$  свыше  $30^\circ$  напряжение  $U_{R2}$  увеличивается с сохранением прежней полярности, что приводит к уменьшению выходного напряжения.

На рис.18 приведена кривая выпрямленного выходного напряжения в функции угла поворота сельсина. Из кривой видно, что выходное напряжение равно нулю при  $\varphi=0; 90; 180; 270; 360^\circ$ . Любое из этих положений сельсина можно принять за нулевое. Целесообразно принять положение, соответствующее  $\varphi=90^\circ$  или  $270^\circ$ , так как при этих углах напряжение второй фазы равно нулю и нагрев обмоток сельсина будет минимальным.

На рис. 19 представлен один из возможных вариантов бесконтактной системы управления главным приводом реверсивного стана, которая состоит из системы возбуждения генератора, системы возбуждения двигателя и регулятора тока.

Системы возбуждения генератора включает в себя возбудитель ВГ, подвозбудитель ЭГ и двухтактный магнитный усилитель УГ. Усилитель УГ имеет задающую обмотку УГЗ, обмотку обратной связи по напряжению генератора УГО, обмотку гибкой обратной связи УГГ. Электромашинный усилитель ЭГ имеет задающую обмотку ЭГЗ, токовую ЭГТ и обмотку гибкой обратной связи ЭГГ. Задающая обмотка усилителя УГ получает питание от выхода 1 бесконтактного командоконтроллера КК, а обмотки гибкой обратной связи УГГ и ЭГГ – от динамического моста.

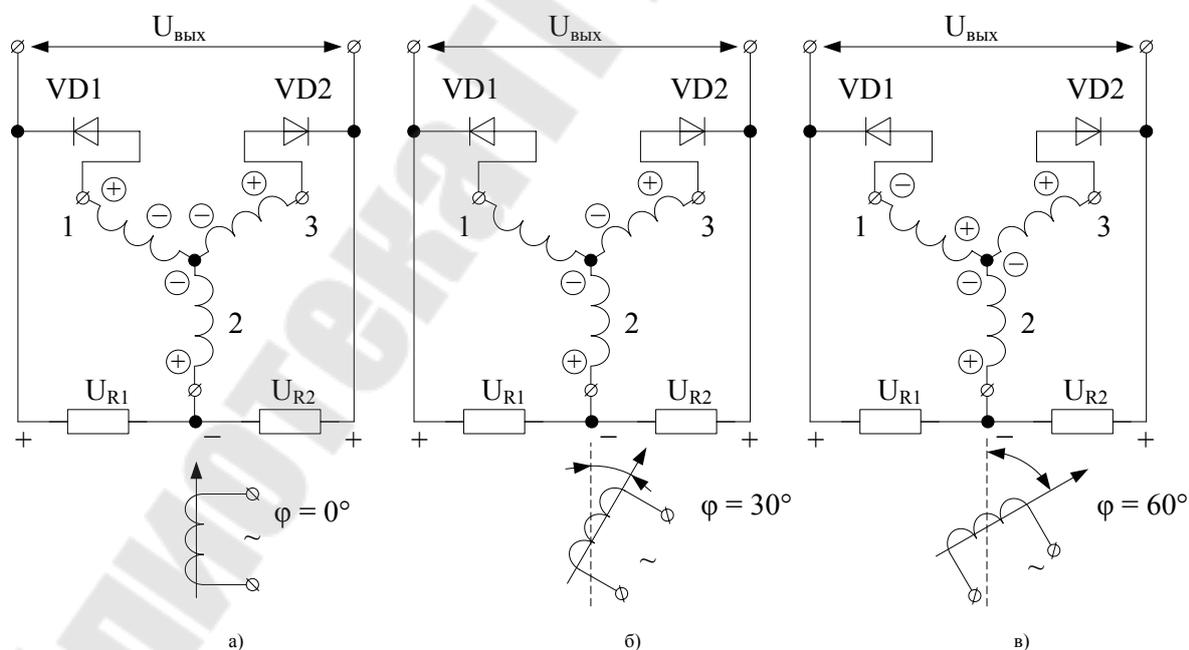


Рис. 17. Схема бесконтактного командоконтроллера для приводов вспомогательных механизмов реверсивных станов:

