

Государственный комитет Российской Федерации
по высшему образованию

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева

Ю.С. Дмитриев В.Б. Хардин

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ОМД

Учебное пособие

С а м а р а
1 9 9 4

УДК 621.31.002.72

Электрооборудование и электротехнологические процессы
в ОМД: Учеб. пособие /М.С. Дмитриев, В.В. Хардин
Самар. аэрокосм. ун-т. Самара, 1994. 98 с.
ISBN 5-230-16849-8

Пособие в компактной форме знакомит студентов с широким кругом электротехнологических процессов и устройств, применяемых в обработке металлов давлением. Рекомендуется при изучении электрооборудования цехов по обработке металлов давлением, а также курса электротехники.

Предназначено для студентов неэлектриков специальности 1108 дневного и вечернего обучения, выполнено на кафедрах обработки металлов давлением и электротехники.

Табл. 3. Ил. 60. Библиогр.: 5 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева

Рецензенты: В.Н. Зазин, Э.А. Бабич,
Ю.М. Матвеев

ISBN 5-230-16849-8

© Самарский государственный аэрокосмический ун-т,
1994

СО Д Е Р Ж А Н И Е

В в е д е н и е	6
I. Электроснабжение цехов ОМД	7
I.1. Достоинства и недостатки электрической энергии и ее применение в цехах ОМД.....	7
I.2. Основные принципы электроснабжения промышленных цехов	8
I.3. Основные элементы системы электроснабжения и электропотребления	10
I.3.1. Трансформатор	10
I.3.2. Электродлюминесцентные лампы	14
I.4. Система защиты цехового электрооборудования	15
I.4.1. Структура системы защиты	15
I.4.2. Токовые реле	18
I.4.3. Тепловые реле	19
I.4.4. Магнитный пускатель	20
I.5. Компенсация реактивной мощности	21
2. Электротехнологические процессы и устройства в цехах ОМД	22
2.1. Классификация электротехнологических процессов и устройств	22
2.2. Индукционная сварка труб	22
2.3. Сварочное электрооборудование для дуговой сварки	22
2.4. Электростимуляция в ОМД	26

2.5. Электродинамические процессы и устройства в цехах ОМД.....	28
2.5.1. Магнитоимпульсная ОМД.....	28
2.5.2. Электрогидравлическая ОМД.....	31
2.5.3. Разлив металла в магнитном поле.....	32
2.5.4. Перемешивание жидкого металла в печах.....	33
2.5.5. Электродвигатели, используемые в ОМД.....	33
2.6. Коронные электрофильтры.....	38
3. Электропривод в оборудовании ОМД.....	40
3.1. Роль и виды электропривода.....	40
3.2. Основные этапы упрощенного проектирования электроприводов.....	41
3.3. Нерегулируемый электропривод в ОМД.....	45
3.4. Регулируемый электропривод в ОМД.....	47
3.5. Аппаратура управления электроприводом.....	49
3.5.1. Реверс электродвигателей.....	50
3.5.2. Электромагнитная муфта. Двухручное управление муфтой.....	51
3.5.3. Концевые (путевые) выключатели.....	54
3.6. Защитные и предохранительные устройства в ОМД.....	56
3.6.1. Предохранительные устройства.....	56
3.6.2. Защитные устройства.....	57
3.7. Электрооборудование пневмо- и гидроприводов	57
4. Электротехнические основы автоматизации технологи- ческих процессов в ОМД.....	58
4.1. Необходимость автоматизации.....	58
4.2. Цель и средства автоматизации.....	60
4.2.1. Понятие об автоматике.....	63
4.2.2. Основы электроники.....	63
4.2.2.1. Энергетическая электроника.....	63
4.2.2.2. Информационная электроника.....	69

4.2.3. Основы электрических измерений в ОМД.....	74
4.2.3.1. Роль и место электрических измерений в автоматизации технологических про- цессов.....	74
4.2.3.2. Понятие об измерительной системе в ОМД.....	76
4.2.3.3. Понятие о цифровых измерительных преобразователях.....	78
4.2.3.4. Датчики в оборудовании ОМД.....	80
З а к л ю ч е н и е.....	97
Библиографический список.....	98

В В Е Д Е Н И Е

Электрооборудование и электротехнологические процессы имеют важное значение в обработке металлов давлением (ОМД). Электрооборудование не только снабжает прокатные станы, прессы и штампы энергией, но и обеспечивает сбор и переработку информации, необходимой для управления, защиты и автоматизации технологических процессов. Совершенствование технологического оборудования ОМД идет сейчас, в основном, по пути насыщения процессов ОМД электротехническими устройствами и усиления роли этих устройств в формообразующих машинах ОМД. Кроме того, в последние десятилетия значительно расширилась область применения электротехнологических процессов, вытесняющих некоторые архаичные технологические процессы с топливным нагревом. Переход на электротехнологические процессы обеспечивает повышение качества продукции, позволяет выполнять такие операции и получать такие материалы, которые другим способом получить нельзя. Электротехнологические процессы позволяют улучшать санитарные условия труда и снижать вредное воздействие производства на окружающую среду.

Поэтому знакомство с основными принципами построения и функционирования электрооборудования, его возможностями и ограничениями необходимо всем квалифицированным инженерам - неэлектрикам по специальности ОМД.

Цель, которую ставили перед собой авторы, в наиболее компактной форме ознакомить студентов - неэлектриков специальности ОМД с возможно более широким кругом электротехнологических процессов и устройств, применяемых в ОМД.

1. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЦЕХОВ ОМД

1.1. Достоинства и недостатки электрической энергии и ее применение в цехах ОМД

Широкое применение электрической энергии в современном производстве обусловлено ее преимуществами, важнейшие из которых:

1. Удобство дробления (деления на части), передачи и преобразования в другие виды энергии.
2. Экологическая чистота при эксплуатации.
3. Высокий КПД электротехнологических устройств.

Эти достоинства привели к очень большому потреблению электрической энергии в промышленности вообще и в металлургическом производстве, в частности. В табл. 1.1 приведены данные о расходе электрической энергии на производство одной тонны продукции в металлургической отрасли.

Большой объем использования электроэнергии заставляет помнить о наличии у нее недостатков, основные из которых:

1. Трудность хранения электрической энергии в больших количествах и долгое время.
2. Производство электрической энергии обычно связано с экологически опасными средствами (ТЭС, ГЭС, АЭС).
3. Наличие электрической опасности для человека.

Об этих недостатках следует помнить, надо знать, как ослабить или исключить их влияние.

Т а б л и ц а I.I

Вид продукции металлургической отрасли	Расход (р кВт·ч электро-энергии на одну тонну про-дукции
Производство алюминия электролизом	15000
Производство чугуна и мартеновской стали	9
Производство электростали	700
Прокат листового алюминия	5000
Прокат стального листа	50
Профильный стальной прокат	60
Трубы из алюминия цельнотянутые	12000
Стальные трубы цельнотянутые	200
Стальная проволока	90

I.2. Основные принципы электроснабжения промышленных цехов

Системой электроснабжения промышленных предприятий и цехов называется совокупность линий, трансформаторов, коммутационной и защитной аппаратуры, соединенных таким образом, чтобы наиболее экономно и безопасно обеспечить данное предприятие и все его технологические процессы достаточным количеством электрической энергии. Упрощенная схема электроснабжения цеха изображена на рис. I.I.

Предприятие получает электроэнергию из территориальной трехфазной энергосети через воздушные линии электропередачи (ЛЭП) напряжением 35...220 кВ. На заводской подстанции напряжение понижается до уровня 6...20 кВ, далее электроэнергия передается в цеха по трехфазным кабелям. В цеховых подстанциях напряжение понижается еще раз до уровня 660...220 В, который допускается использовать в установках, не требующих специального ограждения. Трехфазная цеховая сеть переменного тока распределена по всей территории цеха и питает все установки небольшой и средней мощности (до 100 кВА). Установки большой мощности (свыше 100 кВА) питаются от отдельных (автономных) подстанций.

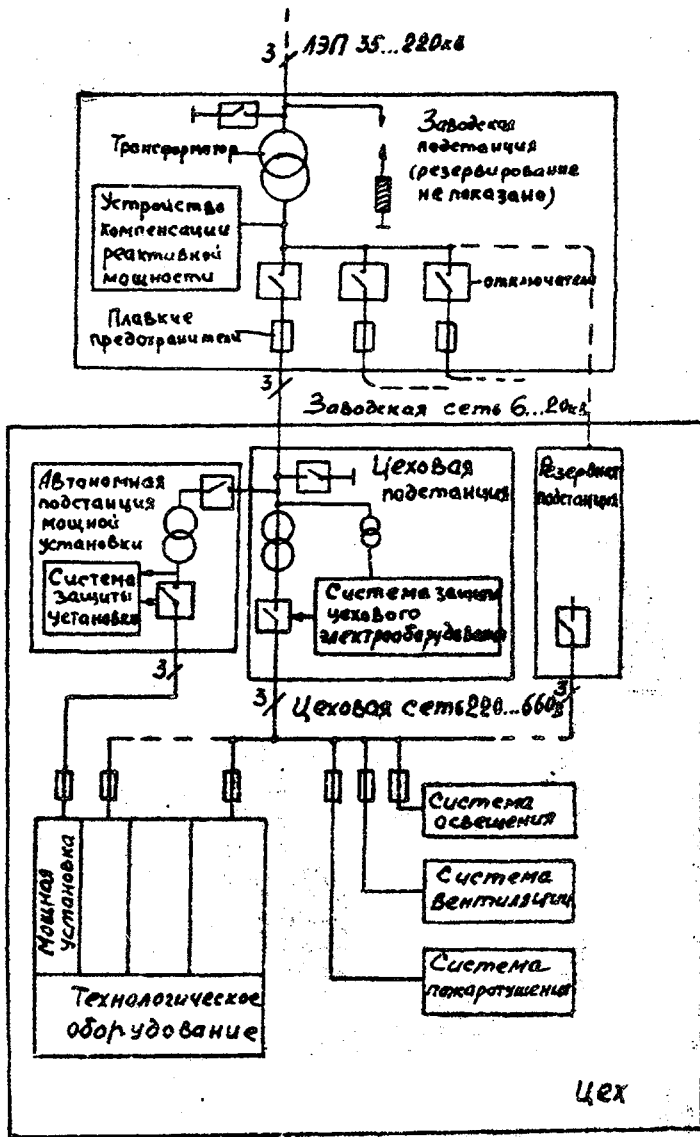


Рис. 1.1

В металлургических цехах не допускается прекращение подачи электроэнергии даже на короткое время. Поэтому в цеховых системах электроснабжения применяется резервирование электроснабжающих цепей. Резервирование предусматривает подвод питания через два отдельных трансформатора (или две подстанции), каждый из которых должен иметь мощность, необходимую для всего цеха. Система энергопотребления состоит из двух основных частей:

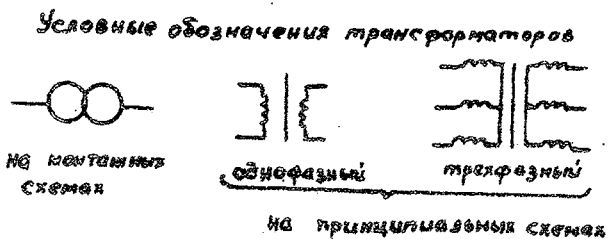
1. Технологическое электрооборудование (двигатели, печи, выпрямители, индукторы и т.д.).
2. Вспомогательное электрооборудование (освещение, вентиляция, система пожаротушения и т.д.).

1.3. Основные элементы системы электроснабжения и электропотребления

Основными элементами системы электроснабжения цеха являются трансформаторы, отключатели, предохранители, защитные реле (токовые и тепловые). Кроме того, весьма распространенным электротехническим устройством в цеховом электропотреблении являются люминесцентные осветительные лампы. Кратко рассмотрим устройство, принцип действия и некоторые особенности этих элементов.

1.3.1. Трансформатор

Трансформаторы являются важнейшими элементами в системе электроснабжения промышленных цехов. Обозначения трансформаторов на схемах показаны на рис. 1.1 и 1.2.



Р и с. 1.2

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения с сохранением частоты тока.

Главные свойства трансформатора:

1. Преобразование напряжения и силы тока. Понижающий трансформатор уменьшает напряжение, но пропорционально увеличивает силу тока. Повышающий - наоборот.

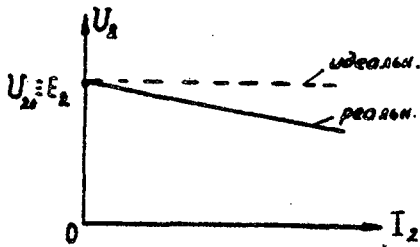
2. Гальваническое разделение цепей. Связь между первичной и вторичной цепями трансформатора осуществляется только через магнитное поле.

3. Высокий КПД (90...99%). Мощность, потребляемая трансформатором от источника энергии, близка к отдаваемой мощности.

Принцип действия трансформатора следующий. Первичная обмотка подключена к источнику энергии, который создает в первичной обмотке ток. Этот ток создает магнитный поток (пропорциональный первичному напряжению). Магнитный поток, проходя по замкнутому магнитопроводу, пронизывает вторичную обмотку и индуцирует в ней электродвижущую силу (ЭДС), которая создает вторичный ток, питающий потребителя и образующий на сопротивлении потребителя падение напряжения. Вторичный ток создает свой вторичный магнитный поток, который направлен встречно первичному потоку и оказывает размагничивающее действие. Это привело бы к уменьшению общего магнитного потока, если бы при этом не возрастал первичный ток, компенсирующий размагничивающее действие вторичного тока. В результате магнитный поток в трансформаторе практически не изменяется при увеличении или уменьшении нагрузки, т.е. не зависит от силы токов в обмотках.

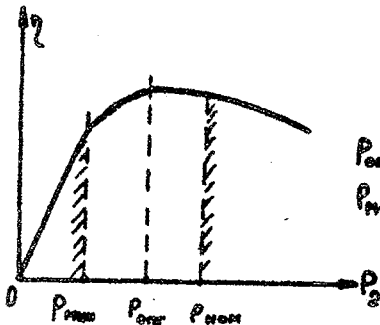
Для потребителя трансформатор выступает в роли реального источника переменного напряжения. Его внешняя вольт-амперная характеристика имеет типовой (обдетехнический) вид, показанный на рис. 1.3. При увеличении силы тока напряжение понижается. Если бы напряжение не понижалось, то при неограниченном увеличении силы тока трансформатор должен был бы отдавать бесконечную мощность, что технически нереализуемо.

Зависимость КПД трансформатора от нагрузки (тока или мощности, отдаваемых потребителю) имеет также обдетехнический характер и показана на рис. 1.4. При росте нагрузки КПД вначале растет, затем



Р и с. 1.3

трансформатора или один трехфазный. Трехфазные трансформаторы имеют меньшие (на 25%) габариты и массу по сравнению с тремя однофазными трансформаторами. Поэтому в промышленных цехах обычно используют трехфазные трансформаторы. Магнитопровод трехфазного трансформатора



Р и с. 1.4

$$P_{рег} = 0,7 P_{ном}$$

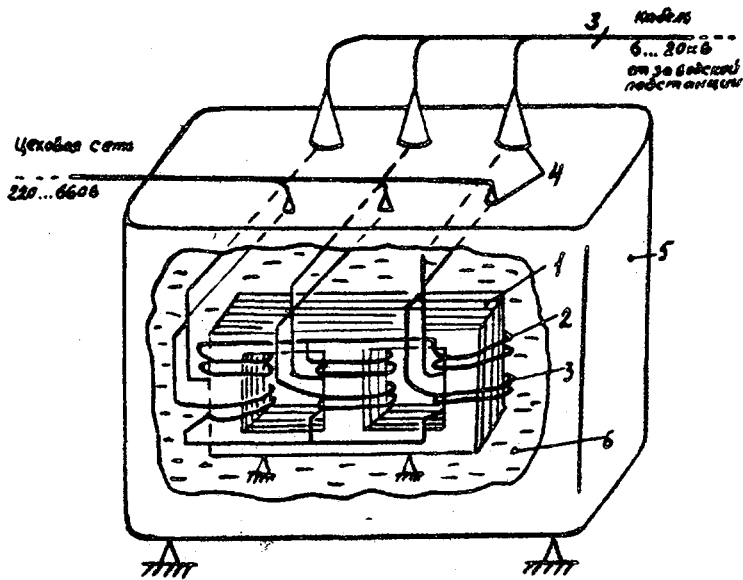
$$P_{ном} = 0,5 P_{ном}$$

имеет три стержня, на каждом из которых расположены первичная и вторичная обмотки одной из фаз (см. рис. 1.5). Трехфазный магнитопровод с обмотками располагается внутри бака, заполненного трансформаторным маслом. Масло обеспечивает конвективную передачу тепла от магнитопровода и обмоток к стенкам бака. Следует отметить, что чем больше номинальная мощность трансформатора, тем хуже условия его охлаждения. Ибо на нагрев трансформатора идут потери мощности, которые пропорциональны объему (кубу размеров) трансформатора, а охлаждение происходит с внешней поверхности, площадь которой пропорциональна квадрату линейных размеров трансформатора. Поэтому у трансформаторов очень большой мощности недостаточно одной поверхности бака и требуются дополнительные радиаторы.

достигает максимума и потом убывает. Номинальная мощность трансформатора (и любого другого массового технического устройства) выбирается таким образом, чтобы максимум КПД был при 30% недогрузке. В этом случае обеспечивается наибольший групповой КПД всех работающих трансформаторов.

В трехфазной цепи можно использовать три однофазных

трансформатора или один трехфазный. Трехфазные трансформаторы имеют меньшие (на 25%) габариты и массу по сравнению с тремя однофазными трансформаторами. Поэтому в промышленных цехах обычно используют трехфазные трансформаторы. Магнитопровод трехфазного трансформатора имеет три стержня, на каждом из которых расположены первичная и вторичная обмотки одной из фаз (см. рис. 1.5). Трехфазный магнитопровод с обмотками располагается внутри бака, заполненного трансформаторным маслом. Масло обеспечивает конвективную передачу тепла от магнитопровода и обмоток к стенкам бака. Следует отметить, что чем больше номинальная мощность трансформатора, тем хуже условия его охлаждения. Ибо на нагрев трансформатора идут потери мощности, которые пропорциональны объему (кубу размеров) трансформатора, а охлаждение происходит с внешней поверхности, площадь которой пропорциональна квадрату линейных размеров трансформатора. Поэтому у трансформаторов очень большой мощности недостаточно одной поверхности бака и требуются дополнительные радиаторы.



- 1 - Магнитопровод
- 2 - Первичная обмотка (высокого напряжения)
- 3 - Вторичная обмотка (низкого напряжения)
- 4 - Изоляторы
- 5 - Бак
- 6 - трансформаторное масло

Р и с. I.5

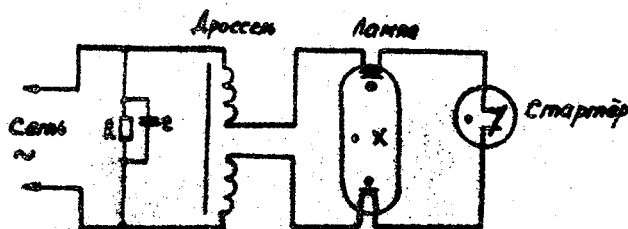
Мощный трансформатор может представлять опасность для окружающих в случае его неправильной эксплуатации. Например, при отключенной или неисправной системе защиты от перегрузок аварийное короткое замыкание (где-либо в цеховой сети) приводит к многократному (в 1000 - 2000 раз) увеличению мощности потерь, т.е. скорости выделения энергии в трансформаторе. В результате нагрев трансформатора идет так быстро, что бак взрывается, масло воспламеняется и разбрызгивается. Возникает пожар. Последствия такой аварии надолго выводят цех из работоспособного состояния. Поэтому для цеховых трансформаторов (и цеха в целом) большое значение имеет исправная и надежная система защиты.

1.3.2. Электролюминесцентные лампы

Значительная часть электрической энергии в промышленных цехах (20...30%) расходуется на освещение. Поэтому необходимо использовать наиболее экономичные люминесцентные лампы, КПД которых в четыре раза выше, чем у ламп накаливания.

В электролюминесцентных лампах происходит тлеющий электрический разряд в газовой среде низкого давления (пары ртути). Образующееся при разряде ультрафиолетовое излучение преобразуется люминофором в видимый свет, за счет чего увеличивается светоотдача лампы.

Схема включения электролюминесцентной лампы показана на рис. 1.6. Для загорания лампы необходимо разогреть ее катоды. Диск лампы обеспечивается пуско-регулирующим аппаратом, в который входят дроссель и стартер. Работают они следующим образом.



Р и с. 1.6

При подаче сетевого напряжения (220 или 380 В) ток от сети протекает через дроссель, нормально замкнутый контакт стартера и катоды лампы. Сила тока ограничивается дросселем. Ток разогревает катоды и вызывает испускание электронов с их поверхности. Кроме того, ток разогревает термочувствительный контакт стартера, который размыкается. После этого напряжение на лампе увеличивается (даже выше сетевого за счет самоиндукции в дросселе). Это приводит к ионизации газа в лампе за счет движения электронов между электродами лампы. После ионизации газа происходит уменьшение напряжения на электродах лампы до 100 В, а оставшее напряжение падает на обмотках дросселя.

Чтобы контакты стартера снова не замкнулись, стартер устанавливается вблизи лампы и он подогревается теплотой лампы (300°С).

Особенностью электролюминесцентных ламп является то, что их можно применять только в закрытых помещениях при температуре от $+10^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$.

На рис. I.6 показаны резистор и конденсатор, назначение которых - защита выключателя от самоиндукции дросселя.

I.4. Система защиты цехового электрооборудования

Назначение системы защиты:

1. Локализовать неисправный участок систем электроснабжения и электропотребления, т.е. дать возможность дальнейшей работы исправным частям оборудования.

2. Защитить (отключением) неисправный объект от полного уничтожения, чтобы в дальнейшем (после ремонта) вновь его использовать.

