

Глава G
Сервоклапаны, приборная техника
Фридель Лидхегенер

Общий обзор

Сервоклапаны фирмы Рексрот были разработаны как промышленные клапаны и соответствуют требованиям, предъявляемым к ним со стороны индустрии, относительно надежности, взаимозаменяемости и легкого обслуживания. Они устроены согласно исполнению из унифицированных блоков.

Сюда относится, между прочим:

- принципиальное использование стандартной схемы присоединения согласно DIN-стандарту 24 340 для всех номинальных величин
- взаимозаменяемость серводвигателей или первых ступеней
- возможность юстировки снаружи
- взаимозаменяемый фильтроэлемент в первой ступени.

Сервоклапаны фирмы Рексрот представляют собой дальнейший унифицированный блок в программе поставок фирмы Маннесманн Рексрот.

Понятие "серво" применяется чрезвычайно разносторонне. Выражаясь в общем, посредством такого понятия обозначается функция, при которой маленький входной сигнал вызывает образование большого выходного сигнала (усилитель).

Широко известным является рулевое сервоуправление в автомобиле, при котором тот, кто с незначительным усилием управляет рулем, передает большое усилие к колесам.

Аналогично происходит также в сервогидравлике. Управляющий сигнал малой мощности, например, в 0,08 вт, может управлять большими мощностями в несколько сотен ватт аналоговым способом.

Сервоклапан, как приводимый электрическим способом гидравлический усилитель, применяется преимущественно в контурах регулирования, это означает, что при этом преобразуется не только электрический входной сигнал в соответствующий масляный поток, но и измеряются отклонения от предварительно заданной скорости или позиции электрическим способом и подводятся к сервоклапану для коррекции.

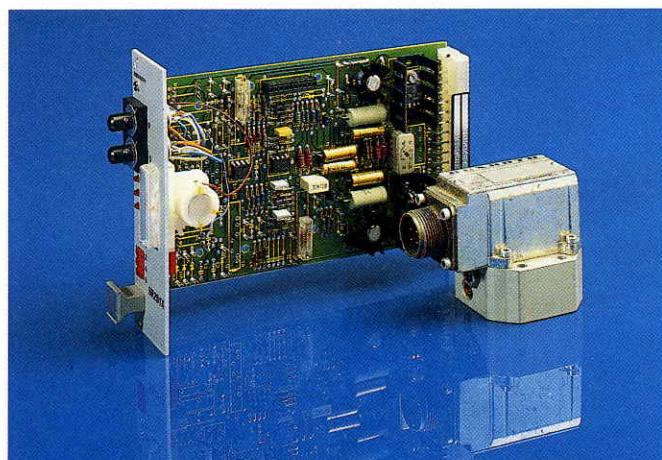


Рис. 1: Одноступенчатый напорный сервоклапан типа 4DS1EO2, 1-я ступень агрегатной системы сервоклапанов



Рис. 2: Сервораспределители ДУ10 с механической обратной связью типа 4WS2EM10 (справа), с электрической обратной связью типа 4WS2EE10 (слева) и барометрической обратной связью типа 4WS2EB10 (посредине)

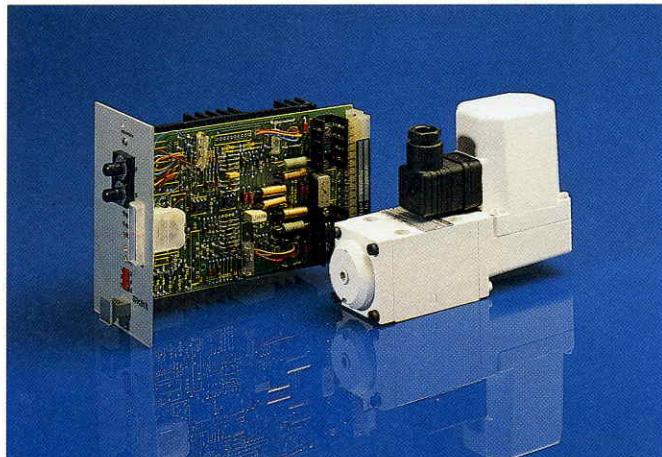


Рис. 3: Одноступенчатый регулирующий клапан (сервоклапан) типа 4WS1EO6

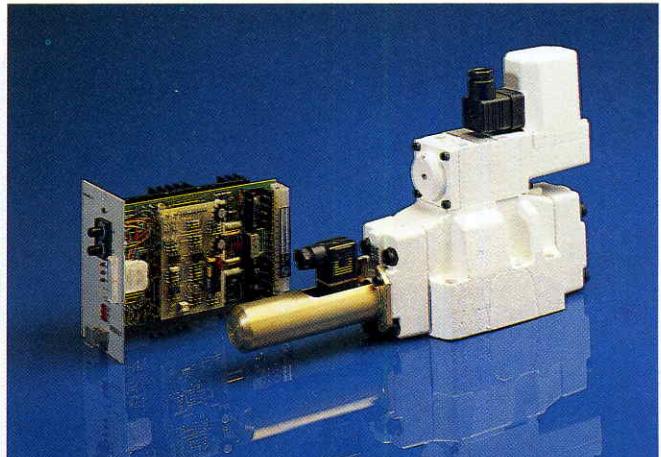


Рис. 4: Двухступенчатый пропорциональный распределитель типа 4WRV, в качестве 1-й ступени применяется регулирующий клапан (рис. 3)

СЕРВОДВИГАТЕЛЬ (поворотный серводвигатель)

Серводвигатель преобразовывает малый сигнал тока в пропорциональное механическое движение.