а)  $\varphi = 0^\circ$ ; б)  $\varphi = 30^\circ$ ; в)  $\varphi = 60^\circ$

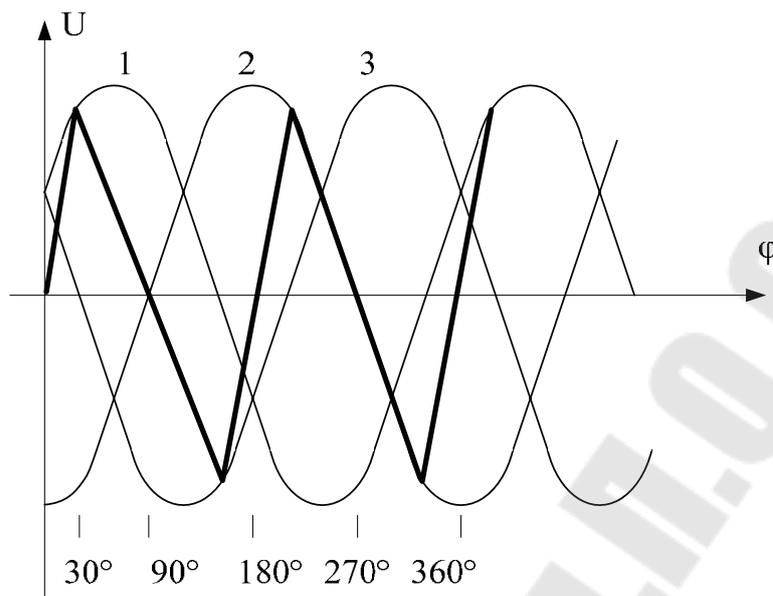


Рис. 18. Кривая выходного напряжения командоконтроллера

Система возбуждения двигателя состоит из возбуждателя ВД, подвозбудителя ЭД и двухтактного магнитного усилителя УД. Усилитель УД имеет задающую обмотку УДЗ, обмотку обратной связи по току возбуждения двигателя УДВ, обмотку гибкой обратной связи, питающейся от динамического моста УДГ. Электромашинный усилитель ЭД имеет задающую обмотку ЭДЗ, токовую ЭДТ и обмотку гибкой обратной связи ЭДГ. Задающая обмотка усилителя УД получает питание от выхода 2 командоконтроллера КК.

Каждая из задающих обмоток подвозбудителей ЭГ и ЭД составлена из двух одинаковых обмоток, соединённых между собой последовательно и получающих питание от соответствующих двухтактных магнитных усилителей УГ и УД, состоящих из двух одноктактных усилителей и питающих нагрузку по дифференциальной схеме. Соответствующие обмотки управления этих одноктактных усилителей соединяются между собой последовательно так, что при подаче сигнала на ту или иную пару последовательно соединённых обмоток выходное напряжение одного усилителя увеличивается, а другого – уменьшается. В результате этого появляется разность н.с. обмоток, присоединённых к выходу усилителя (ЭГЗ, ЭДЗ).

Ограничение токов в переходных и установившихся режимах осуществляется с помощью регулятора тока, в состав которого входят усилители УТГ и УТД. Усилители имеют обмотки смещения УТГС и УТДС, обмотки УТГВ и УТДВ, н.с. которых определяется током воз-

буждения двигателя, и обмотки УТГТ и УТДТ, н.с. которых определяется якорным током двигателя.

К регулятору тока системы управления реверсивным станом предъявляются следующие требования:

1. При больших обжатиях ограничивать величину полного тока двигателя за счёт снижения интенсивности роста напряжения генератора при разгоне до основной скорости и за счёт снижения интенсивности ослабления поля двигателя при разгоне выше основной скорости.