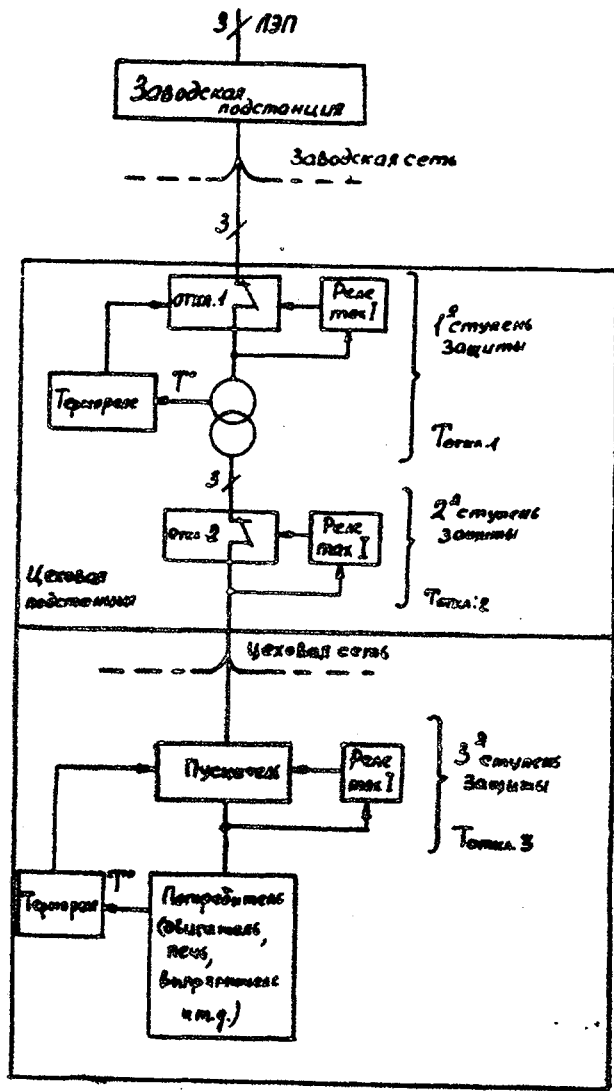
Для реализации этих целей все электрооборудование в цехе снабжено подсистемами и устройствами защиты от перегрузки и перегрева.

I.4.1. Структура системы защиты

Упрощенная схема защиты цехового электрооборудования изображена на рис. I.7.

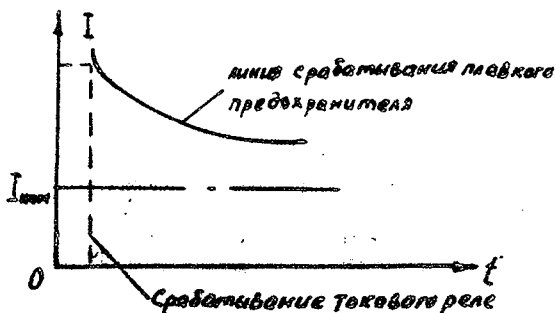
Для защиты заводской сети от неисправностей в цеховом электрооборудовании предназначен трехфазный отключатель №1 (откл. 1). Он отключает цеховую сеть от заводской при перегрузке или перегреве входного цехового трансформатора. В случае неисправности в цеховой сети отключение этой сети от цехового трансформатора производится отключателем №2 (откл. 2), который срабатывает при перегрузке в цеховой сети. Для защиты цеховой сети от неисправностей у отдельных потребителей служат пускатели, которые отключают неисправного потребителя от сети. Признаком неисправности служат перегрузка по току или перегрев оборудования.

Система цехового электрооборудования является трехступенчатой. Низшая (третья) ступень защиты является наиболее быстродействующей (т.е. время ее срабатывания минимально $T_{\text{откл.3}} < T_{\text{откл.2}} < T_{\text{откл.1}}$). Несколько медленнее срабатывает вторая ступень защиты (откл.2). Еще медленнее - первая ступень (откл. 1). В результате различия времени срабатывания ступеней защиты обеспечивается лока-



Р и с. 1.7

дизайна неисправного участка и не срабатывают все ступени одновременно при любой неисправности в любом месте системы. Защитное отключение элементов систем электроснабжения и электропотребления осуществляется с помощью следующих элементов: плавкие предохранители, токовые реле, тепловые реле. Токовые реле отключают защищаемый участок цепи в случае кратковременного превышения силой тока (в защищаемом участке) допустимого значения. Плавкие предохранители отключают защищаемую цепь как при больших кратковременных перегрузках по току, так и при небольших, но длительных перегрузках (см. рис. I.8). Тепловые реле срабатывают при перегреве защищаемого устройства, что не всегда связано с перегрузкой по току.



Р и с. I.8

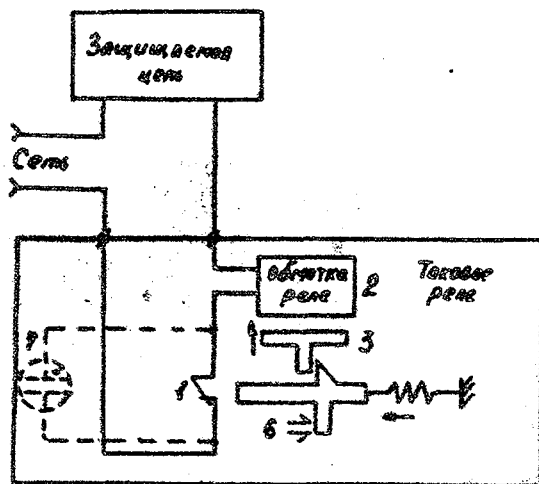
В исправных трехфазных промышленных цепях нагрузка всегда симметричная. Поэтому достаточно контролировать две любые фазы из трех (ток в третьей фазе однозначно определяется двумя другими). Если один из двух контролируемых токов превысит допустимое значение, то производится отключение защищаемой трехфазной цепи.

В осветительных трехфазных цепях почти всегда присутствует несимметричная нагрузки. Поэтому в таких цепях обязательным является наличие нейтрального провода и в защитной системе контролируются все три фазы. Срабатывание системы защиты (отключение) происходит в каждой фазе автономно.

1.4.2. Токовые реле

Токовые реле бывает разные. Одни срабатывают при увеличении силы тока, другие - при уменьшении, третьи - если сила тока заданное время держится выше допустимого уровня и т.д.

Наиболее распространены реле максимального тока. Рассмотрим его принцип действия (рис. 1.9). В исходном положении нормально замкнутый контакт I замкнут и пропускает ток в защищаемую цепь через обмотку реле 2. Если сила тока в защищаемой цепи превысит допустимое значение, то обмотка реле притянет защелку 3, которая освободит толкатель 4. Последний под действием пружины 5 надавит на контакт I и разомкнет его. В результате защищаемая цепь будет отключена. После устранения причины перегрузок, нажатием на кнопку 6, возвращают реле в исходное состояние.



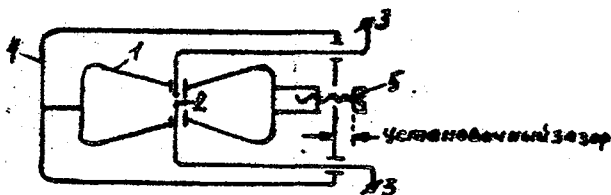
Р и с. 1.9

В промышленных цехах находится большое количество таких реле. Поэтому, для облегчения поиска сработавшего реле (т.е. неисправного участка цепи) параллельно контактам I подключают неоновую лампу 7.

При размыкании контактов I. к лампе 7 прикладывается сетевое напряжение. Лампа светится, что служит указанием на срабатывание данного реле.

1.4.3. Тепловые реле

Тепловые реле бывают разные. Одни срабатывают при повышении температуры, другие - при понижении. Рассмотрим вариант термореле, срабатывающего при повышении температуры. Конструкция такого реле схематично показана на рис. 1.10. Основным элементом термореле является пружина I, на которой (в средней части) установлены (на изоляторах) нормально замкнутые электрические контакты 2, соединенные с внешними клеммами 3. Одним концом пружина 2 прикреплена к термочувствительному (латунному) корпусу 4, а на другом конце пружины I расположен регулировочный винт 5, с помощью которого устанавливается начальный зазор между корпусом 4 и головкой винта 5.

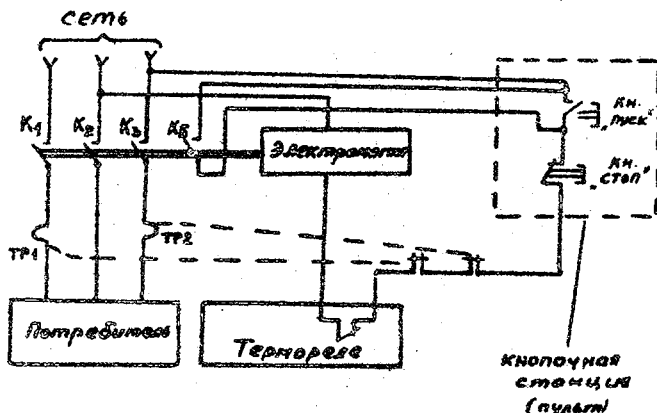


Р и с. 1.10

В исходном положении контакты 2 замкнуты. При нагревании термореле корпус 4 удлиняется и тянет пружину I в продольном направлении, за счет чего уменьшается зазор между корпусом 4 и головкой винта 5. При приближении к температуре срабатывания винт 5 упирается в корпус 4. Дальнейшее удлинение корпуса 4 приводит к растяжению пружины I в продольном направлении, что сопровождается ее деформацией в поперечном направлении. В результате средние участки пружины раздвигаются и контакты 2 размыкаются, что приводит к отключению защищаемого устройства. Вращая винт 5, можно изменять начальный зазор между корпусом 4 и головкой винта 5, что приводит к изменению температуры срабатывания реле. Возврат реле в исходное состояние происходит при остывании корпуса 4.

1.4.4. Магнитный пускатель

Магнитный пускатель является одним из наиболее массовых коммутационных и защитных устройств. Схема электрических цепей магнитного пускателя изображена на рис. 1.11.



Р и с. 1.11

Магнитный пускатель осуществляет подключение и отключение потребителя к сети посредством нажатия кнопок "пуск" и "стоп". Кроме того, магнитный пускатель осуществляет автоматическое защитное отключение потребителя от сети при перегрузке по току или перегреве потребителя.

Работа магнитного пускателя происходит следующим образом. В исходном положении потребитель отключен от сети нормально разомкнутыми контактами K1, K2, K3. При нажатии на кнопку "пуск" замыкается цепь оперативного тока и через обмотку электромагнита течет ток, который вызывает замыкание контактов K1, K2, K3 и нормально разомкнутого блокировочного контакта K4. Далее, при отпускании кнопки "пуск", оперативная цепь остается замкнутой через блокировочный контакт. В это время потребитель подключен к сети. При нажатии на кнопку "стоп" оперативная цепь размыкается, электромагнит обесточивается и контакты K1, K2, K3, K4 возвращаются в исходное состояние. Аналогично кнопке "стоп" действуют два токовых реле (TR1, TR2) и термореле.

1.5. Компенсация реактивной мощности

В промышленных цехах и предприятиях электрические цепи обычно имеют активно-индуктивный характер. Поэтому в электрических цепях протекают не только полезные активные токи, но и бесполезные реактивные токи. Реактивные токи, протекая по обмоткам трансформаторов и по проводам заводской и цеховой сетей, нагревают их и приводят к увеличению потерь мощности, а также уменьшают эффективность использования кабелей. В идеальной сети реактивные токи должны отсутствовать. Этот случай соответствует условию $\cos \varphi = 1$. В реальных сетях $\cos \varphi < 1$. Чем меньше $\cos \varphi$, тем больше доля реактивного тока в общем токе и тем хуже эффективность системы электроснабжения. Для уменьшения реактивных токов используют емкостные сопротивления, которые компенсируют влияние индуктивных сопротивлений. Емкостные сопротивления создаются с помощью конденсаторов, синхронных электромашинных компенсаторов или тиристорных компенсаторов, устанавливаемых на заводских подстанциях.

Принцип действия электромашинных или тиристорных компенсаторов реактивной мощности основан на изменении направления реактивного тока. В компенсаторах искусственно создают ток, опережающий напряжение, который эквивалентен емкостному току и может компенсировать реактивную часть тока потребителей энергии (двигателей, индукторов, магнитов, трансформаторов, люминесцентных ламп и т.д.).

Компенсация реактивной мощности имеет экономические стимулы. При значениях $0,9 \leq \cos \varphi \leq 0,92$ оплата за электроэнергию производится по основному тарифу. При повышении $\cos \varphi$ вводится скидка к тарифу, максимум которой (6%) достигается при $\cos \varphi = 1$. При уменьшении $\cos \varphi$ вводится надбавка к тарифу, максимум которой (85%) достигается при $\cos \varphi = 0,5$. Таким образом, экономически выгодно повышать коэффициент мощности.

2. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И УСТРОЙСТВА В ЦЕХАХ ОМД

2.1. Классификация электротехнологических процессов и устройств

Электротехнологические процессы и устройства весьма разнообразны. Эти процессы и устройства, а также связи между ними схематично представлены на рис. 2.1.

В данном пособии ограничимся рассмотрением только некоторых типов процессов и устройств, учитывая то, что другие процессы и устройства должны быть рассмотрены в других учебных дисциплинах.

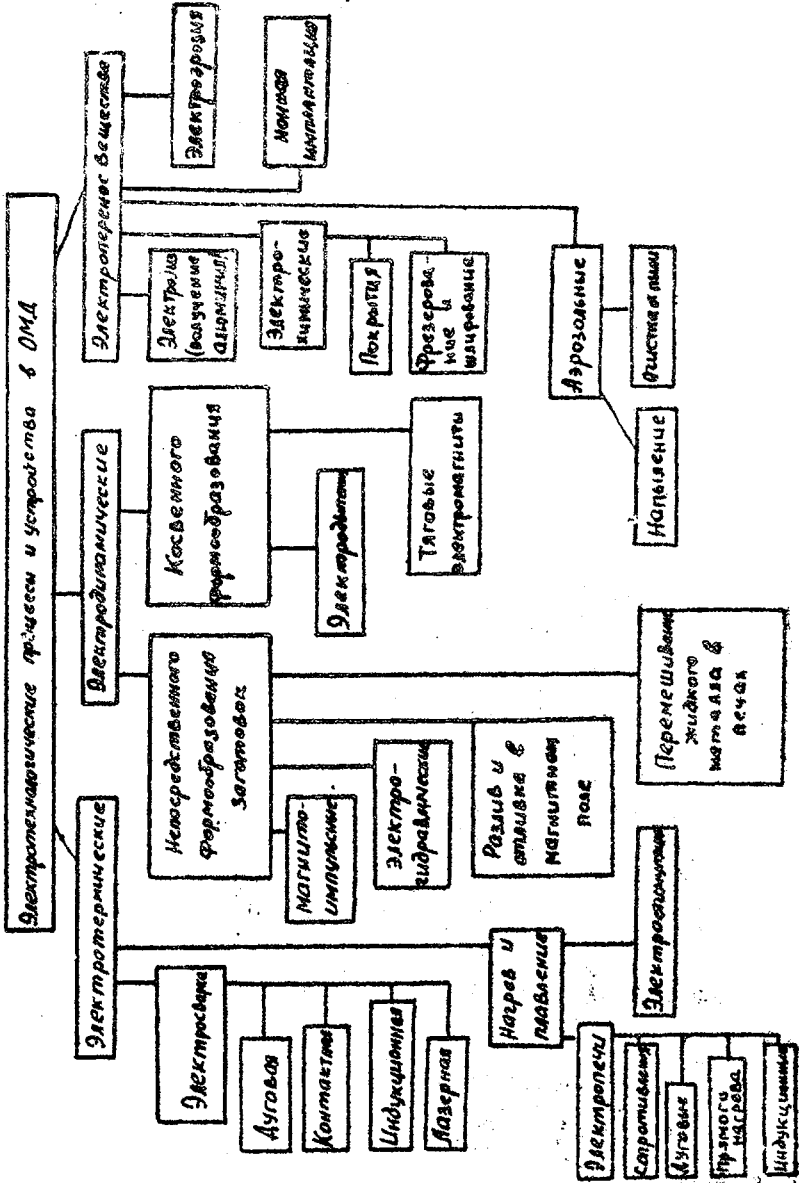
2.2. Индукционная сварка труб

Такая сварка применяется непосредственно в технологических процессах ОМД. Здесь сварка происходит за счет совместного действия нагрева свариваемой кромки металла и его обжатия.

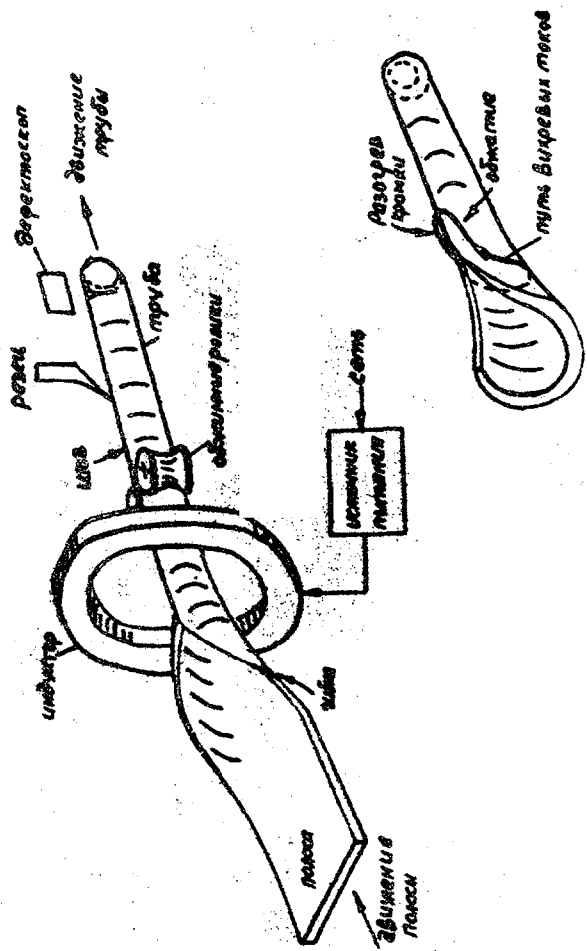
Принцип действия установки для непрерывной индукционной сварки труб поясняет рис. 2.2. Труба формируется гибкой из полосы. В месте смыкания краев изогнутой полосы установлен индуктор, который создает в заготовке вихревые токи. Вихревые токи проходят вблизи кромок изогнутой полосы и разогревают их. Затем обжатие создает условия для контактной сварки. Так образуется шов. Из-за обжатия на шве формируется грат, который срезается резаком при движении сваренной трубы. Далее шов контролируется электромагнитным дефектоскопом для выявления непроваров.

2.3. Сварочное электрооборудование для дуговой сварки

Сварочное электрооборудование для дуговой сварки строится как на основе постоянного, так и переменного токов. Сварочные аппараты переменного тока имеют следующие преимущества:



Р и с. 2.1

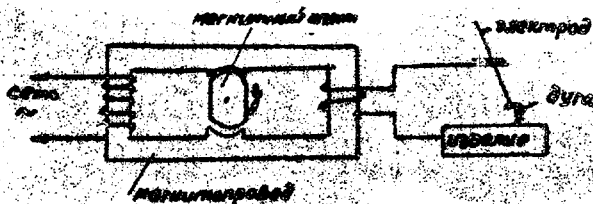


Р И С. 2.2

- 1) меньше стоимость оборудования и дешевле эксплуатация;
- 2) проще и надежнее, чем оборудование постоянного тока;
- 3) выше КПД.

Вольт-амперная характеристика дуги имеет гиперболический характер. Поэтому для устойчивого поддержания процесса горения дуги требуется иметь вольт-амперную характеристику сварочного аппарата, близкую к характеристике реального источника тока. Такую характеристику можно получить для источника напряжения с повышенным внутренним сопротивлением.

Современные сварочные аппараты переменного тока выполняются в виде трансформатора (понижающего) с повышенным магнитным рассеянием. А плавное регулирование силы сварочного тока осуществляется за счет изменения положения магнитного шунта (рис. 2.3). Увеличивая зазор в магнитопроводе (поворачивая магнитный шунт), можно увеличить силу тока в дуге, снижая при этом напряжение холостого хода.



Р и с. 2.3

Существуют автоматические сварочные аппараты, в которых расходный электрод является проволокой. Скорость подачи проволоки не зависит от напряжения на дуге, ибо при случайном уменьшении длины дуги напряжение падает, увеличивается сила тока, усиливается нагрев и плавление проволоки. В результате длина дуги увеличивается и процесс стабилизируется. Существуют автоматические подвесные сварочные головки, самоходные сварочные головки, сварочные тракторы.

Разновидностью дуговой сварки является плазменная сварка. Здесь дуга горит между двумя коаксиальными электродами, между которыми продувается газ (аргон). Газ выносит дугу за пределы электродов и разогревает свариваемые детали. Газ, выходящий из плазмотрона, создает требуемую атмосферу в зоне горения дуги и плавления деталей.

При проведении дуговой сварки, кроме поражения электрическим током имеются следующие опасные эффекты:

- 1) излучение открытой дуги;
- 2) возможность ожога;
- 3) возможность отравления токсичными газами и парами;
- 4) взрывоопасность при работе в зоне наличия горючих газов и паров;
- 5) пожарная опасность.

Поэтому при работе со сварочным оборудованием следует предусматривать мероприятия по технике безопасности.

2.4. Электростимуляция в СМД

Достоинства электроконтактного нагрева (прямого пропускания тока через заготовку) особенно ярко проявляются при прокатке. Таковую прокатку, совмещенную с локальным нагревом заготовки электрическим током в зоне деформации, называют электростимулированной.

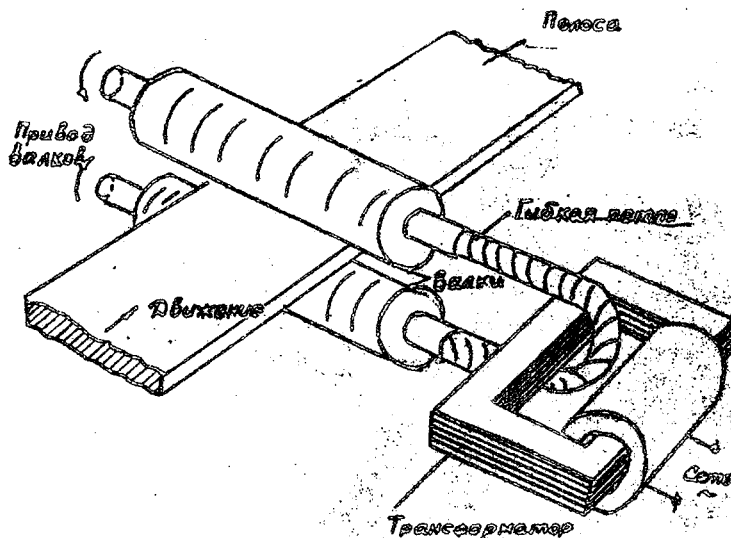
При прокатке заготовка движется между вальками и обжимается ими. Электрический ток к заготовке подводится через вальки и нагревает только тот участок заготовки, который в данный момент подвергается деформации. Этим объясняется высокая экономичность электроконтактного нагрева. Такая технология позволяет обрабатывать очень тонкие заготовки, а также заготовки из легкоокисляющихся металлов. Поскольку при электростимулированной прокатке горячий участок металла захват между вальками, доступна воздуха к нему практически нет и металл не окисляется. Второе достоинство электростимуляцией прокатки состоит в уменьшении сил трения между вальками и заготовкой. Это происходит за счет того, что микровыступы на заготовке нагреваются сильнее, чем другие участки, легче деформируются и даже оплавляются. Более сильный разогрев микровыступов обусловлен тем, что электрический контакт между вальком и заготовкой осуществляется по выступам контактирующих деталей. Таким образом, электрический ток оказывает действие, эквивалентное смазке.