У сервоклапанов фирмы Рексрот двигатель — это устройство само по себе, он монтируется и проверяется отдельно, а также может взаимозаменяться. Это облегчает техход и проведение ремонта.

"Сухой двигатель" отделяется от гидравлического оборудования посредством герметического уплотнения и сконструирован следующим образом:

Якорь из магнитного "мягкого" материала закрепляется пружинящим способом на тонкостенной, упругой трубке, которая одновременно направляет так называемую заслонку и предусматривается для того, чтобы посредством герметического уплотнения отделять от среды под давлением. Заслонка, таким образом, относится по своей конструкции к серводвигателю, а по своей функции — к гидравлическому усилителю.

Наш серводвигатель представляет собой двигатель с непрерывным магнитным возбуждением. С помощью юстируемых "полюсных винтов" можно юстировать зазор между якорем и полюсным винтом и устанавливать оптимальный режим для характеристики двигателя.

Две, расположенные на якоре, катушки намагничивают якорь. Вследствие этого на трубку (возвратная пружина) будет оказывать воздействие момент.

Момент пропорционален величине управляющего тока и при отключенном управляющем токе ($I = 0$) составляет "0", при этом устанавливает трубка (возвратная пружина) якорь, а вследствие этого также заслонку, обратно на среднюю позицию.

Передача момента такой конструкции серводвигателя от якоря к заслонке имеет очевидные преимущества, как, например:

- отсутствие трения
- малый гистерезис
- уплотнение между напорной средой и серводвигателем
- отсутствует магнитное поле в напорной среде