2. При торможении двигателя с основной скорости в случае необходимости замедлять темп снижения напряжения генератора, а при торможении с повышенной до основной скорости – поддерживать на постоянном уровне напряжение генератора.

3. При больших перегрузках в установившихся режимах до основной скорости уменьшать напряжение генератора, ограничивая потребляемую мощность, а на скоростях выше основной – увеличивать поток, ограничивая ток двигателя.

4. Обеспечивать различные установочные значения тока в зависимости от характера процесса.

5. Уставка регулятора должна автоматически уменьшаться с ослаблением поля двигателя.

6. Жёсткость статической характеристики регулятора должна быть достаточно высокой.

### *Разгон двигателя до основной скорости*

В нулевом положении командоконтроллера КК н.с. задающей обмотки УГЗ усилителя УГ равна нулю, равны нулю напряжение усилителя УГ и следовательно, напряжение генератора. Цепь задающей (размагничивающей) обмотки УДЗ усилителя УД разомкнута, так как транзистор VTR заперт напряжением  $U_{зап}$ . Поэтому в результате действия обмотки смещения УДС и направленной ей встречно обмотки обратной связи по току возбуждения двигателя УДВ напряжение усилителя УД и ток возбуждения двигателя имеют наибольшие значения.

С переводом КК из нулевого положения в положение основной скорости скачком возрастают н.с. обмотки УГЗ и напряжение усилителя УГ. При этом усилитель УГ сильно насыщается. Под влиянием обратной связи по напряжению генератора и с ростом этого напряжения результирующая н.с. усилителя УГ уменьшается, однако напря-

жение его остаётся практически неизменным из-за насыщения усилителя УГ, чем обеспечивается форсировка процесса возбуждения генератора. Когда напряжение генератора приблизится к заданной установившейся величине, рабочая точка характеристики усилителя перейдёт из насыщенной части в ненасыщенную, напряжение усилителя начнёт резко снижаться, чем прекращается форсировка процесса возбуждения генератора. В то же время вступает в действие гибкая обратная связь через обмотку УГГ, обеспечивающая снижение величины перерегулирования напряжения генератора после отсечки форсировки.

Если при захвате металла валками в процессе разгона ток двигателя превысит допустимое значение, замыкается цепь токовой обмотки ЭГТ, н.с. которой действует в сторону снижения интенсивности нарастания напряжения генератора. Замыкание цепи токовой обмотки ЭГТ производится с помощью узла УТГ. Узел УТГ, включённый в цепь токовой обмотки ЭГТ, состоит из усилителя УТГ, запирающего напряжения  $U_{\text{зап}}$ , выпрямительного мостика и полупроводникового транзистора VТГ (см. детализировку узла УТГ и характеристики усилителя УТГ на рис. 19б). Напряжение усилителя УТГ зависит от тока якоря двигателя и его тока возбуждения. С увеличением тока якоря двигателя увеличивается напряжение усилителя  $U_{\text{утг}}$ . Если напряжение  $U_{\text{утг}}$  станет больше напряжения  $U_{\text{зап}}$ , то полупроводниковый транзистор VТГ откроется и замкнётся цепь обратной связи по току через обмотку ЭГТ.

При  $U_{\text{утг}} < U_{\text{зап}}$  транзистор VТГ закрыт и цепь обратной связи по току разомкнута. Такое размыкание и замыкание цепи транзистором VТГ производится при любом направлении тока якоря двигателя.

### *Разгон двигателя до повышенной скорости*

С переводом КК из нулевого положения в положение максимальной скорости подаются одновременно напряжение выхода  $U_{\text{вых1}}$  на задающую обмотку УГЗ и напряжение выхода  $U_{\text{вых2}}$  – на транзистор VТР. В этом случае сразу же начинается процесс возбуждения генератора при полном потоке двигателя. Ослабление поля двигателя начнётся с замыкания цепи размагничивающей обмотки УДЗ, осуществляемого транзистором VТР. Транзистором VТР запирается напряжением  $U_{\text{зап}}$ , а напряжение выхода  $U_{\text{вых2}}$  действует встречно  $U_{\text{зап}}$ .