Третье достоинство электростимулированной прокатки состоит в том, что заготовки выдерживают большую, чем обычно, деформацию. Это позволяет сократить число проходов, что удешевляет производство. Большие деформации опасны образованием дефектов (трещин). Вблизи трещины электрическое сопротивление металла возрастает (т.к. ток должен

огибать трещину и его путь удлиняется). Поэтому вблизи трещины выделяется больше теплоты, чем в бездефектных местах. В результате микротрещины завариваются, а более крупные трещины оплавляются по краям и их рост прекращается.

Электростимулированная прокатка открывает возможности для прокатки самых тугоплавких и труднодеформируемых металлов - молибдена, вольфрама, рения и их сплавов.

При прокатке широких полос необходим весьма большой ток, и его подведение к вращающимся валкам становится сложной проблемой. Для устранения скользящих контактов ток к валкам подает с помощью гибкой вращающейся петли из многожильного провода (каната), приваренной к валкам и являющейся вторичной обмоткой понижающего трансформатора (рис. 2.4). Электростимуляция процессов в ОМД может применяться не только в прокатке, но и в штамповке.



Р и с . 2.4

2.5. Электродинамические процессы и устройства в цехах ОМД

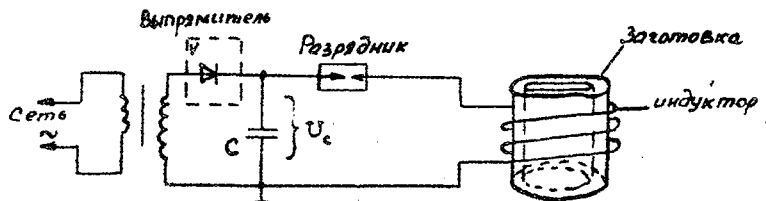
Электродинамические процессы и устройства в ОМД разделяются на две группы (см. рис. 2.1):

- 1) оказывающие непосредственное воздействие электромагнитных полей на заготовку с целью ее термообработки;
- 2) оказывающие косвенное воздействие на заготовку посредством преобразования электрической энергии в механическую.

Кратко рассмотрим основные процессы и устройства из этих двух групп.

2.5.1. Магнитоимпульсная ОМД

При магнитоимпульсной обработке металлов заготовки подвергаются пластической деформации под действием сильных магнитных полей. Здесь деформирующее усилие возникает внутри деформируемого металла за счет взаимодействия вихревых токов (импульсных), создающихся их магнитным полем. Возникающее в этом случае давление (при сильном магнитном поле) может достигать нескольких тонн или даже десятков тонн на квадратный сантиметр поверхности заготовки. Нарастание магнитного поля должно происходить достаточно быстро, чтобы вихревые токи не успели (за время деформации) проникнуть за стенку изделия, иначе заготовка будет испытывать давление с двух сторон и деформация не произойдет. Здесь следует отметить, что скорость нарастания магнитного поля аналогична частоте. Поэтому, чем выше скорость нарастания магнитного поля, тем меньше глубина проникновения вихревых токов (см. табл. 2.1).



Р и с. 2.5

Т а б л и ц а 2.1

Глубина проникновения электрического тока в металл (мм)

Параметр	Материал									
	Сталь		Медь		Латунь		Алюминий			
$t^{\circ}C$	20	1000	20	1000	20	850	20	600		
ρ , ом·м	$10 \cdot 10^{-8}$	$130 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-8}$	$14,7 \cdot 10^{-8}$	$2,9 \cdot 10^{-8}$	$11,3 \cdot 10^{-8}$		
$\mu_{отн}$	60	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Частота	50	2,8	85,5	9,5	23,5	18,7	27,4	12,0	24,0	
	1000	0,64	19,0	2,1	5,1	4,2	6,1	2,7	5,4	
	8000	0,22	6,7	0,75	1,8	1,5	2,2	1,0	1,7	
f , Гц	70000	0,07	2,2	0,35	0,55	0,5	0,7	0,3	0,6	
	250000	0,04	1,2	0,1	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	

На рис. 2.5 схематично показан вариант установки для магнитоимпульсной ОМД. Здесь трубчатая заготовка помещена в индуктор, подключенный к источнику питания. Если пропустить через индуктор импульс тока большой амплитуды, то вокруг индуктора создается мощный импульс магнитного поля. Это поле возбуждает в заготовке импульсный вихревой ток, взаимодействующий с магнитным полем и порождающий обжимающее давление на поверхность заготовки. Если внутри заготовки поместить оправку, то заготовка, обжимаясь, примет форму этой оправки.

Если индуктор расположить внутри заготовки, то на нее будет действовать распирающее давление. Возможны также варианты с деформацией плоских заготовок.

Витки индуктора подвергаются большим усилиям, поэтому конструкция индуктора должна быть достаточно жесткой. Кроме того, индуктор снабжает водяным охлаждением для защиты от перегрева.

Электрическая часть установки для магнитоимпульсной ОМД работает следующим образом. Электрический ток от сети через повышающий трансформатор и выпрямитель заряжает конденсатор до высокого напряжения (5...20 кВ). Энергия, запасенная в конденсаторе $\mathcal{E}_c = cU_c^2/2$, где c - емкость конденсатора. В процессе заряда напряжение на конденсаторе возрастает. Когда напряжение достигнет напряжения пробоя разрядника, в последнем возникнет дуговой разряд. Электрическая дуга замыкает (как проводник) цепь разряда конденсатора через катушку индуктора. Сопротивление индуктора обычно невелико, и сила тока в катушке достигает тысяч ампер (но на короткое время).

Заготовка как бы представляет собой короткозамкнутую вторичную обмотку понижающего трансформатора, первичной обмоткой которого является катушка индуктора. Сила вихревых токов в заготовке больше, чем ток в индукторе в число раз, равное числу витков индуктора. Большой ток в заготовке разогревает ее и облегчает деформацию (происходит электростимуляция).

В современных установках магнитоимпульсной ОМД в качестве разрядника используют специальные коммутационные электронные лампы большой мощности (игнитроны и др.). В таких лампах создается дуговой разряд, который инициируется специальным сигналом управления.

Опасность установок магнитоимпульсной ОМД состоит в высоком напряжении (5...20 кВ) на накопительном конденсаторе, поэтому установки требуют специального ограждения.

2.5.2. Электрогидравлическая ОМД

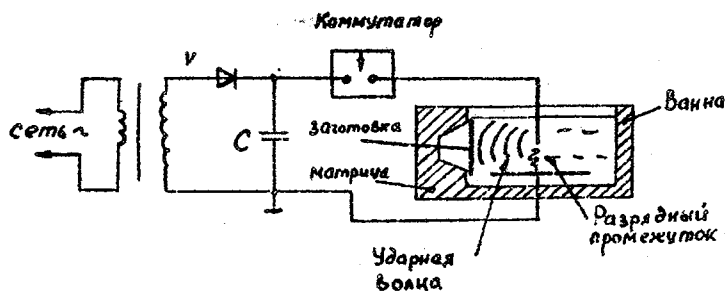
Электрогидравлическая ОМД основана на использовании ударных волн, возникающих в жидкостях при быстром выделении энергии (взрыве). (Скорость выделения энергии – это мощность). При создании в жидкости кратковременного электрического разряда большой мощности возникает ударная волна давления большой силы, распространяющаяся во все стороны в плоскости, перпендикулярной оси разряда.

Электрогидравлические установки применяются для штамповки, вытяжки, гибки, развальцовки и других операций холодной деформации металла. Лист металла укладывают на матрицу и помещают в ванну. Ударная волна прогибает лист, принимая форму матрицы, как при обычной механической штамповке, но роль пуансона играет электрогидравлический удар.

Другим применением электрогидравлической обработки металлов является очистка литья от пригара и окалины, а также выбивка литейных стержней.

Третье применение электрогидравлической обработки – дробление хрупких твердых материалов (например, стекло, камни).

Схема электрической части электрогидравлической установки (рис. 2.6) подобна схеме устройства для магнитоимпульсной обработки.



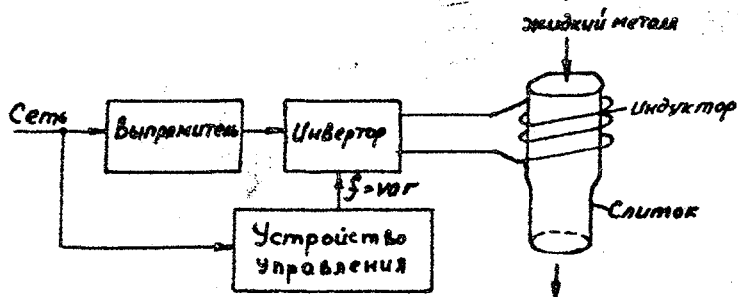
Р и с . 2.6

Работа электрической части электрогидравлической установки происходит следующим образом. Высоковольтный трансформатор через выпрямитель заряжает накопительный конденсатор. При замыкании коммутатора напряжение, накопленное в конденсаторе, подается на разрядный промежуток и вызывает электрический пробой в жидкости. Возникает электрическая дуга, в которой быстро выделяется большая мощность - происходит взрыв. Взрыв создает ударную волну, деформирующую заготовку. Опасность электрогидравлических установок состоит в высоком напряжении на конденсаторе.

2.5.3. Разлив металла в магнитном поле

Вихревые токи, протекающие в заготовке, помещенной в индуктор, бесконтактно обжимают металл заготовки и деформируют ее. Аналогичным образом можно бесконтактно обжарить расплавленный металл и удерживать его до застывания. На этом основан принцип разлива металла в магнитном поле.

Схема электромагнитного кристаллизатора показана на рис. 2.7.



Р и с. 2.7

Здесь инвертор формирует переменное напряжение высокой частоты, которое питает индуктор. Магнитное поле индуктора обжимает жидкий металл и придает ему форму слитка. По мере остывания металла его нижнюю часть опускают вниз, а сверху наливает жидкий металл. Такой процесс может идти непрерывно.

2.5.4. Перемешивание жидкого металла в печах

Для обеспечения однородности свойств жидкого металла в печи его следует перемешивать. Наиболее удобно выполнять перемешивание бесконтактным способом посредством вращающегося магнитного поля. Вращающееся магнитное поле создается аналогично тому, как это делается в асинхронных электродвигателях. Вращающееся магнитное поле создает в жидком металле вихревые токи (подобно токам в роторе асинхронного электродвигателя), которые взаимодействуют с породившим их вращающимся магнитным полем и создают силу, действующую на жидкий металл и заставляющую его перемещаться в направлении вращения поля.

2.5.5. Электродвигатели, используемые в ОМД

В основном технологическом оборудовании ОМД используются два типа электродвигателей: асинхронные (АД) и двигатели постоянного тока (ДПТ). Другие типы электродвигателей (синхронные, шаговые и т.д.) применяются во вспомогательном технологическом оборудовании. В данном пособии ограничимся краткими сведениями о АД и ДПТ.

Электродвигатели преобразуют электрическую энергию в механическую. Существуют разные типы электродвигателей. Они различаются по виду перемещения подвижной части (линейные и вращающиеся), принципу действия (синхронные и асинхронные), роду тока.

Линейные электродвигатели (т.е. с прямолинейным перемещением подвижной части) сравнительно мало распространены в технике, но имеют важное значение для ОМД. Они позволяют строить оборудование ОМД с возвратно-поступательным движением рабочего органа (пресс, штамп, молот) без промежуточных кулачковых и кривошипных механизмов. Сейчас имеются линейные электродвигатели, развивающие усилие до 20 тонн. Однако наиболее распространенными пока остаются двигатели с вращающейся подвижной частью (ротором).

Принцип действия вращающихся электродвигателей основан на создании вращающегося магнитного поля. В ДПТ вращающееся магнитное поле создается в роторе, а в АД вращающееся магнитное поле создается в статоре.

Основные достоинства электродвигателей по сравнению с другими типами двигателей (тепловыми, гидравлическими и т.д.):

I) удобство подведения энергии к двигателям;

2) удобство управления, в том числе автоматического (сейчас все управляющие устройства и системы работают с электрическими сигналами);

3) экологическая и санитарная чистота.

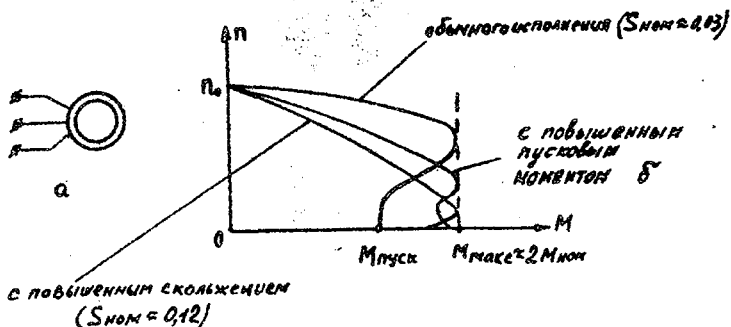
Основным недостатком мощных электродвигателей является худшее по сравнению с тепловыми машинами (в 2 раза) соотношение массы и мощности. У маломощных электродвигателей этот недостаток исчезает, ибо маломощные тепловые двигатели неэффективны. Сравнение свойств электродвигателей, применяемых в АД, приведено в табл. 2.2.

Асинхронный электродвигатель (АД)

Принцип действия АД основан на следующем:

- 1) создание трехфазного вращающегося магнитного поля в статоре;
- 2) трансформаторная бесконтактная передача энергии из обмоток статора в обмотки ротора;
- 3) взаимодействие магнитных полей ротора и статора, создающее вращающий момент в роторе.

Обозначение АД показано на рис. 2.8а. Механическая характеристика АД показана на рис. 2.8б.



Р и с. 2.8

Характерными особенностями АД являются:

- 1) ограниченность вращающего момента;
- 2) жесткость механической характеристики – т.е. малые изменения скорости (не более 5%) при изменении механической нагрузки на валу от холостого хода до максимума.

Т а б л и ц а 2.2

Регулировочные свойства электродвигателей

Тип двигателя	Способ регулирования скорости	Зона регул.	Диапазон регулирования	Применение
Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением	Изменением напряжения на роторе	вниз	100:1 плавное	Прокатные станы, прессы и др. механизмы, требующие большого диапазона регулирования, плавности и линейности
Асинхронный с фазным ротором	Изменением сопротивления в цепи ротора	вниз	2:1 ступенчатое и плавное 3:1 плавное	Прессы, транспортеры, механизмы кранов
Асинхронный с короткозамкнутым ротором	Изменением напряжения статора Изменением частоты с координатой силы тока Переключением числа пар полюсов	вверх и вниз	50:1 плавное 4:1 ступенчатое	Ролиганги, центрифуги прессы

Основные достоинства АД связаны с простотой его конструкции.

К достоинствам относятся:

- 1) высокая надежность;
- 2) низкая стоимость;
- 3) простота эксплуатации и обслуживания.

Недостатком АД является трудность плавного регулирования скорости вращения ротора.

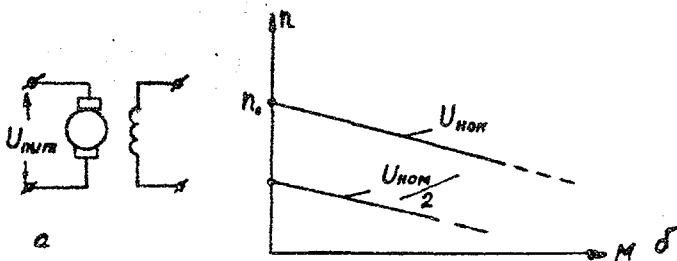
Двигатель постоянного тока (ДПТ)

с независимым возбуждением

Принцип действия такого двигателя основан на следующем:

- 1) создание вращающегося магнитного поля в роторе и неподвижного магнитного поля возбуждения в статоре;
- 2) взаимодействие магнитных полей ротора и статора, создающее вращающий момент в роторе.

Обозначение ДПТ показано на рис. 2.9а. Магнитное поле в роторе всегда направлено таким образом, чтобы создавать максимальный вращающий момент, и при повороте ротора его магнитное поле поворачивается относительно ротора, оставаясь неподвижным относительно статора. Поворот магнитного поля ротора осуществляется переключением тока в нужные части (секции) обмотки ротора.



Р и с. 2.9

Механическая характеристика ДПТ показана на рис. 2.9б: Характерными особенностями ДПТ являются:

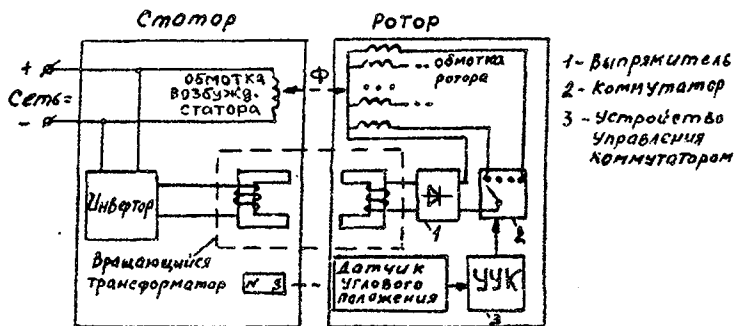
- 1) возможность плавной регулировки скорости вращения ротора при изменении напряжения питания ротора;

2) жесткость механической характеристики.

Основным достоинством ДПГ является возможность плавной и линейной регулировки скорости в широком диапазоне.

Основной недостаток ДПГ - это наличие скользящего электромеханического переключателя (коллектора). Этот недостаток порождает пониженную надежность, более трудоемкое обслуживание и более высокую стоимость по сравнению с АД.

Главное достоинство ДПГ настолько важно, что наличие серьезных недостатков не исключает применение ДПГ, а только заставляет искать пути устранения недостатков. Такой путь есть - построение бесколлекторных ДПГ, в которых роль коллектора (роль переключателя) выполнят электронные преобразователи, расположенные внутри двигателя. Функциональная схема бесколлекторного ДПГ показана на рис. 2.10.



Р и с. 2.10

Здесь (как и в коллекторном ДПГ) на статоре имеется обмотка возбуждения, а в роторе - обмотка ротора, состоящая из нескольких секций. Кроме того, в статоре и на валу ротора расположены две половинки вращающегося трансформатора, через который осуществляется передача энергии в ротор. Для питания трансформатора сетевое напряжение постоянного тока преобразуется в переменное напряжение инвертором. В роторе переменное выходное напряжение трансформатора превращается в постоянное с помощью выпрямителя. Затем коммутатор подключает это постоянное напряжение к нужной секции обмотки ротора. Для выбора под-

ключаемой секции обмотки ротора необходимо знать положение ротора относительно статора. Эту информацию дает датчик углового положения. Сигналы от датчика поступают в устройство управления коммутатором, где формируется код, управляющий работой коммутатора.

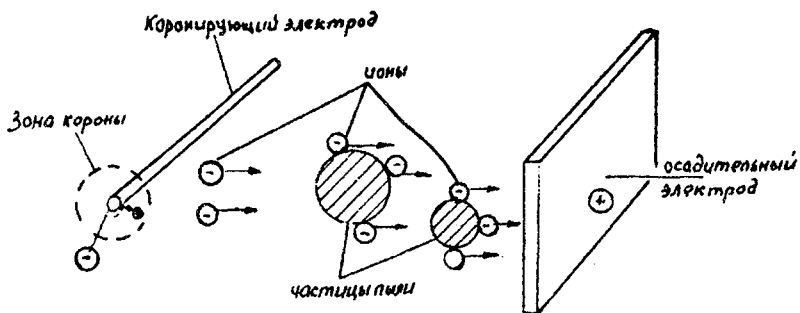
2.0. Коронные электрофилтры

Современные металлургические предприятия являются источниками загрязнения окружающей среды. Они выбрасывают в атмосферу вредные газы, пыль, капли и брызги. Взвеси мелких частиц (1 мкм и менее) называются аэрозолями. В них частицы находятся во взвешенном состоянии, т.к. уже при малых скоростях их движения силы, создаваемые сопротивлением среды, уравнивают силу тяжести частиц и они не падают, а образуют дым или туман. При движении газового потока взвеси движутся вместе с ним. Если в газовую среду поместить электроды и создать сильное электрическое поле, то из-за наличия в газе некоторого количества заряженных частиц начнется движение этих заряженных частиц под действием электрического поля. Процесс сильно ускоряется, если в газе расположить ионизатор, в качестве которого обычно используют коронный разряд.

Коронный разряд возникает в газе при резкой неоднородности электрического поля, которая обеспечивается резкой разницей в размерах электродов (например - один электрод плоский, а другой - стержневой).

Если напряженность электрического поля достигает 15 кВ/см и более, то вокруг электрода с малым радиусом кривизны начнется интенсивная ионизация газа (появление положительных и отрицательных ионов, направляющихся к соответствующим электродам). Одновременно с ионизацией газа происходит обратный процесс рекомбинации ионов, которые при возвращении их в нейтральное состояние испускают большое число фотонов. Поэтому область вокруг электрода с малым радиусом кривизны светится - это и есть признак коронного разряда.

Обычно коронный разряд возбуждают у отрицательного электрода. В этом случае образующиеся положительные ионы осаждаются на коронирующем электроде, а более подвижные электроны и отрицательные ионы перемещаются в сторону большого (внешнего) электрода (рис. 2.II).



Р и с. 2.II

Если в межэлектродном промежутке находится аэрозоли, то их частицы, сталкиваясь с ионами, захватывают их, электризуются и, став заряженными, направляются к внешнему электроду (рис.2.II). Так как зона короны сравнительно мала, то основная масса загрязненного газа проходит в зоне движения отрицательных ионов, захватывает их, и аэрозольные частицы оседают на внешнем (осадительном) электроде.

На этом принципе основана работа электрофильтров. По сравнению с другими средствами очистки, электрофильтры обладают следующими преимуществами:

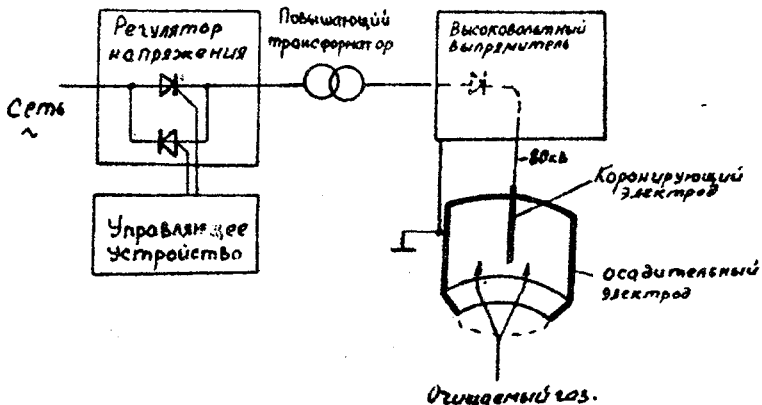
- 1) высокая эффективность (до 90%) очистки больших объемов газа;
- 2) возможность очистки газов от частиц размером от 100 до 0,1 мкм при концентрации частиц до 50 г/м^3 и при температуре до 500°C ;
- 3) малый расход электроэнергии.

Электрофильтры делают либо цилиндрическими, либо плоскими. Форма электродов разнообразна.

Для удаления осевшей на осадительных электродах пыли их периодически встряхивают с помощью молотково-ударных систем, где молоток наносит удары по нижней конструкции рамы осадительных электродов. Применяют также магнитоимпульсные системы, в которых удары по раме осуществляются бойком, сидящем на штоке электромагнита, и вибрационными механизмами, трясущими электроды.

Эффективность работы электрофильтров зависит от напряжения на электродах, от количества и размеров частиц в газе. Поэтому напряже-

ние на электрофильтре требуется регулировать. Это осуществляется тиристорным регулятором переменного напряжения. Схема цепи электропитания электрофильтра показана на рис. 2.12.



Р и с . 2.12

3. ЭЛЕКТРОПРИВОД В ОБОРУДОВАНИИ ОМД

3.1. Роль и виды электропривода

Электроприводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенная для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины (станка, стана) и управления этим движением. Электропривод оказал очень большое влияние на весь технический прогресс во второй половине XX века. Достоинства и недостатки электропривода такие же, как и у электродвигателей.

Роль электропривода в оборудовании металлообрабатывающих цехов вообще, и цехов ОМД в частности, столь велика, что для ее оценки лучше всего представить себе, что стало бы с металлообрабатывающим оборудованием, если бы вдруг исчезли все электродвигатели.

В зависимости от способа передачи механической энергии к исполнительным органам рабочих машин и взаимодействия между ними, электропривод подразделяется на несколько типов, которые хронологически возникли в следующей последовательности:

1. Групповой электропривод. Обеспечивает движение исполнительных органов нескольких рабочих машин от одного электродвигателя. Был распространен до 1930 г.

2. Индивидуальный электропривод. Обеспечивает движение всех органов одной рабочей машины от одного электродвигателя. Был распространен до 1960 г.

3. Многодвигательный электропривод. Здесь каждый рабочий орган каждой машины приводится в движение автономным электроприводом. Сейчас это - основной тип приводов.

Кроме того, все электроприводы можно разделить на две части по критерию управляемости:

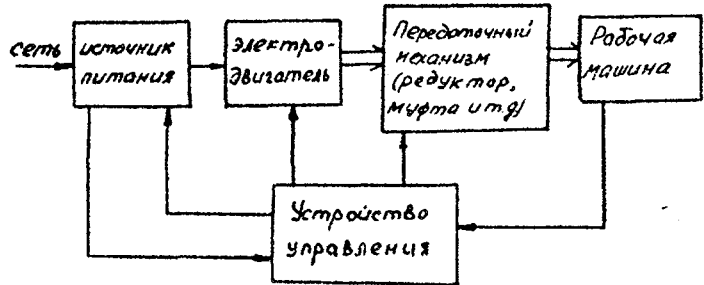
1) нерегулируемый электропривод, где перемещение рабочего органа происходит с неизменной скоростью. Здесь используются, в основном, асинхронные электродвигатели (наиболее дешевые и надежные);

2) регулируемый электропривод, где перемещение рабочего органа происходит с изменяемой скоростью. Здесь используются, в основном, двигатели постоянного тока.

3.2. Основные этапы упрощенного проектирования электроприводов

Цель проектирования электропривода - выбор параметров элементов типовой структуры электропривода, схема которой показана на рис. 3.1.

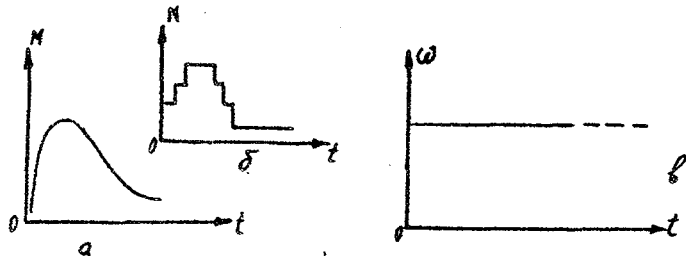
Энергия от источника питания (трансформатор, выпрямитель, регулятор и т.п.) поступает к электродвигателю, который преобразует электрическую энергию в механическую. Механическая энергия от двигателя (обычно - вращение вала) через передаточный механизм поступает к рабочей машине (пресс, штамп, молот, прокатный стан). Для обеспечения эффективного взаимодействия этих элементов предназначено управляющее устройство, которое получает информацию о ходе технологического процесса и управляет передачей энергии к органам рабочей машины.



Р и с. 3.1

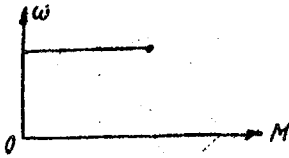
Основные этапы проектирования электроприводов следующие:

I. Анализ работы рабочей машины. Здесь анализируются нагрузочная $M(t)$ и скоростная $\omega(t)$ характеристики того органа рабочей машины, для которого проектируется электропривод (например, для кузнечно-прессовых машин нагрузочная и скоростная характеристики имеют вид, показанный на рис. 3.2). По этим двум характеристикам строится механическая характеристика $M(\omega)$ для анализируемого органа (например, по характеристикам рис. 3.2 построена зависимость на рис. 3.3). Здесь же определяют такие параметры рабочего органа, как:



Р и с. 3.2

работа операции A_0 - затраты энергии на технологический процесс; потери в передаточном механизме и на деформации в силовых звеньях; работа холостого хода A_x - затраты энергии на вспомога-

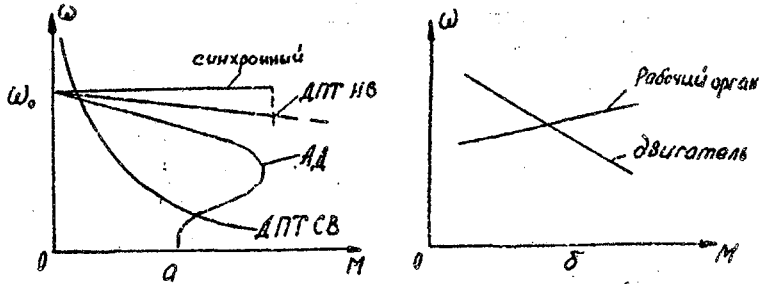


Р и с. 3.3

тельные механизмы, питаемые от основного двигателя; время цикла $t_{ц} = 60/n_x p$, где n_x - число ходов органа машины в минуту, p - коэффициент использования числа ходов.

Обычно нагрузочная и скоростная характеристики строятся для наиболее тяжелого или наиболее вероятного (усредненного) цикла работы машины.

2. Выбор типа двигателя. Производится на основе совместного анализа механических характеристик двигателя (разных типов) и механической характеристики органа рабочей машины (из п.1). Вид механических характеристик электродвигателей разных типов показан на рис. 3.4а. Для обеспечения устойчивой работы электропривода необходимо, чтобы графики механических характеристик двигателя и рабочего органа пересекались и жесткости этих характеристик соответствовали неравенству $\beta_{р0} > \beta_{г0}$, где $\beta = dM/d\omega$. Сопоставляя характеристики (см. рис. 3.4б) производят выбор типа двигателя.



Р и с. 3.4

3. Предварительный выбор двигателя по мощности. Мощность электродвигателя выбирают из условия $P_{дв} = (1,1 \dots 1,3) P_{экв}$, где $P_{экв}$ эквивалентная мощность (среднеквадратическая) на технологическом цикле

$$P_{экв} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N P_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^N t_i}},$$

где P_i и t_i - соответственно мощность на отдельных участках цикла и длительность этих участков.

Для простоты расчетов плавные линии характеристик заменяют ступенчатыми (см. рис. 3.20). Мощность на отдельном участке $P_i = M_i \omega_i$. Формула для $P_{экр}$ может быть применена и для повторно-кратковременной работы, если во время паузы считать $P = 0$. Если пауза более 10 мин, то режим работы следует считать одиночным.

Выбирая двигатель по каталогу, можно обратить внимание на то, что соседние мощности различаются на 50%. Это обусловлено общетехнической зависимостью $K_{нд}$ от нагрузки (см. рис. 1.4). Выбирая двигатель по мощности, следует обратить внимание на вращающий момент $M_{ном}$ частоту вращения $\omega_{ном}$. Желательно выбирать эти значения равными соответствующим эквивалентным (среднеквадратичным) значениям рабочего органа. В противном случае потребуется редуктор и мощность двигателя нужно будет увеличивать на величину потерь в редукторе.

4. Выбор передаточного отношения редуктора и уточнение выбора двигателя. Здесь анализируются совместные свойства двигателя и редуктора. Анализ ведется для нескольких вариантов (разных серий) двигателей одной и той же мощности. Критерии анализа - минимум произведения махового момента (учетверенный момент инерции) на квадрат передаточного отношения редуктора. Для каждого варианта двигателя (с учетом его номинальной скорости) определяется требуемое передаточное отношение. Затем для каждого из вариантов вычисляют минимизируемое произведение, сравнивают результаты и выбирают наилучший вариант.

5. Проверка на перегрузки по моменту, пуску и нагреву. По моменту должно выполняться условие $M_{\text{макс. прив}} \leq M_{\text{доп}}$, здесь $M_{\text{макс. прив}}$ - наибольший момент рабочего органа, приведенный (пересчитанный через передаточное отношение редуктора) к валу двигателя; $M_{\text{доп}}$ - допустимый момент двигателя. Обычно принимают для асинхронного двигателя $M_{\text{доп. ас}} = 2 M_{\text{ном}}$, а для двигателя постоянного тока $M_{\text{доп. пост}} = 2,5 M_{\text{ном}}$.

Проверка по пуску производится только для асинхронного двигателя. Здесь требуется, чтобы пусковой момент был больше, чем наибольший приведенный момент рабочего органа в режиме пуска.

Проверка по нагреву может производиться разными способами. Чаще всего используют метод средних потерь мощности (они должны быть не

более номинальных потерь) или эквивалентных величин (момент, сила тока, мощность). Причем, метод эквивалентных величин можно применять при $t_{из} \ll \tau_{тепл}$, где $\tau_{тепл}$ - тепловая постоянная времени, т.е. если средняя температура мало отличается от мгновенных значений температуры двигателя.

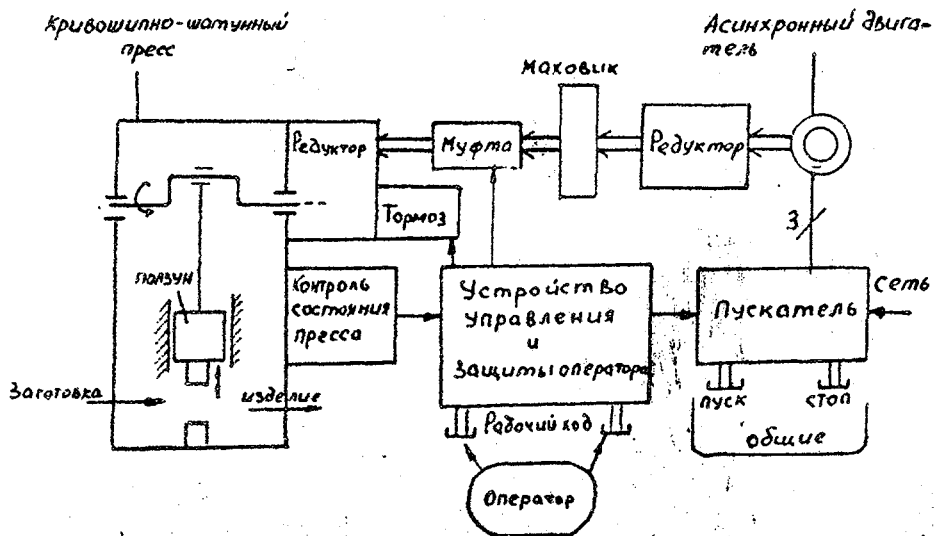
Заключая рассмотрение вопросов проектирования электроприводов, следует отметить, что проектирование электроприводов часто не требуется, ибо промышленность серийно выпускает комплектные электроприводы постоянного и переменного тока. Такие приводы построены по типовому рисунку (см рис. 3.1) и включает в себя тиристорный преобразователь (источник питания); устройство управления, защиты и сигнализации; электродвигатель с датчиком скорости и источник питания цепи возбуждения. По справочникам можно выбрать комплектные электроприводы на мощность от 0,5 до 5000 кВт.А.

3.3. Нерегулируемый электропривод в ОМД

Нерегулируемый электропривод используется в ОМД в основном в кузнечно-прессовом и штамповочном оборудовании.

Особенность этого оборудования ОМД состоит в том, что оно работает в импульсном режиме. Во время рабочего хода требуется на короткое время приложить большое усилие, а в остальное время машина работает на холостом ходу. В таких режимах целесообразно накапливать энергию в паузе между рабочими ходами и отдавать ее во время рабочего хода. Накопление энергии можно производить разными способами - в электрической или механической форме. Примеры электрического накопления приведены при рассмотрении магнитоимпульсной и электрогидравлической ОМД. Накопленную электрическую энергию можно непосредственно (т.е. без редукторов) преобразовывать в поступательное движение рабочего органа кузнечно-прессового оборудования с помощью линейного электродвигателя. Этот вариант иногда применяется, но широкого распространения еще не получил.

подавляющее большинство современных прессов накапливают энергию в механической форме с помощью маховика. Схема электропривода такого пресса показана на рис. 3.5. Здесь работа электрооборудования происходит следующим образом. При нажатии на кнопку "общий пуск" включается асинхронный электродвигатель (АД), который раскручивает мехо-



Р и с. 3.5

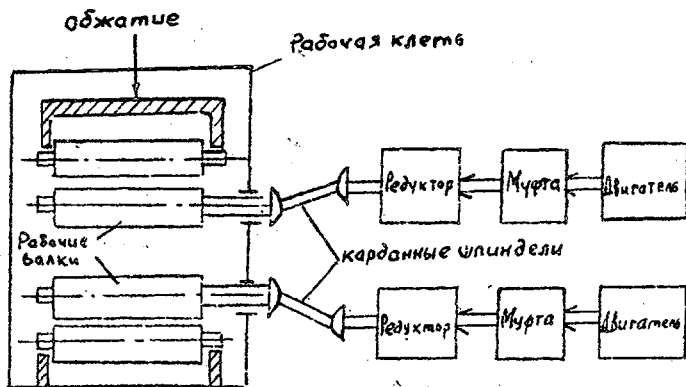
вик. Пока маховик раскрутится до номинальной скорости, АД работает с перегрузкой. Чтобы АД не сгорел за это время, используют АД с повышенным скольжением (см. рис. 2.86) или с фазным ротором (последнее на устаревших вариантах прессов). Энергия, запасенная в маховике, через муфту, редуктор и кривошип передается рабочему органу пресса — ползуку. Рабочий ход осуществляется при одновременном нажатии оператором (двумя руками) двух кнопок "рабочий ход". Две кнопки установлены для того, чтобы руки оператора были заняты и не попали в опасную зону. Нажатием кнопок оператор включает муфту и отключает тормоз. После этого производится рабочий ход и на обратном ходу в верхнем положении ползуна (которое фиксируется концевыми выключателями или другими датчиками положения) муфта отключается, а тормоз — включается. Таким образом осуществляется одиночные ходы. Для повторного одиночного хода нужно отпустить кнопки "рабочий ход" и снова нажать.

Устройство управления может работать и в режиме непрерывных ходов при обеспечении безопасности оператора. Во время работы осуществляется непрерывный контроль за состоянием всех основных систем прессы. При появлении неисправности (фиксируемой датчиками) устройство управления останавливает пресс.

3.4. Регулируемый электропривод в ОМД.

Регулируемый электропривод в ОМД применяется в основном в прокатном производстве. На прокатных станах кроме основной операции - пластической деформации металла - выполняется еще ряд вспомогательных операций, к которым относятся: подача металла к валкам стана, уборка металла после прокатки, кантовка, резка, правка, сматывание в рулоны и т. д.

Схема механической части главного привода валков изображена на рис. 3.6. Здесь каждый валок приводится во вращение автономным двигателем. К преимуществам такого привода относятся:



Р и с. 3.6

- 1) возможность увеличения мощности привода рабочих валков;
- 2) уменьшение суммарного махового момента привода;
- 3) отсутствие необходимости в точном подборе диаметров рабочих валков;

4) отсутствие шестеренной клетки, что экономит около 5% мощности привода;

5) возможность регулировки направления прогиба полосы (желательно вверх), которое обеспечивается при различных скоростях вращения валков (это особенно важно при захвате полосы, иначе может быть авария - разрушение роликганга).

Общими требованиями к электроприводам прокатных станков являются:

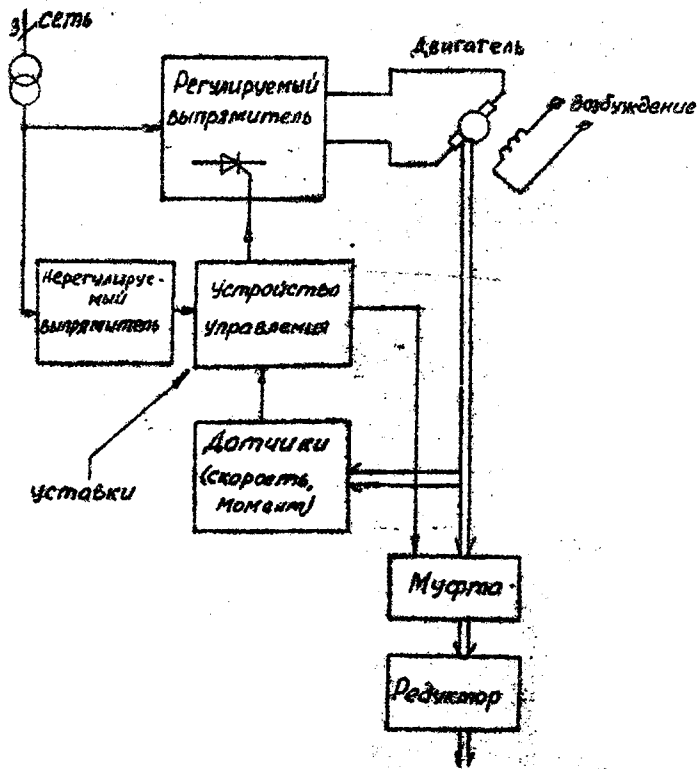
- 1) поддержание постоянства натяжения металла как между клетями, так и между клетью и моталкой во всех режимах работы;
- 2) широкий диапазон регулирования скорости (примерно 10:1 и более);
- 3) возможность совместного и отдельного управления двигателями стана;
- 4) плавный процесс пуска и торможения при минимальном времени;
- 5) возможность толчковой работы.

Электроприводы на основе ДПТ удовлетворяют всем этим требованиям.

Упрощенная схема регулируемого электропривода изображена на рис. 3.7. Работа электропривода происходит следующим образом. Постоянное напряжение от регулируемого выпрямителя поступает на двигатель. Двигатель через муфту и редуктор передает вращение рабочей машине (рабочие валки и др.). Скорость и вращающий момент контролируются датчиками, которые формируют сигналы, пропорциональные контролируемой величине. Сигналы поступают в управляющее устройство, где эти сигналы сравниваются с уставками (уставка - сигнал, соответствующий заданному значению регулируемой величины). Если сигналы датчиков равны уставкам, то управляющее устройство не изменяет работу регулируемого выпрямителя и напряжение на двигателе не изменяется.

Если скорость вращения ротора двигателя меньше заданной, то устройство управления уменьшит угол открывания тиристоров и выходное напряжение регулируемого выпрямителя повысится, что приведет к увеличению скорости вращения.

Если скорость больше заданной, то угол открывания тиристоров увеличивается, выходное напряжение понизится и скорость уменьшится. Таким образом электропривод следит за соответствием режима работы заданным параметрам.



Р и с. 3.7

Уставки, управляющие работой электропривода, поступают от управляющей системы автоматизированного прокатного стана (см. рис.4.2).

3.5. Аппаратура управления электроприводом

В процессе работы электропривода требуется выполнять следующие операции по управлению;

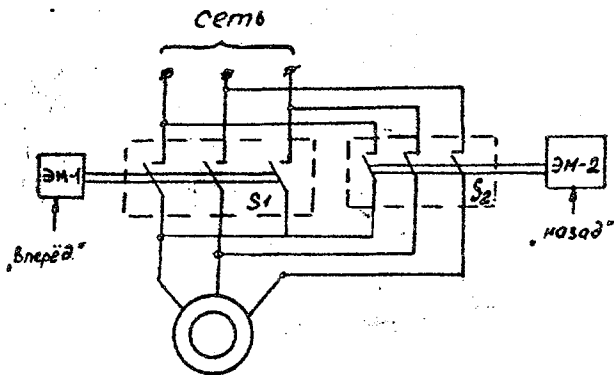
- 1) включение и выключение электродвигателя;
- 2) включение и выключение муфты;
- 3) изменение направления вращения привода (реверс);

4) защита и блокировка.

Эти операции выполняются с помощью трех основных устройств: концевых выключателя, электромагнитной муфты и переключателей.

3.5.1. Реверс электродвигателей

Изменение направления вращения (реверс) осуществляют сменой направления вращения магнитного поля в двигателе. Это производится либо изменением полярности напряжения возбуждения (у ДП), либо перемени местами любых двух фаз в трехфазной системе (для Ад). Схема реверса Ад показана на рис. 3.8. Здесь используются два трехфазных переключателя S_1 и S_2 . При включении в оперативную цепь (см. магнитный пускатель) электромагнита ЭМ-1, двигатель вращается в одном направлении ("вперед"), а при включении магнита ЭМ-2 - двигатель вращается в другом направлении ("назад"). Чтобы магниты ЭМ-1 и ЭМ-2 не включались одновременно, предусматривается блокировка, которая состоит в том, что при срабатывании одного магнита размыкается нормально замкнутый контакт в цепи обмотки другого магнита.

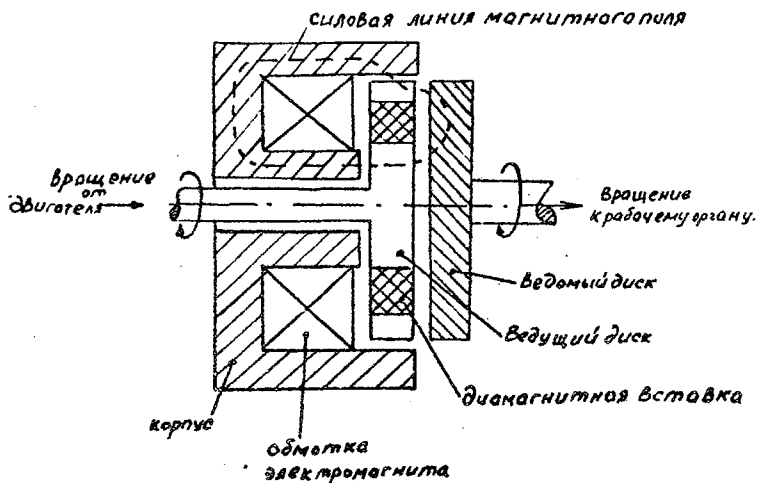


Р и с. 3.8

3.5.2. Электромагнитная муфта. Двухрукое управление муфтой

Электромагнитная муфта — это устройство, которое имеет очень большое распространение во всей технике. Существуют несколько различных вариантов конструкции электромагнитных муфт.