Однако напряжение выхода  $U_{\text{вых}2}$  недостаточно, чтобы открыть транзистор. Дополнительное напряжение для открывания транзистора получается от усилителя УРР, имеющего обмотку смещения УРРС, действующую в сторону увеличения напряжения УРР, и обмотку УРРЗ, действующую в сторону снижения напряжения УРР. В свою очередь, к обмотке УРРЗ прикладывается разность напряжений: напряжение одного из однотактных усилителей усилителя УГ и напряжение на сопротивлении  $R1$  или  $R2$ , пропорционального напряжению генератора. В начальной стадии процесса возбуждения генератора эта разность велика, поэтому велико и размагничивающее действие обмотки УРРЗ. В этом случае напряжение УРР недостаточно, чтобы совместно с  $U_{\text{вых}1}$  преодолеть запирающее действие напряжения  $U_{\text{зап}}$ . С увеличением напряжения генератора разность напряжений, подаваемая на обмотку УРРЗ уменьшается. При значениях напряжения генератора, близких к номинальной величине, действующее на обмотке УРРЗ напряжение равно нулю, а напряжение усилителя УРР будет максимальным и достаточным, чтобы открыть транзистор VTR и подать напряжение на размагничивающую обмотку УДЗ. Степень ослабления поля двигателя определяется положением командоконтроллера.

В процессе ослабления поля из-за уменьшения н.с. намагничивающей обмотки УТГВ размыкается цепь токовой обмотки ЭГТ. При увеличении тока двигателя выше допустимого значения замыкается цепь токовой обмотки ЭДТ, н.с. которой действует в сторону снижения интенсивности ослабления поля двигателя. Замыкание цепи обмотки ЭДТ производится с помощью узла УДТ, который состоит из усилителя УДТ, запирающего напряжения  $U_{\text{зап}}$  и полупроводникового транзистора VTD. Напряжение усилителя УДТ зависит от тока якоря двигателя и его тока возбуждения. С увеличением тока якоря двигателя увеличивается напряжение  $U_{\text{утд}}$ , и если оно станет больше напряжения  $U_{\text{зап}}$ , то полупроводниковый транзистор VTD откроется и замкнётся цепь обратной связи по току через обмотку ЭДТ.

При ослаблении поля двигателя уменьшается действие размагничивающей обмотки УТДВ, поэтому замыкание цепи обратной связи по току осуществляется при меньших токах якоря двигателя, чем в случае разгона двигателя до основной скорости. Обмотка гибкой обратной связи УТДГ благодаря наличию диода VD14 в процессе ослабления поля не работает.

### *Торможение двигателя до основной скорости.*

С переводом командоконтроллера из положения основной скорости в нулевое снижаются до нуля напряжения  $U_{\text{вых1}}$  и  $U_{\text{вых2}}$ . При этом снимается напряжение с задающей обмотки УГЗ усилителя генератора, что приводит к снижению напряжения генератора. Интенсивность снижения напряжения генератора возрастает за счёт обмотки обратной связи по напряжению генератора УГО. Двигатель переходит в режим рекуперативного торможения, ток якоря меняет направление.

При бросках тока якоря двигателя возрастает н.с. обмотки УТГТ, возрастает напряжение усилителя УТГ, открывается транзистор VTГ и замыкается цепь токовой обмотки ЭГТ. В данном случае обмотка ЭГТ замедляет темп снижения напряжения генератора, ограничивая величину тормозного тока.