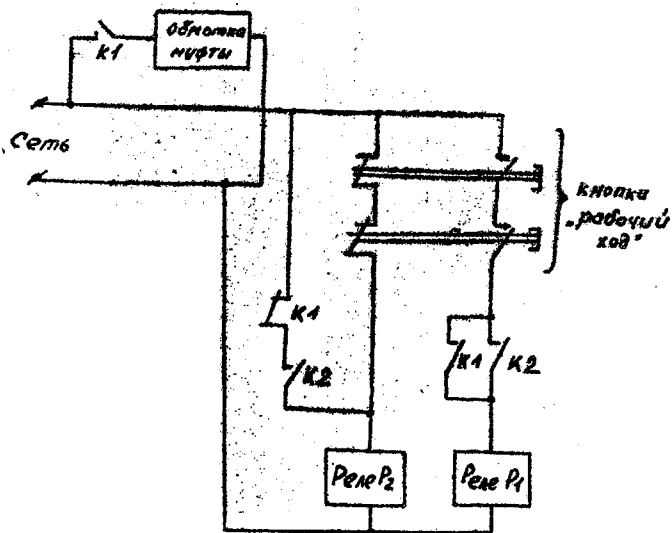
На рис. 3.9 схематично показан один из вариантов конструкции.



Р и с. 3.9

Ведущий диск жестко связан с валом двигателя и вращается вместе с ним. Рядом с ведущим диском расположен неподвижный корпус из ферромагнитного материала, в котором находится обмотка электромагнита. Ведущий диск из ферромагнитного материала имеет кольцевую диамагнитную вставку (латунь). При включении обмотки электромагнита в электрическую сеть магнитный поток проходит по корпусу, по ведущему диску, отгибает диамагнитную вставку и проходит через ведомый диск. Ведомый диск расположен соосно с ведущим диском и имеет возможность осевого (продольного) перемещения на ведомом валу. Магнитное поле создает усилие, притягивающее ведомый диск к ведущему. Фрикционный контакт между дисками передает вращение от двигателя к рабочему органу. После выключения тока в обмотке муфты ведомый диск пружинным механизмом (на рис. 3.9 не показан) отводится от ведущего диска и механический контакт между дисками разрывается.

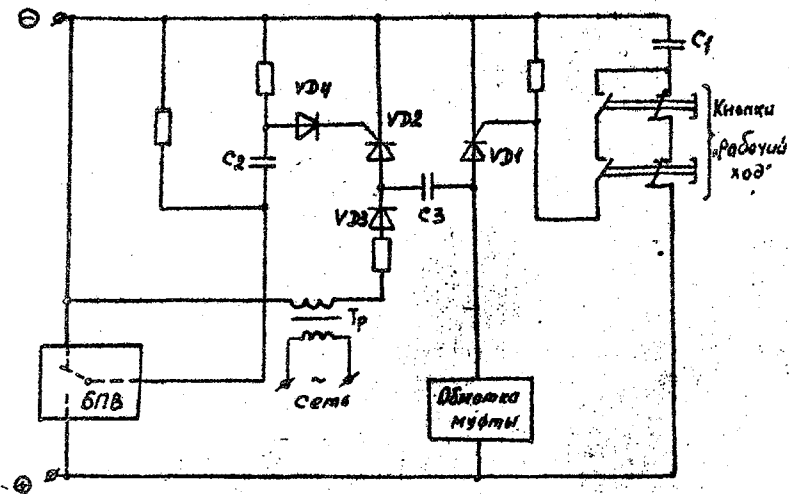
Управление муфтами осуществляется либо автоматически, либо вручную (в режиме одиночных ходов прессы). Ручное управление строит по "двуручкой" схеме. Электроконтактная схема такого управления показана на рис. 3.10. При подаче питающего напряжения включается и самоблокируется реле Р2, которое замыкает свой контакт в цепи реле Р1. При одновременном нажатии на обе кнопки "рабочий ход" включается реле Р1 и замыкается цепь электромагнита муфты. При этом размыкается контакт К1 в цепи блокировки реле Р2. Далее, если отпустить хотя бы одну из двух пусковых кнопок, цепь электромагнита муфты разомкнется, и для повторного включения муфты необходимо вновь включить блокировку реле Р2 (т.е. отпустить обе кнопки) и снова нажать обе кнопки. Неисправность в любой из кнопок или реле исключает возможность включения муфты, что важно для безопасности оператора.



Р и с. 3.10

В последние десятилетия в технике происходит замена электроконтактных переключателей на бесконтактные, что в десятки раз повышает надежность цепей управления.

На рис. 3.II показана схема бесконтактного тиристорного устройства двуручного управления муфтой пресса. В исходном положении конденсатор $C1$ заряжен до напряжения питания постоянного тока. При одновременном нажатии на две пусковые кнопки конденсатор $C1$ включается в управляющую цепь тиристора $VD1$ (который в исходном положении закрыт) и током разряда открывает этот тиристор. Открытый $VD1$ замыкает цепь обмотки муфты и происходит рабочий ход пресса. После окончания рабочего хода (в верхней мертвой точке ползуна) срабатывает бесконтактный путевой выключатель (БПВ). При этом происходит заряд конденсатора $C2$ и ток заряда открывает тиристор $VD2$. В результате этого конденсатор $C3$ (который был предварительно заряжен от трансформатора через диод $VD3$) разряжается через два открытых тиристора и закрывает $VD1$. Тогда муфта выключается. Длительное удержание нажатыми пусковых кнопок не приводит к повторному срабатыванию пресса, ибо конденсатор $C1$ разряжен и процесс не повторится. Для повторного включения пресса нужно отпустить обе кнопки и снова их нажать.



Р и с. 3.II

3.5.3. Концевые (путевые) выключатели

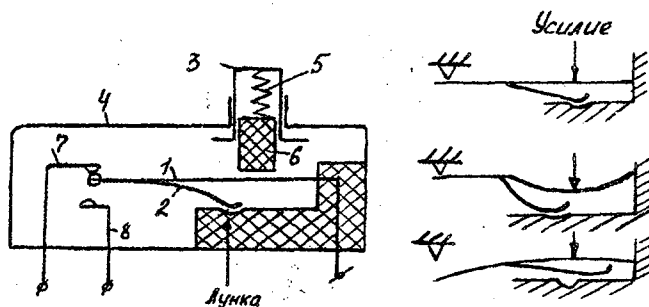
При работе различных механизмов необходимо получать информацию о положениях подвижных органов. Без этого невозможно эффективное управление механизмами.

Обычно получают информацию о следующих событиях:

- 1) подвижная деталь достигла заданной точки;
- 2) подвижная деталь прошла мимо заданной точки.

Такого рода информацию получают с помощью концевых (путевых) выключателей.

В устаревшем оборудовании доминируют контактные выключатели. Схема одного из распространенных вариантов электроконтактного концевого выключателя показана на рис. 3.12.



- 1 - Контактная пружина
- 2 - упор
- 3 - шток
- 4 - корпус
- 5 - Демпферная пружина
- 6 - толкатель
- 7 - Верхняя ламель
- 8 - нижняя ламель

Р и с. 3.12

Основным элементом выключателя является контактная пружина с упором. В исходном положении контактная пружина замыкает электрический контакт. При нажатии на шток контактная пружина изгибается до тех пор, пока упор не выйдет из лунки фиксатора. Затем упор подгибается и контактная пружина резко опускается вниз, верхний контакт размыка-

ется и замыкается нижний контакт. После отпускания штока контактная пружина разгибается и возвращается в исходное состояние. Контактные переключатели, несмотря на их простоту, не всегда удовлетворяют требованиям эксплуатации (особенно в металлургическом производстве).

Недостатками электроконтактных переключателей являются:

- 1) износ контактов и пружин;
- 2) образование на контактах оксидных пленок, плохо проводящих электрический ток, что приводит к отказу переключателя;
- 3) ограниченные частота и количество переключений;
- 4) взрывоспособность, ибо при размыкании контактов может возникнуть искра.

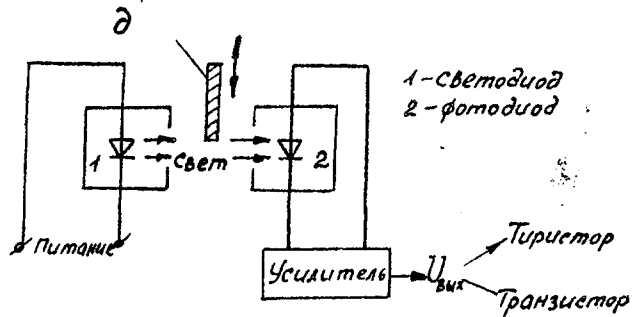
Эти недостатки имеют достаточно неприятные последствия даже в простых системах управления (до 100 переключателей), а в сложных системах (свыше 10 тысяч переключателей) всегда найдется хотя бы один отказавший переключатель и вся система становится неработоспособной (из-за блокировки при неисправности).

Поэтому в современном оборудовании применяют бесконтактные концевые выключатели. Бесконтактные концевые выключатели строят на основе разных физических эффектов. Наиболее распространены оптические и электромагнитные.

Схема оптического (фотоэлектрического) выключателя показана на рис. 3.13. Электрический ток, протекая по светодиоде, вызывает его свечение. Световой поток идет к фотодиоде. При освещении фотодиода через него начинает протекать ток, преобразуемый усилителем в изменение выходного напряжения. Введением диафрагмы в оптический канал (промежуток между светодиодом и фотодиодом) световой поток перекрывается и ток в фотодиоде прекращается. Таким образом выходное напряжение усилителя зависит от положения диафрагмы.

Выходное напряжение усилителя используется для управления замыканием электрических цепей в исполнительных органах рабочей машины или электропривода. Замыкание цепей производится бесконтактным элементом — триодом или тиристором.

Недостатком оптических переключателей является необходимость поддержания чистоты оптического канала. При загрязнении оптического промежутка между светодиодом и фотодиодом происходит отказ оптического переключателя.



Р и с. 3.13

От этого недостатка свободны вихрековые переключатели, получающие распространение в наиболее прогрессивных разработках последних лет.

3.6. Защитные и предохранительные устройства в ОМД

В процессах ОМД используются большие мощности, происходят перемещения изделий и рабочих органов механизмов. Поэтому необходимо предусматривать средства защиты оператора и оборудования.

Оператора надо защитить от его собственных ошибок и от возможной неисправности в оборудовании (защитное оборудование).

Оборудование надо защищать от неправильных действий оператора и от саморазрушения оборудования из-за неисправности в нем самом (предохранительное оборудование).

3.6.1. Предохранительные устройства

Предохранительное устройство получает с помощью датчиков информацию о состоянии и работоспособности оборудования и производит логическую обработку этой информации. Если сигналы датчиков соответствуют заданным значениям и изменяются в заданной последовательности и в заданном диапазоне, то оборудование считается исправным. Если происходят отклонения от заданных условий, то логическое устройство выработывает сигнал о неисправности оборудования и формирует команды на отключение двигателя привода, муфты и включение тормоза.

3.6.2. Защитные устройства

Защитные устройства подразделяются на следующие виды:

- 1) неподвижные ограждения, оставляющие опасные участки закрытыми в течение всего рабочего цикла оборудования ОМД;
- 2) подвижные защитные устройства, закрывающие опасное пространство в процессе рабочего хода;
- 3) защитные устройства, действующие через систему управления оборудованием и оставляющие опасное пространство открытым в течение всего цикла работы (двухручное управление, подставки с блокировкой включения и т.д.).

3.7. Электрооборудование пневмо- и гидроприводов

В последние три десятилетия стали часто применять гидро- и пневмоприводы. У них есть свои достоинства:

- 1) компактность исполнительных органов (цилиндры);
- 2) зримая понятность принципа действия;
- 3) удобство формирования поступательного движения;
- 4) безопасность носителя энергии.

Пневмо- и гидроприводы применяются в ОМД в муфтах, прессах и молотах. Несмотря на многообразие вариантов гидравлических прессов и их приводов, управление этими машинами сводится к обеспечению необходимой последовательности переключений электромагнитных органов управления, электродвигателей насосов, нагревателей и других приборов.

В автоматизированных гидро- и пневмоприводах электрооборудование применяется:

- 1) для электропривода насосов;
- 2) работы устройств управления и защиты;
- 3) управления работой гидро- и пневмоцилиндров, муфт и т.д.

4. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОМД

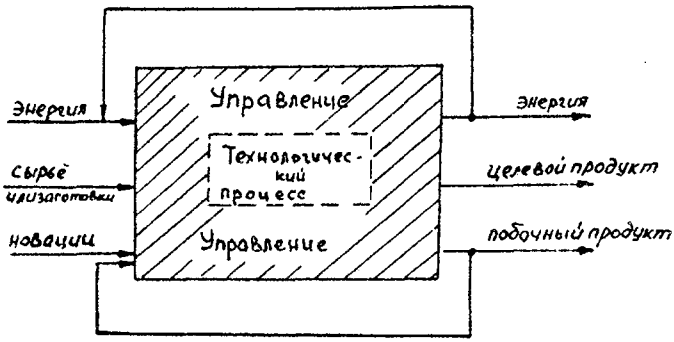
4.1. Необходимость автоматизации

Технологические процессы многочисленны и разнообразны. К факторам, обуславливающим это разнообразие, относятся: вид используемого сырья, форма и количество необходимых энергоресурсов, количество стадий преобразования сырья, временные характеристики стадий процесса и вид готовой продукции.

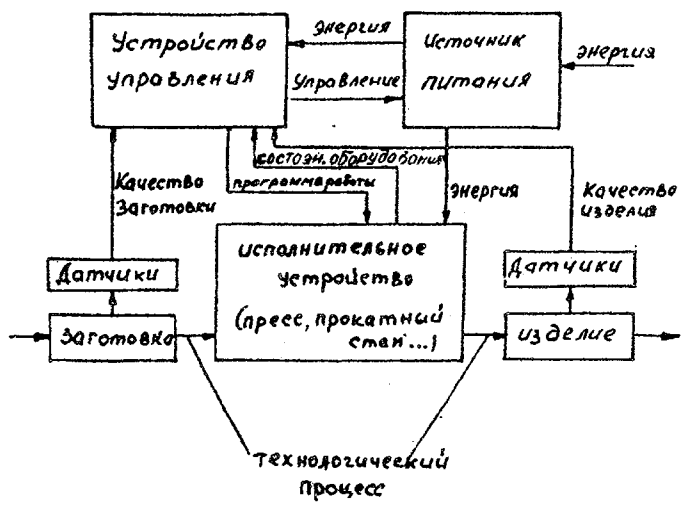
Характеристики большинства технологических процессов таковы, что управление ими (пусть в минимальной степени) обязательно, хотя бы с целью обеспечения безопасности. В общем случае, необходимость управления вызывается сочетанием следующих факторов:

- 1) для надлежащего преобразования сырья в конечный продукт соотношение и величины входящих потоков материалов должны поддерживаться на заданном уровне внутри безопасных допусков (рис. 4.1а);
- 2) переменный состав сырья требует подстройки других параметров процесса, если нужно сохранить постоянное качество конечного продукта;
- 3) пуск и останов технологических процессов (особенно в ОМД) включает в себя выполнение специфических точно синхронизированных операций, что невозможно без четкого управления;
- 4) изменение конъюнктуры рынка или целей руководства может потребовать быстрого перехода на выпуск другой продукции, причем с минимальной перестройкой оборудования;
- 5) для максимизации прибыли от капитальных вложений должно быть обеспечено оптимальное использование оборудования и материалов.

Функция управления возникла одновременно с появлением самих технологических процессов как их составная часть. Вначале эту функцию выполнял человек. Он управлял процессом, обеспечивая подачу требуемых количеств материала, энергии и определяя момент завершения процесса. По мере усложнения процессов требовалось и более сложное управление, а возможности человека ограничены. Необходимость совершенствования управления привела к изобретению способов получения боль-



а



б

Р и с. 4.1

шей информации (измерения температуры, давления, расхода и т.п.) и способов воздействия на технологический процесс (исполнительные механизмы, которые могут регулировать критические параметры процесса).

Датчики, с помощью которых возможно измерение, и исполнительные механизмы, оказывающие управляющее воздействие, являются двумя главными элементами управления. Третий элемент - управляющее решение. Без него эффективное управление неосуществимо. Решение принимал человек-оператор на основании своего опыта. Таким образом оператор служил замыкающим звеном контура управления. Однако по мере усложнения процессов даже самый квалифицированный оператор перестал справляться с задачами управления (сбор информации, анализ, принятие решения в условиях реального времени).

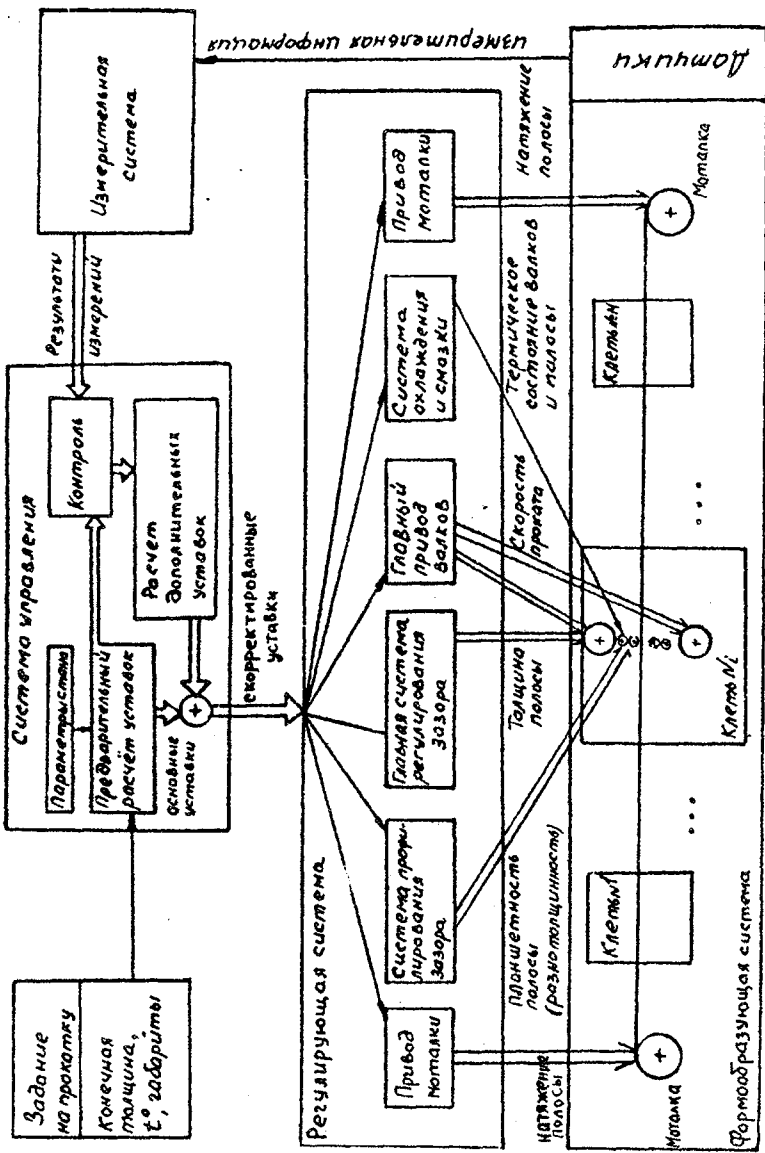
Для замены оператора были изобретены автоматические регуляторы. Они позволяют осуществлять раздельное регулирование каждого отдельного параметра. Однако большое число таких регуляторов, действующих в одном процессе, не могут взаимодействовать между собой и вести себя как единое целое. Обеспечение согласованной работы регуляторов брал на себя оператор. Дальнейшее усложнение технологических процессов привело к тому, что регуляторов стало так много и связь между ними усложнилась настолько, что оператор перестал справляться и с этой работой.

Решение проблемы было найдено в создании автоматизированных систем управления (АСУ) с применением управляющих вычислительных машин (рис. 4.2). Преимущество АСУ состоит в том, что они позволяют подойти к процессу как единому целому, а не как к набору независимых частей. АСУ способны удерживать процесс в оптимальном режиме, в результате чего повышается эффективность производства.

4.2. Цель и средства автоматизации

Цель автоматизации технологических процессов - повышение их эффективности, которое разделяется на следующие части:

- 1) повышение качества продукции; уменьшение брака; повышение конкурентоспособности продукции;
- 2) повышение производительности;
- 3) уменьшение отходов и энергопотребления;
- 4) снижение стоимости производства;



Р и с . 4.2

5) повышение экологичности.

Для достижения поставленной цели имеются следующие средства автоматизации:

- 1) автоматическое регулирование;
- 2) измерительная техника;
- 3) электроника: энергетическая; информационная.

Взаимодействие средств автоматизации можно рассмотреть на примере автоматизированного прокатного стана (см. рис. 4.2). Работа автоматизированного стана происходит следующим образом. В задании на прокатку оговариваются материал, габариты и температура заготовки. На основании этих данных по методике и формулам, известным из теории прокатки (с учетом параметров стана - диаметры валков, количество клетей, тип стана, диапазон размеров и скоростей), производится предварительный расчет зазоров между валками, усилий обжатия, скоростей.

Эти параметры являются уставками - заданиями для регулирующей системы, которая состоит из подсистем управления и регулирующих электроприводов моталок, валков, нажимных устройств, рольгангов, систем охлаждения и смазки и профилирования зазора. В соответствии с уставками, приводы обеспечивают расчетные значения зазоров, усилий, скоростей.

Однако предварительный расчет не может учесть многих малозначимых факторов, которые совместным действием создают эффект случайного процесса. Для учета отклонений реального хода процесса прокатки от идеализированного расчетного режима применяется измерительная система, которая получает информацию о фактических значениях зазоров, толщины полосы, усилий, скоростей, температуры и т.д., преобразует эту информацию в цифровую форму и передает результаты измерений в систему управления (ЭВМ). В системе управления результаты измерения сравниваются с заданными значениями (контроль) и определяются отклонения фактических параметров прокатки от рассчитанных предварительно.