### *Торможение двигателя с повышенной скорости.*

При переводе командоконтроллера из положения максимальной скорости в нулевое снижаются до нуля напряжения  $U_{\text{вых1}}$  и  $U_{\text{вых2}}$ . При этом снимается напряжение с задающей обмотки УГЗ усилителя генератора и с размагничивающей обмотке УДЗ усилителя двигателя. Сразу же начинается процесс усиления поля двигателя и снижения напряжения генератора. Двигатель переходит в режим рекуперативного торможения. Полярность выходного напряжения динамического моста при усилении поля позволяет проходить току через диод VD14 и обмотку гибкой обратной связи УТДГ. Под влиянием н.с. обмотки УТДГ усилитель УТД снижает напряжение, транзистор VTД запирается и цепь токовой обмотки ЭДТ размыкается. Одновременно за счёт действия обратной связи по току двигателя (через обмотку УТГТ) увеличивается напряжение усилителя УТГ, транзистор VTГ открывается и цепь токовой обмотки ЭГТ замыкается. Таким образом, ограничение тока двигателя в процессе усиления его поля производится воздействием на напряжение генератора. После увеличения тока возбуждения двигателя до номинального торможения двигателя осуществляется за счёт снижения напряжения генератора.

Для исключения влияния обратной связи по напряжению генератора через обмотку УГО, действующую в сторону увеличения ин-

тенсивности снижения напряжения генератора, цепь обмотки ЭГЗ на время процесса торможения размыкается с помощью усилителя УРТ. Усилитель УРТ имеет обмотку смещения УРТС, обмотку по току возбуждения двигателя УРТВ и задающую обмотку УРТЗ. Задающая обмотка подключена через диод VD13 на напряжение обмотки ЭДЗ<sub>у</sub>, действующей в сторону усиления поля двигателя (обмотка ЭДЗ<sub>о</sub> действует в сторону ослабления поля двигателя). Н.с. обмотки УРТЗ действует в направлении снижения напряжения усилителя УРТ и в процессе усиления поля двигателя имеет значительную величину. В этом случае транзистор VTT заперт, цепь обмотки ЭГЗ разомкнута и ток обмотки ЭГЗ равен нулю.

*Реверс с повышенной скорости на повышенную.*

При переводе командоконтроллера из положения максимальной скорости при вращении двигателя, например, «Вперёд», в положение максимальной скорости для противоположного направления вращения меняется полярность напряжения  $U_{\text{вых1}}$ , величина и полярность напряжения  $U_{\text{вых2}}$  остаются неизменными. В результате меняется направление н.с. обмотки УГЗ, что приводит к уменьшению напряжения на выходе одного одноконтурного усилителя УГ и к увеличению напряжения на выходе второго до насыщения. При этом возрастает н.с. обмотки УРРЗ, уменьшается напряжение на выходе усилителя УРР, запирается транзистор VTP и обесточивается размагничивающая обмотка УДЗ. Начинается усиление магнитного поля двигателя и двигатель переходит в режим рекуперативного торможения. Возрастает н.с. обмотки УРТЗ, что приводит к снижению напряжения на выходе усилителя УРТ и к запирающему транзистору VTT. Обмотка ЭГЗ отключается от усилителя УГ и не влияет на торможение двигателя до основной скорости. Ограничение тока осуществляется за счёт подмагничивания усилителя ЭГ с помощью обмотки ЭГТ. При увеличении потока возбуждения двигателя до номинального благодаря увеличившейся н.с. обмотки УРТВ возрастает напряжение на выходе усилителя УРТ, открывается транзистор VTT, замыкая цепь питания обмотки ЭГЗ. Под действием н.с. обмотки ЭГЗ происходит перемагничивание усилителя ЭГ и возбудителя ВГ, что приводит к интенсивному снижению напряжения генератора и к дальнейшему снижению скорости вращения двигателя. Ограничение тока двигателя осуществляется обмоткой ЭГТ, которая замедляет темп снижения напряжения генератора.