По отклонениям параметров производится расчет дополнительных уставок - коррекция расчетных параметров. Дополнительные уставки суммируются с основными уставками (рассчитанными предварительно) и т.о. получают скорректированные уставки, которые корректируют работу приводов. Приводы корректируют усилия, зазоры и скорости в формообразующей системе прокатного стана, и процесс прокатки приближается к

требуемому. В ходе прокатки постоянно возникают отклонения от требуемого режима. Тогда информация об отклонениях через измерительную систему поступает в управляющую систему, где производится перерасчет дополнительных уставок, и процесс вновь приближается к желаемому ходу.

4.2.1. Понятие об автоматике

Автоматика - это раздел техники, занимающийся созданием автоматов. Автоматы бывают разные:

1) автоматы прямого действия, работающие по жесткой программе (жесткие автоматы);

2) системы автоматического регулирования, имеющие возможность подстроиться к условиям окружающей среды (окружающая среда - все, что вне автомата) (адаптивные автоматы);

3) автоматы с гибкой программой (гибкие автоматы).

В кузнечно-прессовом производстве сейчас применяются жесткие автоматы. Например, после нажатия на кнопки "рабочий ход" последовательно выполняются следующие команды: "ход ползуна вниз", "ход ползуна вверх", "стоп". К жестким автоматам относятся и манипуляторы. В прокатном производстве объект автоматизации значительно более сложный, чем в кузнечно-прессовом производстве. Здесь применяются адаптивные автоматы. Например, в автоматизированном прокатном стане уставки корректируются в зависимости от конкретных секундных условий прокатки.

Гибкие автоматы - это будущее техники.

4.2.2. Основы электроники

Электроника - это обширная область техники. В данном пособии рассмотрим только некоторые основные типы устройств электроники.

4.2.2.1. Энергетическая электроника

Энергетическая (силовая) электроника применяется в ОМД для построения устройств питания технологических установок. Кратко рассмотрим основные энергетические электронные преобразователи.

Нерегулируемый выпрямитель. Выпрямитель предназначен для преобразования переменного тока в постоянный. Работа силовых выпрямителей оценивается двумя параметрами: 1) ККД; 2) коэффициентом пульсации.

ККД характеризует экономичность работы, а коэффициент пульсационного качества выходного напряжения (близость к постоянному). Наилучшее сочетание указанных параметров достигается в случае трехфазного, двухполупериодного выпрямителя, схема которого показана на рис. 4.3а. На рис. 4.3б, в показаны временные зависимости напряжений на трансформаторе и выходе выпрямителя соответственно.

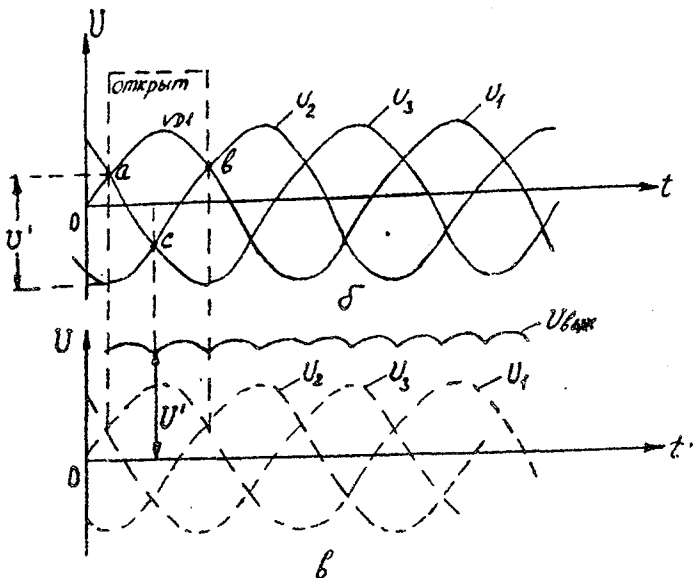
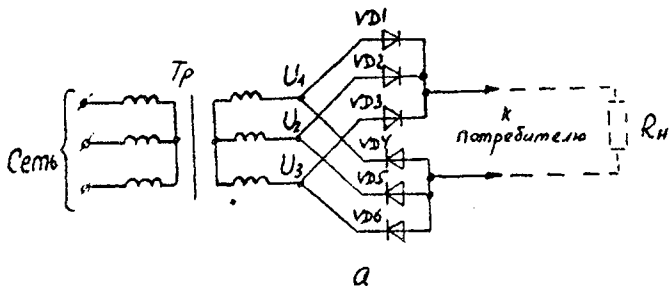
Для объяснения работы выпрямителя рассмотрим процессы на участке между точками "а" и "б" (см. рис. 4.3б). Здесь напряжение первой фазы u_1 больше других. Поэтому открыт диод $VD1$. Ток от обмотки первой фазы через $VD1$ и нагрузку протекает вначале (до точки "с") через диод $VD5$ и обмотку второй фазы, а потом (от "с" до "б") через диод $VD6$ и обмотку третьей фазы.

Далее процессы идут так: из первых трех диодов ($VD1, VD2, VD3$) всегда открыт тот, который подключен к обмотке с наибольшим напряжением (в данный момент времени). А из трех оставшихся диодов ($VD4, VD5, VD6$) всегда открыт тот, который соединен с обмоткой, имеющей минимальное напряжение.

Разность тех двух напряжений, которые (в данный момент времени) оказались наибольшим и наименьшим, через открытые диоды приложена к нагрузке (потребителю). На рис. 4.3 нетрудно видеть, что это напряжение не менее, чем $U' = 1,5\sqrt{2} U_{тр}$, где $U_{тр}$ — действующее значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора. Из рисунка также видно, что пульсация выходного напряжения незначительна (для силовых устройств) и близка к 7%.

ККД выпрямителей обычно очень велик. Типовой его уровень — 99%. Основным недостатком нерегулируемых выпрямителей является трудность регулировки выходного напряжения при сохранении высокого ККД. Достоинство — простота. Устранение главного недостатка осуществляется в регулируемых (тиристорных) выпрямителях.

Регулируемый выпрямитель. Такие выпрямители строят на основе тиристоров. Тиристор — это элемент, исходно закрытый для любых направлений напряжения и превращающийся в диод при выполнении двух условий:



Р и с. 4.3

- 1) наличие управляющего сигнала;
- 2) наличие прямого напряжения на рабочих электродах.

Возвращается тиристор в исходное закрытое состояние при отсутствии тока через рабочие электроды.

Схема трехфазного двухполупериодного регулируемого выпрямителя изображена на рис. 4.4а. Работа такого выпрямителя имеет некоторые общие признаки со схемой на диодах (рис. 4.3а). Здесь из вентилей (тиристоров) катодной группы открывается тот, в чьей фазе наибольшее

УУ - Устройство управления

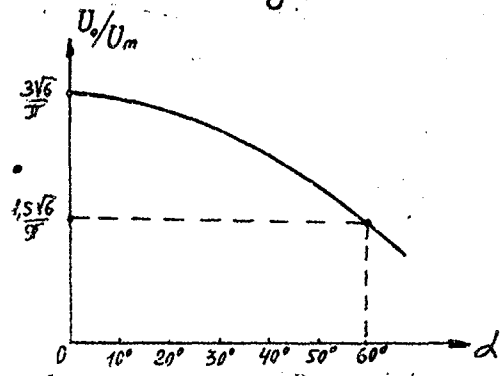
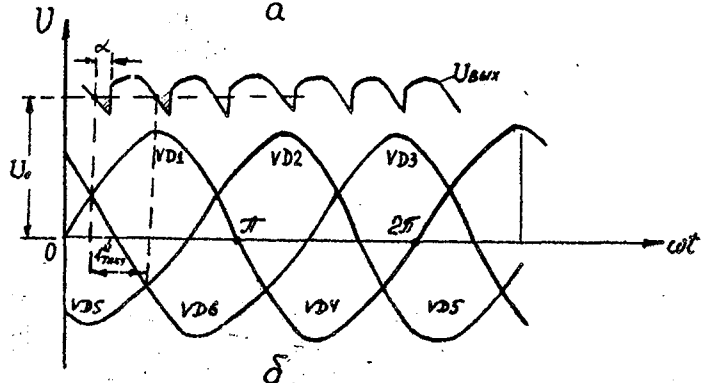
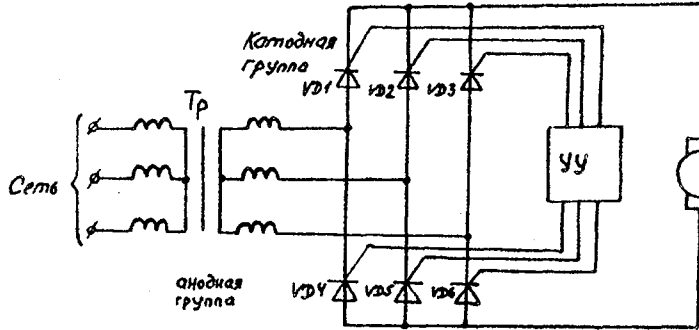


Рис. 4.4

б

напряжение (их номера написаны в положительных полуволнах на рис. 4.4б), а из вентилей анодной группы открывается тот, в чьей фазе наименьшее напряжение (номера написаны в отрицательных полуволнах на рис. 4.4б). Например, в первом такте (см. рис. 4.4б) открывающий сигнал подает на тиристоры $VD1$ и $VD5$. Во втором - $VD1$, $VD6$; в третьем - $VD2$, $VD6$ и т.д. Открывающие сигналы представляют собой короткие импульсы, сформированные в управляющем устройстве. Управляющие импульсы могут быть задержаны на некоторое время, соответствующее фазовому углу управления " α ". Из рис. 4.4б видно, что при $\alpha \neq 0$ часть напряжения, которая могла бы попасть к потребителю, будет задержана тиристором (эта часть заштрихована на рис. 4.4б).

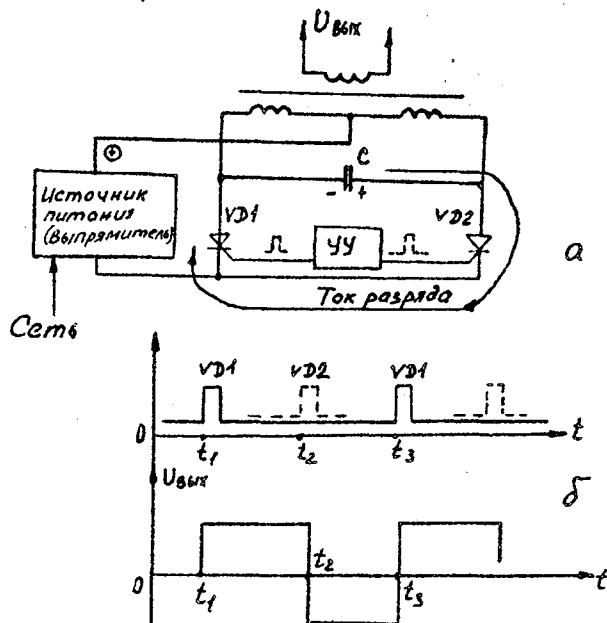
В результате изменения угла управления " α " средняя составляющая напряжения на выходе регулируемого выпрямителя U_o может регулироваться. Зависимость U_o от α показана на рис. 4.4в.

КДП тиристорных выпрямителей близок к 98% и несколько меньше, чем у нерегулируемых выпрямителей из-за потребления энергии в управляющем устройстве.

Коэффициент пульсации выходного напряжения регулируемых выпрямителей больше, чем у нерегулируемых, но еще допустим для питания силовых цепей и устройств.

И н в е р т о р н а я в я ж е н и я. Инвертор предназначен для преобразования постоянного напряжения в переменное. Наиболее распространенные инверторы - тиристорные. Упрощенная схема такого инвертора показана на рис. 4.5а. Открывание тиристоров производится импульсами, сформированными в управляющем устройстве (рис. 4.5 б).

Работа инвертора происходит следующим образом. Пусть в исходном положении ($t = 0$) оба тиристора закрыты. В момент времени t_1 на управляющий электрод тиристора $VD1$ поступает открывающий импульс. Далее, до момента времени t_2 , тиристор $VD1$ открыт и ток от источника протекает через левую половину первичной обмотки трансформатора и тиристор $VD1$. Кроме того, происходит зарядка конденсатора "С" от источника питания (полярность напряжения показана на рис. 4.5а). В момент времени t_2 поступает открывающий импульс на тиристор $VD2$. И тогда на некоторое время оба тиристора оказываются открытыми. При этом образуется короткозамкнутая цепь разряда конденсатора через два тиристора. Ток разряда, протекая через тиристор $VD1$ против направления основного тока, на короткое время компенсирует его. Таким



Р и с . 4.5

образом ток в тиристоре $VD1$ (на короткое время) становится равным нулю — т.е. выполняется условие закрывания тиристора. Поэтому открытие тиристора $VD2$ сопровождается закрыванием ранее открытого $VD1$. Далее, до момента времени t_3 , открыт тиристор $VD2$. Основной ток от источника течет через правую половину первичной обмотки трансформатора и тиристор $VD2$. Одновременно происходит перезаряд конденсатора.

В момент времени t_3 открывается тиристор $VD1$, что сопровождается закрыванием $VD2$ (за счет разряда конденсатора). Таким образом процесс продолжается и дальше.

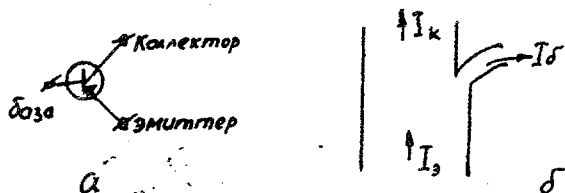
Поочередное переключение тиристоров направляет ток от источника то в правую, то в левую половину первичной обмотки. При этом магнитный поток индуцирует во вторичной обмотке трансформатора переменное напряжение (см. рис. 4.5б).

Существуют и более сложные инверторы, у которых форма выходного напряжения ближе к синусоидальной.

4.2.2.2. Информационная электроника

Информационная электроника предназначена для передачи информации. Поэтому КПД информационных устройств не является самым важным параметром. Здесь большее значение имеют параметры, характеризующие качество (например, помехозащищенность). Устройства информационной электроники очень разнообразны. В данном пособии кратко рассмотрим только наиболее важные элементы и устройства.

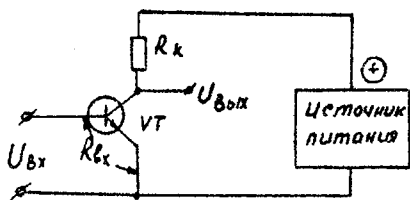
Т р а н з и с т о р. Транзистор – это полупроводниковый элемент, предназначенный для регулирования силы тока. Существуют много типов транзисторов. Наибольшее распространение получил биполярный транзистор. Его обозначение показано на рис. 4.6а. Основное свойство биполярного транзистора – это разделение втекающего в него тока эмиттера на две неравные части и поддержание постоянства соотношения между вытекающими токами коллектора и базы (см. рис. 4.6б). $I_K / I_B = \beta = \text{const}$. Если за счет изменения параметров (напряжения или сопротивления) внешней электрической цепи изменить силу тока базы (I_B), то транзистор пропорционально изменит силу тока коллектора (I_K), сохраняя их соотношение. В результате возникает эффект усиления тока, ибо ток коллектора в " β " раз больше, чем ток базы. $I_K = \beta I_B$, где β – коэффициент усиления тока ($\beta = 100 \dots 1000$).



Р и с. 4.6

Простейший транзисторный усилитель напряжения. Биполярный транзистор является усилителем тока. Чтобы построить усилитель напряжения, нужно усиленный ток пропустить через резистор, на котором образуется усиленное падение напряжения. Схема простейшего усилителя напряжения показана

на рис. 4.7. Главный параметр такого усилителя - коэффициент усиления по напряжению $U_{вых} / U_{вх} =$

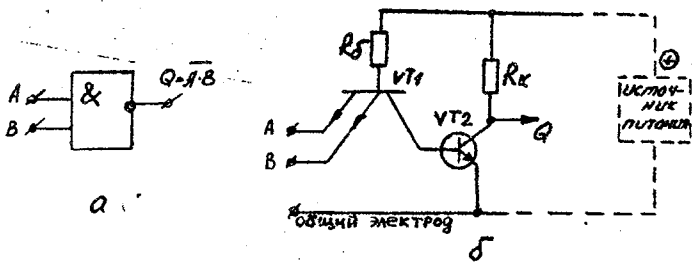


Р и с. 4.7

$= -k_v = -\beta R_{к} / R_{вх}$, где $R_{к}$ - сопротивление в цепи коллектора, $R_{вх}$ - внутреннее сопротивление между базой и эмиттером. Знак "-" в формуле коэффициента усиления означает, что возрастанию напряжения на базе транзистора соответствует усиленное уменьшение

напряжения на коллекторе транзистора.

Л о г и ч е с к и й . э л е м е н т. Современная цифровая техника построена на основе логических элементов. Функции, выполняемые логическими элементами, различны. Наибольшее распространение получили элементы типа "2И-НЕ". Этот шифр означает, что у элемента два входа, он выполняет функцию логического умножения "И" и инвертирует выходной сигнал. Инверсия - это смена сигнала на противоположное значение. Например, единичный сигнал после инверсии превращается в нулевой и наоборот.



Р и с. 4.8

Обозначение элемента 2И-НЕ показано на рис. 4.8а, а на рис.4.8б изображена упрощенная принципиальная схема такого элемента. Работа элемента 2И-НЕ происходит следующим образом. Функция логического умножения выполняется двухэмиттерным транзистором $VT1$. При замыкании любого из двух входов (эмиттеров) на общий электрод начинается

протекать ток от источника через резистор R_g , транзистор VT_1 и тот эмиттер, который замкнут на общий электрод. При протекании тока образуется падение напряжения на R_g и на базе усилительного транзистора VT_2 напряжение становится меньше, чем необходимо для открывания базно-эмиттерного $p-n$ перехода транзистора VT_2 . В результате через транзистор VT_2 ток не протекает, падения напряжения на R_k нет и выходное напряжение логического элемента имеет высокий уровень, близкий к напряжению питания, что соответствует уровню логической "единицы". То есть если "А" или "В" равны "0", то $Q = "1"$. Только в том случае, когда на обоих входах логического элемента будут действовать высокие уровни напряжения ("единицы"), ток по резистору R_g не протекает, падения напряжения на нем не происходит и напряжение на базе транзистора VT_2 повышается настолько, что он открывается. В этом случае через резистор R_k протекает ток и выходное напряжение логического элемента близко к нулю. То есть, если "А" = "В" = "1", то $Q = "0"$.

Существенной особенностью логических элементов является высокий уровень (примерно, 1 вольт) открывающих и закрывающих напряжений. Поэтому, если на входе логического элемента действует напряжение помехи с уровнем примерно 0,1...0,4 вольта, то логический элемент на него не реагирует. Это и обеспечивает высокую помехозащищенность таких элементов.

П о н я т и е о б и н т е г р а л ь н ы х м и к р о - с х е м а х. Усложнение функций управления технологическими процессами потребовало усложнения электронной аппаратуры. Это привело к снижению надежности. Выход был найден в создании интегральных микросхем (ИС). Здесь большую часть соединений элементов (соединения - наименее надежные места) оказалось возможным выполнить в едином технологическом процессе и в наиболее надежной форме - сварке. Эти соединения находятся внутри микросхемы. Количество внешних соединений резко (в 100...1000 раз) уменьшилось по сравнению с соединением отдельных элементов. Во столько же раз возросла надежность систем управления.

Вторым преимуществом микросхем является их миниатюрность (большинство микросхем располагаются на кристалле полупроводника размером 2×4 мм), что уменьшает время прохождения электромагнитных колебаний от одного элемента до другого. В результате оказалось возможным существенно повысить скорость выполнения операций по принятию решений в АСУ.

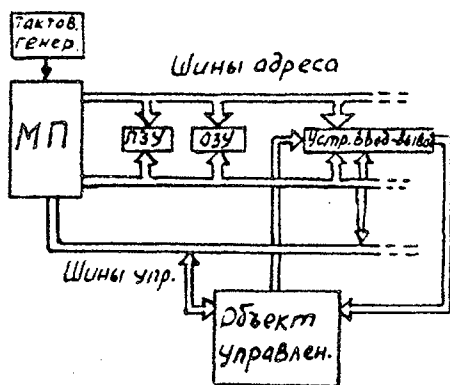
Совершенствование микросхем идет по пути их усложнения. Сейчас применяют большие интегральные схемы, в которых на одном кристалле расположена целая ЭВМ.

М и к р о п р о ц е с с о р. Применение больших интегральных схем (БИС) в электронных устройствах не только существенно улучшило эксплуатационные характеристики (надежность, потребление энергии, габариты, массу, стоимость, быстродействие) последних, но и открыло широкие возможности реализации весьма сложных алгоритмов управления разнообразными объектами. Внедрение цифровых методов и устройств обработки сигналов соизмерило электронную измерительную технику и вычислительную технику.

С появлением микропроцессоров (МП) цифровые вычислительные устройства органически внедрились в устройства управления различными приборами и системами. МП представляет собой цифровое устройство в виде одной или нескольких БИС, способное выполнять разнообразные операции по обработке сигналов в соответствии с хранимой в памяти МП программой. МП вместе с запоминающими устройствами и другими вспомогательными ИС составляет микропроцессорный комплект, на основе которого можно построить микропроцессорное управляющее устройство. С точки зрения схемотехники электронных устройств можно рассматривать МП как стандартный элемент повышенной сложности.

Необходимость появления и применения МП основана на следующем: по мере все большего проникновения электронных устройств в различные отрасли техники и быта сильно возрастает номенклатура электронных устройств. Это создает неудобства в их производстве и эксплуатации. Поэтому в последнее десятилетие стала проявляться тенденция к конструктивной унификации устройств. Вначале унифицировали номенклатуру элементов (усилители, счетчики, триггеры, дешифраторы и т.д.), а затем на стыке электроники и вычислительной техники появилась возможность еще большей унификации элементов на основе МП. МП управляющее устройство обладает универсальной структурой, позволяющей использовать МП для различных целей управления, контроля, измерения и вычислений. Конструктивно все МП одинаковы, что удобно для массового производства и эксплуатации. А различие функциональных свойств (индивидуализация) обеспечивается введением индивидуальной программы функционирования в специальную БИС (постоянное запоминающее устройство).

БИС постоянного запоминающего устройства выполняется так же, как универсальный элемент, а программа вводится с помощью электрических сигналов, которые разрушают соответствующие связи между элементами запоминающего устройства. Такая запись информации позволяет хранить ее неограниченно долго и независимо от наличия напряжения питания. Функциональная схема типового варианта соединения элементов микропроцессорного комплекта показана на рис. 4.9.



Р и с. 4.9

Работа микропроцессорного устройства происходит следующим образом. Предварительно в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) вводится программа работы. Запуск устройства производится подачей соответствующей кодовой комбинации на шины управления (извне). По команде запуска МП формирует на шинах адреса код, соответствующий той ячейке ПЗУ, с которой начинается программа (например, ячейка №1). После получения адреса ПЗУ выдает на шины данных код, который хранился в указанной ячейке. МП принимает код и выполняет команду, соответствующую этому коду. Затем МП формирует на шинах адреса код, соответствующий следующей ячейке ПЗУ, где хранится следующая команда и т.д. По необходимости МП может записать некоторые данные (коды чисел) в оперативное запоминающее устройство и потом получить их обратно.

Связь с объектом управления осуществляется через устройство ввода-вывода, которое при поступлении соответствующей команды от МП (адрес или код управления) принимает данные от объекта управления или передает их ему. Для такого взаимодействия необходимо, чтобы объект управления мог принимать и передавать информацию в цифровом виде.

4.2.3. Основы электрических измерений в СМД

4.2.3.1. Роль и место электрических измерений в автоматизации технологических процессов

Измерение - единственный метод физического эксперимента, обеспечивающий возможность получения количественной информации о множестве явлений и процессов, с которыми сталкивается человек. Измерение является также единственным методом получения информации в технических устройствах и системах. Без своевременного получения и достаточного объема информации невозможно успешное функционирование технических средств.

По мере усложнения современных технических систем возрастает роль управления. Эффективное управление возможно лишь при переработке соответствующего количества информации, получение и первичная обработка которой производится измерительными средствами. Измерение - тонкий и сложный инструмент, поэтому для того, чтобы использовать его правильно и эффективно, каждому инженеру необходимо знать основные возможности современной электроизмерительной техники.

В ряде случаев использование современных методов и средств измерений оказывает решающее влияние на развитие новых направлений в науке и технике. Многие достижения современной биологии, медицины, геофизики, химии и других наук обусловлены развитием методов и средств измерений. В свою очередь, совершенствование измерительной техники зависит от развития других разделов науки и техники. Сегодня измерительная техника использует самые новейшие достижения кибернетики, электроники, физики, биологии и т.д.

В процессе своего развития средства измерений постоянно совершенствовались от простейших приборов до сложнейших автоматических устройств и систем, предназначенных для получения измерительной ин-

формации об исследуемом объекте или процессе по многим параметрам. Информационно-измерительные системы представляют собой сложные комплексы устройств, предназначенных для восприятия информации, преобразования, обработки результатов, хранения и выдачи информации. Многообразие функций, выполняемых измерительными системами, функциональная связь между отдельными элементами системы, структура и выбор элементов являются предметом многочисленных исследований.

Электрические методы и средства измерений имеют наибольшее значение в практике благодаря гибкости, высоким метрологическим и эксплуатационным свойствам. При наличии большого потока информации, подлежащей сбору и переработке в современном производственном и научном процессе, электрические методы и средства позволяют наиболее просто автоматизировать измерения. Этим объясняется то, что измерение неэлектрических величин различных объектов производится путем их предварительного преобразования в электрические с последующим измерением электрических величин. В силу исключительной важности электрических методов и средств измерений их преимущественное развитие совершенно обоснованно как в настоящее время, так и в будущем.

Современные методы и средства электрических измерений продолжают совершенствоваться. Можно выделить следующие пути их развития:

- применение оптоэлектронных преобразователей;
- переход на цифровые методы и средства преобразования;
- унификация измерительных преобразователей;
- комплексирование средств измерений.

Измерение - это информационный процесс определения значения измеряемой физической величины с помощью специальных технических средств. Электрические измерения - это измерения, проводимые с помощью электрических средств. Достоинствами электрических измерений, обусловившими широкое применение электрических измерений в науке и технике, являются:

- 1) высокая точность;
- 2) малое потребление энергии от объекта измерения;
- 3) высокое быстродействие;
- 4) высокая надежность электрических и электронных блоков;
- 5) малый вес и габариты;
- 6) удобство автоматизации процесса измерения;
- 7) удобство централизованного сбора и обработки информации о многих измеряемых величинах;

- 8) удобство дистанционной передачи измерительной информации;
- 9) удобство совмещения с вычислительными машинами (ЭВМ);
- 10) возможность построения неограниченного количества различных измерительных устройств из ограниченного количества типов стандартных блоков (унификация).

4.2.3.2. Понятие об измерительной системе в ОМД

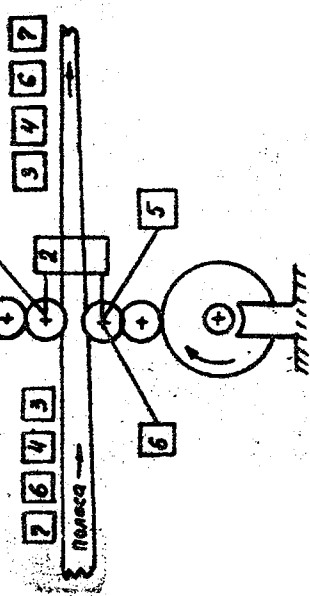
При рассмотрении схемы автоматизированного прокатного стана была показана измерительная система. Измерительная система – это аппаратный комплекс, состоящий из большого числа измерительных приборов и преобразователей, соединенных между собой так, чтобы были обеспечены наилучшие метрологические характеристики процессов измерения, регистрации и обработки результатов измерения многих разнородных величин. Схема одного из вариантов измерительной системы в прокатном производстве показана на рис. 4.10.

На объекте измерения устанавливаются датчики, которые преобразуют разнородные измеряемые величины (обычно неэлектрические) в электрические. При этом информация о параметрах объекта измерения передается посредством модуляции электрических сигналов. Датчики часто имеют различные виды модуляции и различные диапазоны изменения выходных электрических сигналов. Поэтому сигналы от датчиков преобразуются к одному (унифицированному) виду модуляции и к одному диапазону изменения. Это выполняется нормирующими преобразователями. С выхода нормирующих преобразователей сигналы поступают через коммутатор на аналого-цифровой преобразователь напряжения в цифровой код, который удобен для передачи сигналов к ЭВМ, хранения, индикации и регистрации информации. Внутри измерительной системы производится первичная обработка информации, цели которой:

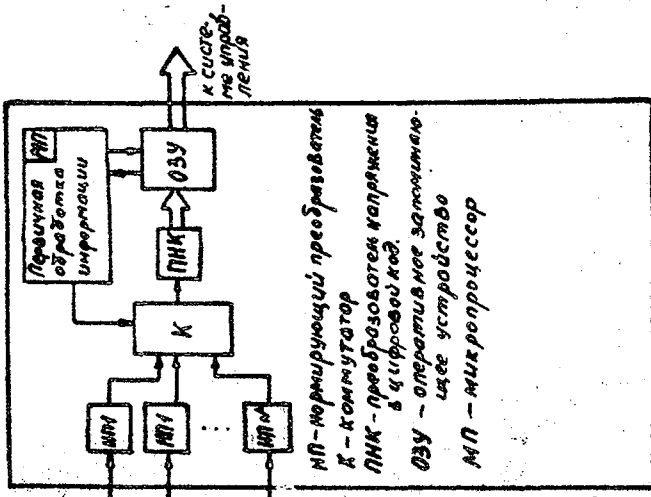
- 1) повышение точности за счет применения методов повышения точности;
- 2) оптимизация работы коммутатора за счет более частого опроса тех датчиков, где измеряемые величины изменяются быстрее, чем другие.

Усиление обратителю

для датчиков



- 1 - Датчик угла обмотки; 5 - Датчик скорости вращения вала;
- 2 - Датчик зазора;
- 3 - Датчик толщины полюсы; 4 - Датчик напряжения полюсы;
- 6 - Датчик скорости полюсы;



МП - микропроцессор
 К - коммутатор
 ПНК - преобразователь напряжения в цифровой код.
 ОЗУ - оперативное запоминающее устройство

Р и с. 4.10

4.2.3.3. Понятие о цифровых измерительных преобразователях

подавляющее большинство измеряемых величин являются аналоговыми (непрерывными). Преобразование их в цифровую форму позволяет:

1) повысить помехозащищенность передачи сигналов, что весьма важно в условиях металлообрабатывающих цехов, насыщенных электрооборудованием, создающим помехи;

2) обеспечить совмещение измерительных устройств с цифровыми ЭВМ, осуществляющими управление технологическим процессом. Преобразование осуществляется в аналого-цифровом преобразователе. Наиболее распространенным аналого-цифровым преобразователем является преобразователь напряжения в код (ПНК). Схема одного из вариантов ПНК изображена на рис. 4.11а.

Его принцип действия основан на широтно-импульсном преобразовании входного сигнала (постоянного напряжения) в последовательность прямоугольных импульсов, длительность которых пропорциональна преобразуемому напряжению. Широтно-импульсное преобразование основано на формировании фронтов импульсов в моменты равенства преобразуемого (входного) напряжения U_x и пилообразного напряжения $u_n(t)$ (см. рис. 4.11б).

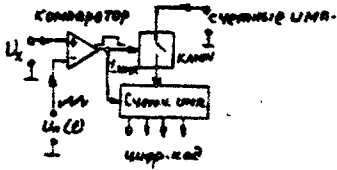
Пилообразное напряжение описывается формулой

$$u_n(t) = 2U_m t/T, \quad \text{при} \quad -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}.$$

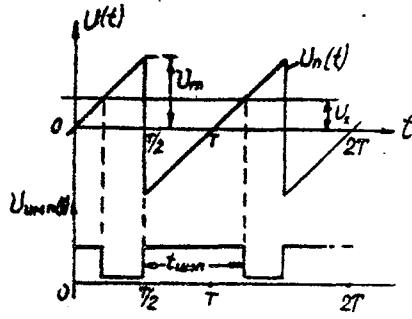
Длительность сформированных импульсов определяется из равенства $U_x = u_n(t)$ и оказывается пропорциональной входному напряжению:

$$t_{имп} = \frac{T}{2} (1 + U_x / U_m).$$

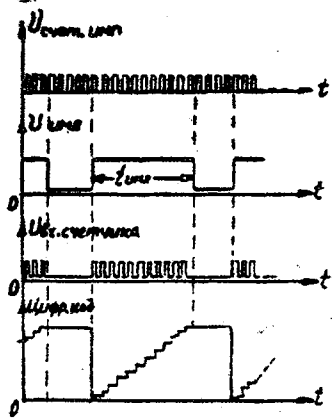
Преобразуемое напряжение U_x и пилообразное напряжение $u_n(t)$ поступают на два входа компаратора. Компаратор — это дифференциальный усилитель с коэффициентом усиления. В нем происходит формирование импульсов, фронты которых формируются в моменты равенства двух входных напряжений. Выходные импульсы компаратора управляют работой ключа (открывают и закрывают его). Во время действия сформированного импульса на вход счетчика импульсов проходят



а



б



в

Р и с. 4.II

высокочастотные счетные импульсы с частотой $f_{сч}$, которые вызывают изменение выходного цифрового кода счетчика. За время $t_{имп}$ в счетчике накапливается код, соответствующий числу

$$Ц = t_{имп} f_{сч} = (T f_{сч} / 2 + T f_{сч} U_x / 2U_m) - K_N$$

Количество импульсов, сосчитанных счетчиком, может быть только целым. Несоответствие между непрерывным, аналоговым характером изменения преобразуемого напряжения U_x и дискретным характером цифрового кода учитывается в последней формуле с помощью коэффициента $K_N = (0 + 1)$, принимающего произвольные значения внутри интервала $0 \dots 1$. Этот коэффициент отражает наличие погрешности квантования, присущей всем цифровым приборам, которая может быть равной единице младшего разряда выходного кода.

В течение паузы между импульсами на выходе компаратора ключ закрыт и цифровой код на выходе счетчика не меняется. С началом следующего импульса на выходе компаратора счетчик устанавливается сначала в исходное положение (нулевое значение выходного кода), а затем весь процесс начинается вновь.

4.2.3.4. Датчики в ОМД

В оборудовании ОМД применяются различные датчики, преобразующие разнородные измеряемые величины в электрические сигналы. Основные величины, измеряемые в технологических процессах ОМД:

- 1) механические перемещения и расстояния;
- 2) механические усилия;
- 3) скорость перемещения (линейного и вращательного);
- 4) температура;
- 5) толщина стенок обрабатываемых заготовок и изделий;
- 6) физико-механические свойства материалов изделий и заготовок;
- 7) наличие дефектов в заготовках и изделиях.

Рассмотреть все датчики в данном пособии невозможно. Однако познакомимся с наиболее важными для ОМД.

Д а т ч и к и п е р е м е щ е н и й и у с и л и й. Количество неэлектрических величин, подвергавшихся измерению, необозримо. Для некоторых неэлектрических величин разработаны специальные способы и средства электрических измерений. Однако для подавляющего боль-

шинства неэлектрических величин нет специальных электроизмерительных средств. Эти разнородные неэлектрические величины предварительно преобразуются (неэлектрическими средствами) в универсальную неэлектрическую величину - механическое перемещение. Например: температура (какой-либо детали или блока) преобразуется в перемещение с помощью биметаллических пластин; давление (газа или жидкости) преобразуется в перемещение с помощью мембраны; механическое усилие преобразуется в перемещение с помощью пружины и т.д.

Кроме того, механические перемещения важны и сами по себе, ибо несут информацию о взаимном положении отдельных деталей и узлов механизмов и машин. Поэтому в электроизмерительной технике большое внимание уделяют разработке методов и средств преобразования механических перемещений в электрический сигнал. Если какая-либо величина не изменяется, то нет смысла ее измерять, ибо результат измерения не несет информации. Поэтому не применяют название "датчик расстояния", ибо только изменение расстояния (т.е. перемещение) несет информацию.

Датчики перемещений столь разнообразны, что даже перечислить их все невозможно. Рассмотрим наиболее распространенные сейчас электромагнитные датчики перемещений и наиболее перспективные - оптические.

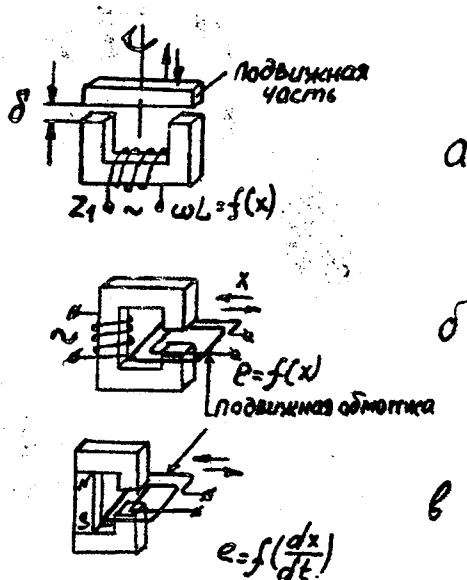
Электромагнитные датчики перемещений широко применяются в различных устройствах ОИД. Они имеют высокую чувствительность и точность, достаточно большую выходную мощность, простую конструкцию, обеспечивающую высокую надежность, малые габариты и массу.

Сейчас известны и применяются электромагнитные преобразователи трех типов:

- 1) индуктивные (перемещение преобразуется в изменение индуктивности);
- 2) трансформаторные (перемещение преобразуется в изменение коэффициента трансформации);
- 3) индукционные (скорость перемещения преобразуется в ЭДС).

Для пояснения принципа действия этих преобразователей на рис. 4.12 схематично изображены упрощенные варианты их конструкций.

Принцип действия индуктивного преобразователя иллюстрируется на рис. 4.12а. При перемещении подвижной части магнитопровода (относительно П-образного магнитопровода с обмоткой) изменяется ширина воздушного зазора между подвижной и неподвижной частями магнитопровода. В результате изменяется магнитное сопротивление магнитной

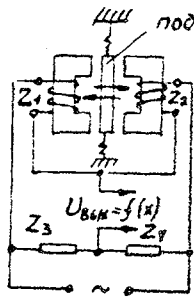


Р и с. 4.12

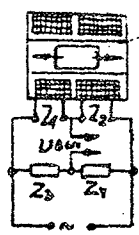
цепи и индуктивность обмотки, т.е. индуктивное сопротивление обмотки зависит от перемещения подвижной части. Сопротивление магнитной цепи изменяется и при повороте подвижной части относительно оси.

У трансформаторного преобразователя, принцип действия которого поясняет рис. 4.12б, в воздушном зазоре С-образного магнитопровода перемещается подвижная обмотка. По мере введения подвижной обмотки в зазор эта обмотка взаимодействует со все большей частью переменного магнитного потока, создаваемого обмоткой на С-образном магнитопроводе). В результате этого ЭДС, создаваемая в подвижной обмотке, зависит от положения подвижной обмотки.

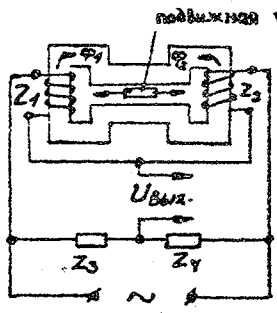
Индукционный преобразователь (рис. 4.12в) отличается от трансформаторного тем, что магнитный поток в магнитопроводе индукционного преобразователя является постоянным. Поэтому ЭДС в подвижной обмотке появляется лишь при ее перемещении.



a



б



в

Р и с. 4.13

Реальные преобразователи перемещений обычно выполняются в дифференциальном варианте. При этом уменьшается погрешность преобразования перемещения в электрическую величину и увеличивается линейный участок функции преобразования. Некоторые конструкции дифференциальных индуктивных преобразователей перемещений схематично показаны на рис. 4.13. На рис. 4.13а изображен дифференциальный вариант преобразователя, одноконтурный вариант которого показан на рис. 4.12а. При перемещении подвижной части магнитопровода один из зазоров уменьшается, а другой на столько же увеличивается. Это приводит к увеличению индуктивного сопротивления в одной из обмоток и уменьшению — в другой. Обмотки включены в мостовую цепь, выходное напряжение которой пропорционально механическому перемещению подвижной части.

В конструкции, показанной на рис. 4.13б, подвижный магнитопровод перемещается между двумя обмотками и влияет на их индуктивные сопротивления. В остальном он действует так же, как и предыдущий.

В конструкции, показанной на рис. 4.13в, действуют два встречных магнитных потока Φ_1 и Φ_2 . Они проходят через подвижную часть магнитопровода. При перемещении подвижной части длина пути, по которому проходит поток Φ_1 , увеличивается, а длина пути потока Φ_2 — уменьшается. Тогда изменяются магнитные сопротивления обмоток, и выходное напряжение мостовой цепи будет пропорционально перемещению подвижной части. Аналогично строятся и дифференциальные трансформаторные преобразователи перемещений.

Функцию преобразования дифференциального преобразователя можно получить из функции одиночного преобразователя (рис. 4.14). Так как при начальном положении подвижной части магнитопровода ($X = 0$) мостовая цепь находится в равновесии ($Z_1 = Z_2$ и $Z_3 = Z_4$), то при перемещении подвижной части выходное напряжение пропорционально разности сопротивлений обмоток:

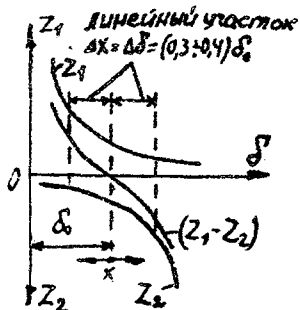


Рис. 4.14

$$U_{\text{вых}} = K(Z_1 - Z_2).$$

Из рис. 4.14 видно, что график зависимости $(Z_1 - Z_2)$ от δ более прямолинейный, чем график зависимости Z_1 или Z_2 . Кроме того, если величины Z_1 и Z_2 имеют одинаковые погрешности ΔZ (они одинаковы в си-

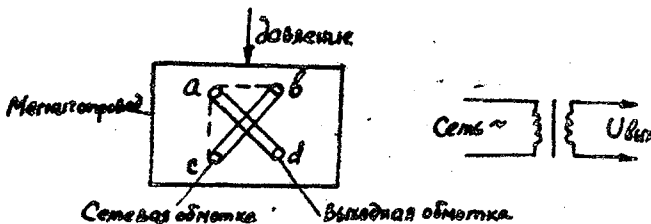
лу идентичности обмоток и магнитных цепей), то у разности $(Z_1 - Z_2)$

погрешность компенсируется:

$$[(x_1 + \Delta x) - (x_2 + \Delta x)] = x_1 - x_2.$$

Электромагнитные датчики с подвижной частью применяются, в основном, для средних перемещений в диапазоне 0,1 до 500 мм. Погрешность у современных вариантов таких датчиков составляет 0,1...1%.

При измерении усилий (давлений) обычно используют упругие свойства металлов. Деформация металлов в пределах упругости имеет прямолинейную зависимость от давления. Так как упругие деформации лежат в пределах 20,3% длины детали, то соответствующие им перемещения обычно невелики (не более 0,1...0,3 мм). В таком диапазоне перемещений в основном применяют либо тензорезистивные датчики, либо электромагнитные датчики - магнитоанізотропные мессдозы. Здесь рассмотрим только мессдозу. Упрощенно конструкция мессдозы может представлять собой кубик из ферромагнитного металла, в котором имеются отверстия (a, b, c, d) (рис. 4.15). В отверстия проходят провода двух обмоток. Одна обмотка включена в сеть переменного тока, а другая - выходная - на ней измеряют напряжение, пропорциональное давлению на кубик. Отверстия расположены так, что обмотки смещены в пространстве на угол 90°. Поэтому магнитный поток сетевой обмотки не индуцирует ЭДС в выходной обмотке, если нет магнитной анизотропии в магнитопроводе. При давлении на магнитопровод происходит его деформация, и магнитная проницаемость в направлении деформации (a-c) становится отличной от магнитной проницаемости в поперечном направлении (a-b). Это эквивалентно тому, что угол между обмотками изменился. В результате на выходной обмотке появляется ЭДС, пропорциональная давлению.



Р и с. 4.15

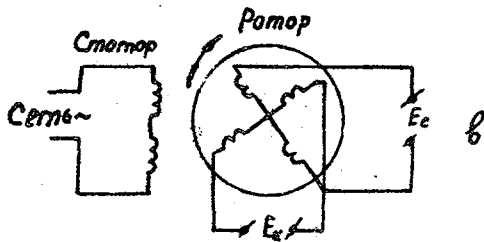
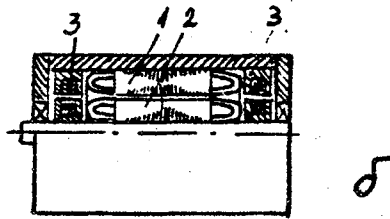
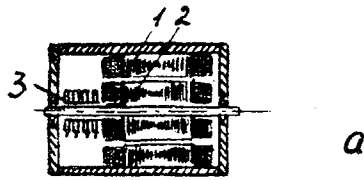
Такие датчики используются при измерении усилия обжатия в прокатных станах и в кузнечно-прессовом оборудовании.

Основным электромагнитным датчиком угловых перемещений сейчас является синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ).