После снижения скорости вращения до нуля начинается разгон двигателя в противоположном направлении за счёт увеличения напряжения генератора. Ограничение тока при разгоне двигателя до основной скорости обеспечивается обмоткой ЭГТ, которая снижает темп нарастания напряжения генератора. При напряжении генератора, близком к номинальному уменьшается н.с. обмотки УРРЗ, возрастает напряжение на выходе усилителя УРР, открывается транзистор ВТР и замыкается цепь питания размагничивающей обмотки УДЗ. В результате уменьшается ток возбуждения двигателя, что приводит к дальнейшему увеличению скорости вращения двигателя. Ограничение тока двигателя осуществляется обмоткой ЭДТ, снижающей темп уменьшения потока двигателя.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Контактные и бесконтактные системы управления, их достоинства и недостатки.
2. С какой целью устраняется влияние обмотки УГО на процесс торможения двигателя?
3. Пояснить схему сельсинного командоконтроллера для управления главным приводом стана.
4. С какой целью и как меняется уставка регулятора тока при ослаблении потока двигателя?
5. Как формируется напряжение на первом выходе командоконтроллера?
6. Назначение усилителя УРР.
7. Как формируется напряжение на втором выходе командоконтроллера?
8. Почему для возбуждения генератора выбрана кубичная схема; ее недостатки?
9. Построить схему бесконтактного командоконтроллера для управления приводами вспомогательных механизмов стана.
10. Назначение вентиля VD14.
11. Как формируются гибкие обратные связи?
12. Начертить функциональную схему привода при разгоне двигателя до основной скорости.

13. Как осуществляется ограничение тока при разгоне двигателя до основной скорости?
14. Достоинства и недостатки системы Г–Д.
15. Как осуществляется ограничение тока при разгоне двигателя вверх от основной скорости?
16. Пояснить режимы работы генератора и двигателя при разгоне и рекуперативном торможении двигателя.
17. Как осуществляется ограничение тока при торможении двигателя с повышенной скорости?
18. Как осуществляется форсировка разгона двигателя до основной скорости?
19. Как осуществляется ограничение тока при торможении с основной скорости?
20. Начертить функциональную схему привода при разгоне двигателя вверх от основной скорости.
21. Назначение обмотки УГО.
22. Начертить функциональную схему привода при торможении двигателя с повышенной скорости до основной.
23. Назначение выпрямительного мостика VD.
24. Начертить функциональную схему привода при торможении двигателя с основной скорости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Выдрин В.Н. Автоматизированные производства / В.Н. Выдрин, А.С. Федосеенко. — Москва: Металлургия, 1984. — 435с.
2. Автоматизация технологических процессов в прокатном производстве / под общ. ред. Б.Б. Тимофеева. — М.: Металлургия, 1979. — 548с.
3. Афанасьев В.Д. Автоматизированный электропривод в прокатном производстве / В.Д. Афанасьев. — М.: Металлургия, 1977. — 390с.
4. Автоматизированные ЭП прокатных станов и автоматические системы управления типовыми технологическими процессами: учеб. пособ. для вузов / Г.Т. Куляпин [и др.]; под общ. ред. Г.Т. Куляпина. — М.: СЗПК, 1977. — 243с.

5. Капунцов Ю.Д. Обобудование и ЭП промышленных установок / Ю.Д. Капунцов, В.А. Елисеев. — М.: Высшая школа, 1979. — 445с.
6. Фотиев М.М. Электропривод и электрооборудование металлургических процессов / М.М. Фотиев. — М.: Металлургия, 1990. — 520с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Лабораторная работа №1. Автоматизированная система управления слябингом (блюмингом).....	8
2. Лабораторная работа №2. Автоматизированный электропривод барабанных моталок и разматывателей .....	24
3. Лабораторная работа №3. Бесконтактные системы управления электроприводами реверсивных станов.....	41
Литература .....	55

**Веппер Леонид Владимирович**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТИПОВЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК  
И КОМПЛЕКСОВ**

**Лабораторный практикум  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-53 01 05  
«Автоматизированные электроприводы»  
дневной и заочной форм обучения  
В двух частях  
Часть 1**

Подписано в печать 05.10.09.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,14.

Изд. № 95.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе  
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

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

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.