По в о р о т н ы м (вращающимся) т р а н с ф о р м а т о р о м называется индукционная электрическая машина переменного тока, коэффициенты взаимодействия между обмотками которой изменяются по определенному закону от угла поворота ротора. ВТ широко применяются в электромеханических счетно-решающих устройствах в качестве преобразователей угла поворота в переменное напряжение, величина которого изменяется по заданному закону от угла поворота вала, в синхронных передачах грубого и точного отсчета как измерители угла рассогласования между двумя осями, в преобразователях вал-цифра, в программных механизмах и т.п.

Двухполюсные СКВТ (рис. 4.16а) выполняются как неявнополюсные электрические машины, имеющие равномерно распределенные пазы на статоре и роторе. Пакеты статора 1 и ротора 2 набираются из листовой электротехнической стали или пермаллоя. Для получения однородных магнитных свойств применяется веерная сборка листов и скос паза ротора на одно зубцовое деление. В пазы статора и ротора укладываются по две взаимно перпендикулярные обмотки; закон распределения витков по пазам подбирается таким образом, чтобы коэффициент взаимной индукции между обмотками статора и ротора изменялся по синусоидальному (косинусоидальному) закону от угла поворота ротора. Напряжение к обмоткам ротора подводится (снимается) с помощью контактных колец 3 и щеток или с помощью контактных пружин; во втором случае угол поворота ротора ограничен.

В последние годы получили распространение преобразователи, в которых статор и ротор аналогичны статору и ротору в контактном СКВТ, а питание к обмотке ротора подается с помощью кольцевого трансформатора 3 (рис. 4.16б). Электрическая схема СКВТ приведена на рис. 4.16в. При подаче на обмотку возбуждения В1-В2 переменного напряжения U_B в воздушном зазоре возникает пульсирующий магнитный поток Φ_B , который, пронизывая вторичные обмотки, наводит в них ЭДС, пропорциональные синусу и косинусу угла поворота ротора α : $E_c = kU_B \sin \alpha$; $E_k = kU_B \cos \alpha$. Значение угла поворота ротора определяют с помощью встроенного вычислителя (в последнее время - микропроцессор) по формуле



Р и с. 4.16

$$\alpha = \arctg(E_c/E_k) = \arctg(\sin \alpha / \cos \alpha).$$

Погрешность СКВТ имеет уровень 0,1...0,2%. В последнее десятилетие все чаще применяют оптоэлектронные датчики перемещений.

Типовая структура оптического канала передачи измерительной информации показана на рис. 4.17. От источника света световой поток передают по световоду к модулятору светового потока, где световой поток становится носителем измерительной информации. Далее световой поток передается по световоду к фотоприемнику, в котором световой поток преобразуется в электрический сигнал. Дальнейшие преобразования информации происходят в электрической форме.



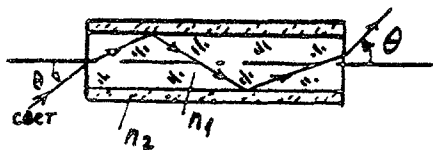
Р и с. 4.17

Для построения малогабаритных фотоэлектрических преобразователей вместо линзово-призмных светопередающих трактов удобнее использовать гибкие стеклянные световоды. Жгут световодов представляет собой пучок волоконных световодов. Для улучшения гибкости жгута склеиваются лишь концы волокон, остальная часть волокон остается свободной. Плоскость торца, перпендикулярная к осям отдельных волокон, полируется. Снаружи волокна защищены общей полимерной оболочкой.

Освещая источником облучения входной торец жгута, можно направить излучение в нужное место. Если относительное расположение волокон на обоих торцах жгута одинаково, то такой жгут называют *к о г е р е н т н ы м* (или с регулярной укладкой). Внутри самого жгута волокна могут располагаться произвольным образом. Такие жгуты применяют для передачи изображений. Диаметр волокон жгута обычно не превышает 50-70 мкм. Разрешающая способность современных образцов волоконных гибких жгутов составляет 30-40 линий на 1 мм.

Отдельное волокно состоит из жилы (стержня), выполненной из оптического стекла с показателем преломления n_1 , и оболочки из стекла с показателем преломления n_2 (рис. 4.18). Работа световода основана на полном внутреннем отражении света в световоде, что возможно при $n_1 > n_2$. Кроме того, оболочка защищает жилу от возможных повреждений и загрязнения, что обеспечивает малые потери света при отражениях. Теоретические положения волоконной оптики основаны на двух предпосылках:

- свет передается по отдельному волокну вследствие полного внутреннего отражения от его стенок;
- собранные в жгут волокна передают световые лучи независимо друг от друга.



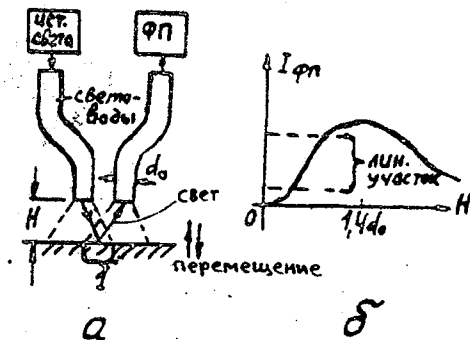
Р и с. 4.18

являются перспективными).

Источниками излучения для фотоэлектрических преобразователей могут быть различные лампы (миниатюрные), светодиоды, лазеры. Наиболее часто применяются либо миниатюрные лампы накаливания, либо светодиоды (последние

фотоприемники преобразуют лучистую энергию в электрический сигнал. Для более полного использования лучистой энергии источника спектральная чувствительность используемых фотоприемников должна соответствовать спектральной характеристике излучателя. Существует несколько типов фотоприемников: фотокатоды, фотоумножители, фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы. В настоящее время наилучшими характеристиками обладают кремниевые фотодиоды. Схема простейшего аналогового оптоволоконного датчика перемещений показана на рис. 4.19а. У такого датчика принцип действия основан на том, что световой поток, проходя по контролируемому зазору от одного волоконного жгута к другому, изменяет свою интенсивность.

Световой поток от источника света через световод передается в зону, где требуется контролировать перемещение какой-либо детали относительно корпуса (на корпусе располагаются световоды и другие элементы преобразователя). Отражаясь от поверхности подвижной дета-



Р и с. 4.19

ли, свет попадает во второй световод и через него поступает на фотоприемник (ФП), где преобразуется в электрический сигнал. Интенсивность светового потока (и фототока), попадающего на фотоприемник, зависит от расстояния между торцами световодов и подвижной детали. Графически это показано на рис. 4.19б.

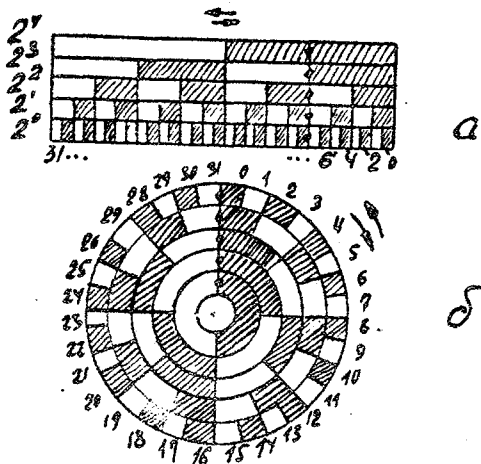
Световой поток выходит из торца и расходится под некоторым телесным углом, называемым *а п е р т у р о й* (показан пунктиром на рис. 4.19а). Поэтому площадь светового пятна на подвижной детали зависит от ширины контролируемого зазора.

С другой стороны, свет, который может войти в световод, должен быть направлен внутри конуса с некоторым углом (апертура). В результате получается, что световой поток может попасть из одного световода в другой только отравившись от участка подвижной детали, находящегося внутри зоны взаимного перекрытия двух апертур световодов. На рис. 4.19а этот участок обозначен цифрой I. Размер этого участка зависит от расстояния между торцами световодов и подвижной деталью: чем больше расстояние H , тем больше площадь участка "I" и больше сила фототока (см. рис. 4.19б). При уменьшении H участок "I" уменьшается и может полностью исчезнуть, поэтому фототок вблизи $H=0$ имеет нелинейную зависимость от H . Для больших величин зазоров начинает проявляться эффект затухания света, и зависимость фототока от H убывает.

Из рис. 4.19б видно, что у зависимости фототока от H есть линейный участок. Именно его и используют для преобразования перемещения в электрический сигнал. Для уменьшения влияния свойств среды в контролируемом зазоре (масло, аэрозоли) применяют инфракрасный свет с длиной волны порядка 0,9 мкм.

Вид характеристики $J_{\text{фот}}(H)$ зависит от диаметра торца световода d_0 и расстояния между световодами. Выбирая эти параметры соответствующим образом, можно изменять диапазон преобразуемых перемещений. Линейный участок характеристики $J_{\text{фот}}(H)$ обычно находится между значениями H , равными $0,5 d_0$ и d_0 .

Такие простые оптоволоконные преобразователи могут работать в весьма тяжелых по вибрации и температуре условиях эксплуатации. Оптические датчики имеют очень малую мощность сигнала (светового потока), несущего информацию. Поэтому точные оптические датчики строят в цифровой форме, где выше помехозащищенность. В них кодирующим элементом преобразователей являются кодовые маски. Простейшие варианты кодирующих двоичных масок для линейных и угловых перемещений показаны на рис. 4.20а,б.



Р и с. 4.20

Непрозрачные участки маски заштрихованы. Через прозрачные участки маски свет проходит на фотоприемники. Простейший вариант расположения фотоприемников показан точками. Маска состоит из нескольких кодовых "дорожек", каждая из которых осуществляет модуляцию светового потока (при перемещении маски) в двоичном коде. Вес разряда определяется относительной длиной прозрачных и непрозрачных участков на дорожках. При перемещении маски меняются световые потоки, попадающие на фотоприемники; последние формируют электрические сигналы, соответствующие двоичному коду перемещения.

Достоинством двоичной кодовой маски является то, что она позволяет непосредственно получать двоичный код числа (перемещения) — это удобно для совмещения с вычислительными устройствами. Недостатком такой маски является возможность появления большой ошибки из-за неидеальной установки фотоприемников на одной линии и неидеальности границ участков на маске. Например, на рис. 4.20б показано положение фотоприемников, которые в идеальном случае должны находиться на границе перехода от освещенного к затемненному состоянию. В реальном преобразователе и фотоприемники, и границы участков маски смещены относительно идеального положения. В результате этого фотоприемники могут находиться либо в освещенной, либо в затемненной зоне, поэтому выходной код (в таком положении маски) может принимать любое значение от нуля до максимального значения. Для устранения этого недостатка применяют либо дополнительные фотоприемники, либо специальные кодовые маски (например, в коде Грея). Недостатком преобразователей, реализующих способ считывания, является громоздкость (большие габариты). Например, преобразователь с 14-разрядным выходным кодом имеет диаметр маски 250 мм при ширине луча 50 мкм и ширине дорожки 2 мм.

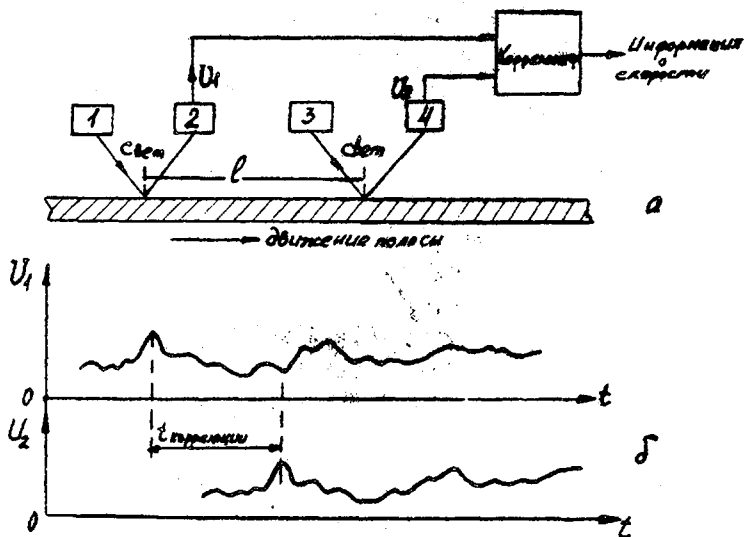
Д а т ч и к и с к о р о с т и в О М Д. В процессах ОМД требуется измерять скорость вращения валков и роликов, а также линейную скорость движения полосы и скорость движения ползуна.

Скорость вращения обычно преобразуют в электрический сигнал с помощью тахогенераторов. Сейчас используются два типа тахогенераторов — магнитоэлектрический и асинхронный. В магнитоэлектрическом тахогенераторе ротор представляет собой постоянный магнит, который при вращении индуцирует в обмотке статора переменную ЭДС, частота и амплитуда которой пропорциональны скорости вращения. Более распространен асинхронный тахогенератор с полным ротором. В статоре такого

тахогенератора расположены две взаимноортогональные обмотки. Одна из них включена в сеть переменного тока, а с другой получают ЭДС, пропорциональные скорости вращения ротора.

Тахогенераторы могут (посредством специальных механизмов) преобразовывать в электрический сигнал скорость линейного перемещения. Однако тахогенераторы имеют весьма существенный недостаток - наличие механического контакта с объектом измерения. Это делает их неприменимыми для прямого измерения скорости движения полосы при прокатке. В таком случае применяют более сложное оптическое устройство, упрощенная схема которого изображена на рис. 4.21а. Здесь имеются два источника света (лазеры) - элементы 1,3. Они освещают движущуюся полосу. Отраженный свет попадает на два фотоприемника (2,4), в которых формируются напряжения, пропорциональные отражательной способности полосы в освещаемой точке. Из-за действия многих факторов распределение отражательной способности вдоль полосы - это случайная величина. В результате получают сигналы от фотоприемников, являющиеся случайными коррелированными функциями времени. Время корреляции $t_{корр}$ равно времени прохождения точки на поверхности полосы из зоны облучения первого излучателя в зону второго излучателя. Время корреляции определяют, сдвигая (в сторону запаздывания) сигнал u_1 до достижения совпадения u_1 и u_2 . Раньше сдвиг делали с помощью магнитофона (с кольцевой лентой и регулируемой скоростью протяжки ленты), а сейчас - с помощью микропроцессора. зная время корреляции и расстояние между освещаемыми зонами l , получают скорость движения полосы $v = l/t_{корр}$.

Д а т ч и к и т е м п е р а т у р ы в О.М.Д. Температуру преобразуют в электрический сигнал с помощью терморезистора или терморезистора. в первом случае от температуры зависит ЭДС, а во втором - сопротивление датчика. Эти датчики очень просты, но требуют непосредственного контакта с тем объектом, температуру которого они преобразуют. Кроме того, эти датчики имеют значительную тепловую инерционность (из-за наличия защитного корпуса). В тех случаях, когда невозможно измерение температуры объекта путем непосредственного контакта с ним датчика из-за слишком высокой температуры или быстрого перемещения объекта, применяют пирометры излучения, принцип действия которых основан на связи между температурой тела и количеством излучаемой им энергии.

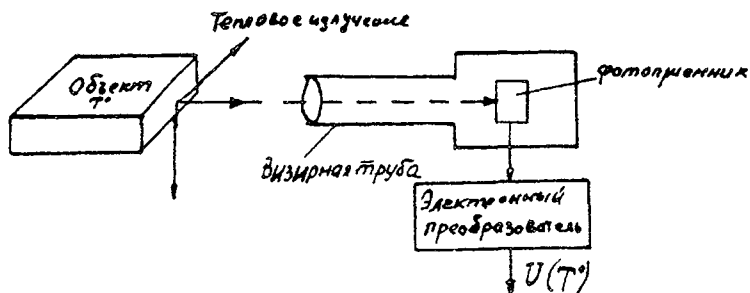


Р и с. 4.21

Существуют три типа пирометров излучения:

- 1) радиационный; здесь преобразуется в электрический сигнал полное тепловое излучение (весь спектр) посредством преобразования излучения в теплоту и нагрева термопары;
 - 2) яркостный; такой пирометр реагирует только на мощность излучения одной монохроматической части спектра, выделяемой светофильтром;
 - 3) цветовой; работа такого пирометра основана на сравнении интенсивности (мощности) излучения в двух монохроматических участках спектра. Сравнение осуществляется определением отношения яркостей.
- Каждый последующий тип пирометров сложнее предыдущего, но зато и точнее.

Все пирометры излучения имеют однотипную конструкцию, схематически показанную на рис. 4.22. Пирометры излучения состоят из трех основных частей: визирная трубка, фотоприемник, электронный преобразователь.



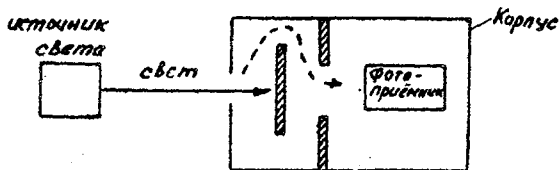
Р и с. 4.22

Работа оптического пирометра происходит следующим образом. Визирная трубка направляется на объект, температуру которого требуется измерять. Оптическая система трубки фокусирует излучение от объекта на фотоприемнике, который преобразует световое излучение в электрический сигнал. Электронный преобразователь питает фотоприемник и преобразует сигнал от фотоприемника.

Д а т ч и к и з а щ и т ы. Во время работы технологического оборудования в цехе возможно появление пыли, газа, возникновение пожара и т.д. Для сигнализации о подобных нарушениях в цеховом технологическом оборудовании предусмотрены датчики защиты.

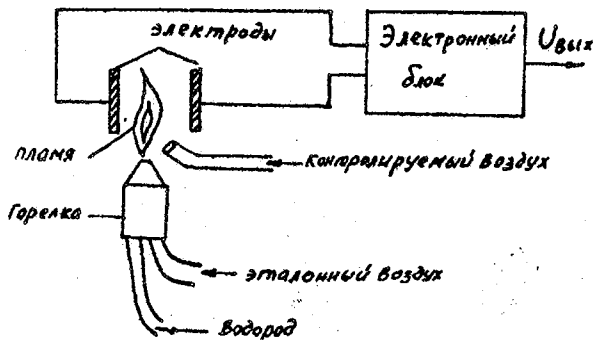
Упрощенная схема датчика пожарной защиты изображена на рис. 4.23. Фотоприемник расположен в корпусе, где внутренние стенки зачернены (для исключения отражения) и выполнены ребристыми, так чтобы свет от источника не мог пройти прямым путем к фотоприемнику. Если поблизости от датчика возникнет пожар, то дым попадает в корпус. Свет рассеивается на частицах дыма и рассеянный свет, огибая внутренние перегородки, попадает на фотоприемник. Фотоприемник вызывает срабатывание реле, включающего пожарную сигнализацию.

Для выявления наличия вредных (или опасных) газов применяют датчик, принцип действия которого поясняется рис. 4.24. Работает датчик следующим образом. Между двумя электродами помещают горелку, соединенную с резервуарами водорода и специальной воздушной смеси (т.н. "эталонного воздуха"). Водород сгорает, образуя пламя в межэлектродном промежутке.



Р и с. 4.23

В зону пламени закачивают контролируемый воздух (из технологической установки или цеха). Состав "эталонного воздуха" подбирают таким образом, чтобы при появлении в нем выявляемого вредного газа в пламени образовались ионы. Наличие ионов приводит к появлению тока в цепи электродов. Наличие тока фиксируется электронным блоком, который включает сигнализацию.



Р и с. 4.24

Вихретоковые датчики. Вихретоковые датчики применяются для следующих целей:

- 1) обнаружение дефектов типа микротрещин, закатов, непроваров, прижогов;
- 2) контроля толщины металлических стенок и листов через зазор или под слоем герметика;
- 3) селективного контроля толщины отдельных слоев в многослойных изделиях, в том числе толщины планировочного слоя;

- 4) контроля качества термообработки и сортировки заготовок по материалу;
- 5) измерения ширины непроводящих зазоров и толщины таких покрытий;
- 6) контроля наличия металла в непроводящих изделиях.

Вихретоковые датчики очень просты по устройству - они представляют собой катушку индуктивности, расположенную вблизи (не более одного радиуса обмотки катушки) контролируемого металлического изделия. Катушка создает в контролируемом изделии вихревые токи. Изделие с вихревыми токами эквивалентно вторичной обмотке трансформатора, первичной обмоткой которого является катушка индуктивности.

Вихревые токи в изделии зависят:

- 1) от электрофизических свойств материала (удельное сопротивление, магнитная проницаемость), а через них от состава и от напряженного состояния;
- 2) толщины изделия;
- 3) ширины зазора между изделием и катушкой;
- 4) наличия дефектов в изделии.

Свойства изделия влияют на вихревые токи. Последние трансформируются в катушку, создавая в ней некоторое добавочное сопротивление (называемое вносимым), которое несет информацию о свойствах контролируемого изделия. Подключая катушку к специальному электронному блоку, можно выделить информацию о свойствах контролируемого изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ожидаемые направления технического прогресса в электрооборудовании процессов ОМД следующие.

В электротехнологических процессах следует ожидать дальнейшего расширения возможностей процессов магнитоимпульсной ОМД. Возможно проникновение этого вида ОМД в прокатное производство.

В электроприводах следует ожидать развития точных приводов на основе силовых шаговых двигателей, которые имеют в электроприводе такое же значение и роль, как логические элементы в современной электронике.

В электронике следует ожидать все большего перехода на цифровые элементы и применение оптоэлектронных средств.

В измерительной технике сейчас начался и будет продолжаться далее процесс симбиоза измерений и вычислений в единых измерительно -

вычислительных устройствах. В частности, ожидается выпуск датчиков со встроенными микропроцессорами.

В датчиках наметились два пути совершенствования:

- 1) повышение точности за счет применения методов повышения точности;
- 2) комплексирование систем датчиков.

И то и другое направления требуют разработки новых классов датчиков и эта работа уже ведется сейчас.

Библиографический список

1. Электротехнологические промышленные установки: Учебник для вузов / И.П. Евтюкова и др. М.: Энергоиздат, 1982. 400 с.
2. Электрооборудование кузнечно-прессовых машин: Справочник / В.Е. Стоколов и др. М.: Машиностроение. 1981. 304 с.
3. Электротехнический справочник. М.: Энергоиздат, 1982.
4. Бэр Г.И., Экке В. Основы электротехники. М.: Высш. шк. 1981. 176 с.
5. Бычков В.И. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: Высш. шк., 1977. 391 с.

Д м и т р и е в Юрий Степанович

Х а р д и н Виктор Борисович

**ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОЦЕССЫ В ОМД**

Редактор Л.Я. Ч е г о д а е в а

Техн. редактор Н.М. К а л е н ю к

Корректор И.С. К у п р и я н о в а

Лицензия ЛР № 020301 от 28.11.91 г.

Подписано в печать 14.05.94 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл.печ.л. 5,8.

Усл.кр.отт. 5,9. Уч.-изд.л. 5,5. Тираж 250 экз.

Заказ № 170. . Арт. С - 1/94.

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королева. 443080 Самара, Московское
шоссе, 34.

ИПО Самарского государственного аэрокосмического универ-
ситета. 443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.