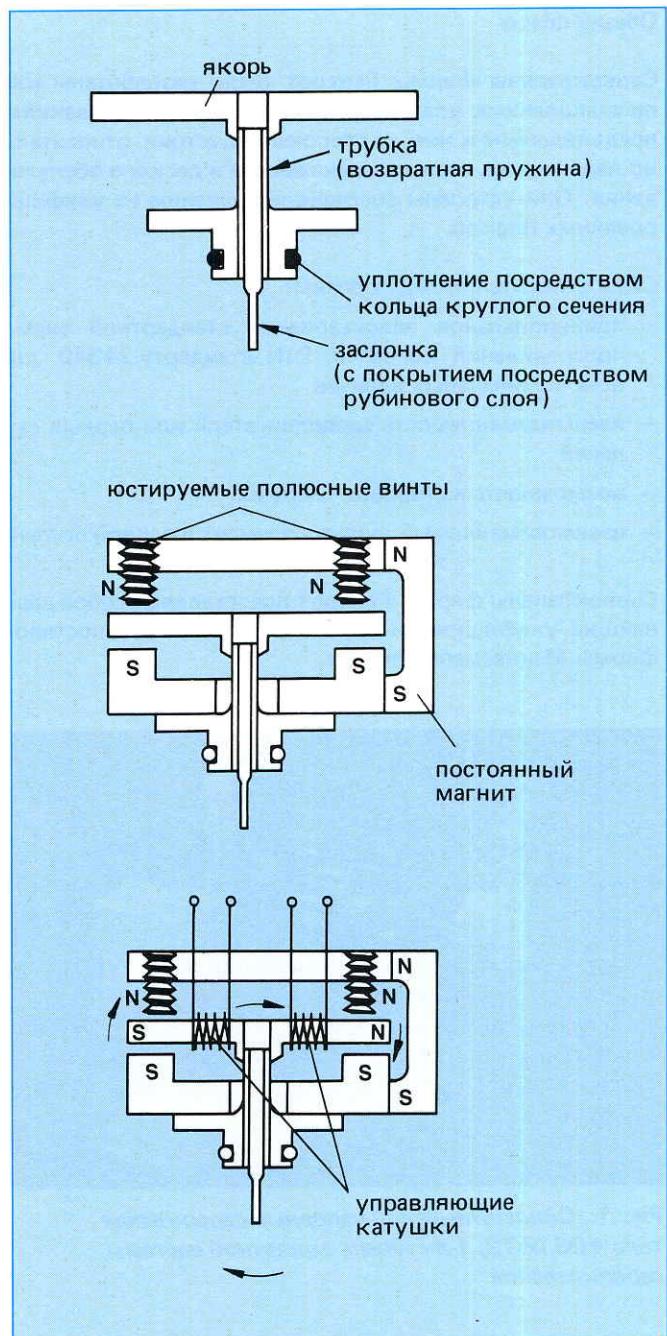


Рис. 5: Конструкция серводвигателя

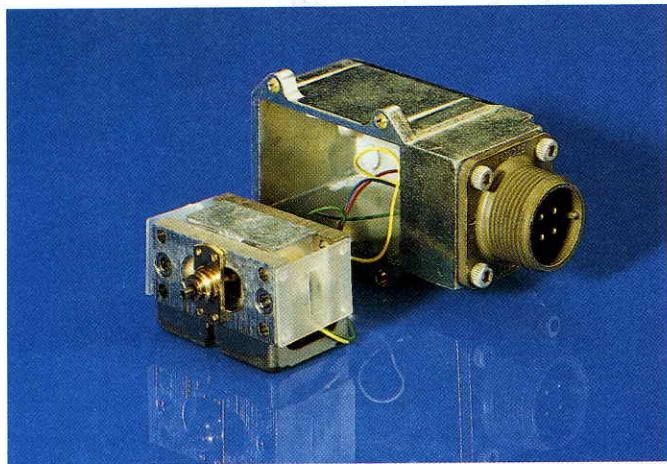


Рис. 6: Серводвигатель без обратной связи

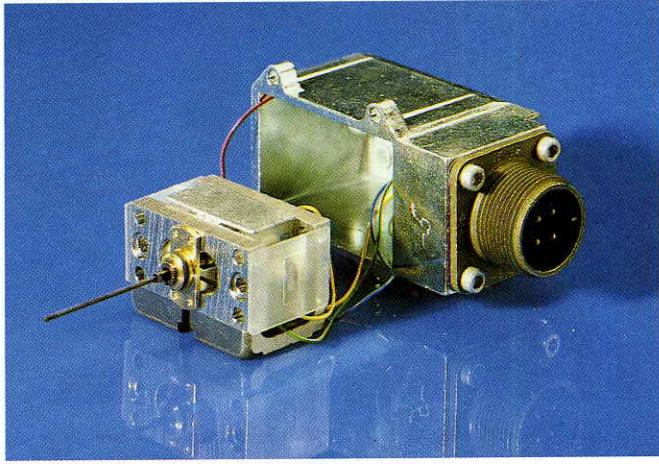


Рис. 7: Серводвигатель с механической обратной связью

1-я ступень

Клапаны типа 4 DS 1EM2 — это одноступенчатые напорные сервоклапаны и служат для управления с серводействием многоступенчатыми сервоклапанами.

Они состоят в основном из:

- серводвигателя, возбуждаемого с помощью постоянного магнита (1)
- гидроусилителя (2), выполненного как усилитель типа "сопло-заслонка".

Серводвигатель

Серводвигатель — это двигатель, возбуждаемый посредством постоянного магнита и отделенный посредством герметического уплотнения от гидравлического оборудования.

Якорь (3) из магнитного мягкого материала закрепляется пружинящим способом на тонкостенной, упругой трубке (4). Такая трубка направляет одновременно заслонку (5) и отделяет посредством герметического уплотнения серводвигатель (1) от гидравлического оборудования. С помощью полюсных винтов (6) могут кустироваться расстояния между якорем (3) и верхней полюсной пластиной (8).

При одинаковых расстояниях и без электрического управляющего сигнала магнитный поток в 4-х щелях (9) будет одинаковых размеров. Если катушкам (10) будет подаваться электрический управляющий сигнал, то якорь (3) будет перемещаться. Одновременно с якорем (3) будет перемещаться заслонка (5).

Вырабатываемый управляющим током в якоре (3) момент относится прямо пропорционально к электрическому входному сигналу и составляет при отключенном управляющем токе ($I = 0$) "0". При этом удерживаются якорь и заслонка посредством трубы (4) на средней позиции.

Гидравлический усилитель

Преобразование перемещения заслонки в гидравлическую величину производится в гидравлическом усилителе (2). В качестве гидравлического усилителя в данном случае система усиления типа "сопло-заслонка" (рис. 8).

Система состоит из 2-х неподвижных сопл D₁ и 2-х регулировочных сопл D₂. Имеющееся в распоряжении управляющее давление с двух сторон понижается посредством сопл D₁ и D₂. Если поперечные сечения сопл будут одинаковой величины, то с помощью сопл потеря давления будет одинаковой (например, $p = 100$ бар, $A_{St}/B_{St} = 50$ бар, $T = 0$).

С перемещением заслонки изменяются расстояния к регулировочным соплам, например, перемещение влево:

Расстояние заслонки при D₂ влево будет меньше, при D₂ вправо — больше. В соответствии с этим в обратном направлении изменяются давления при A_{St} и B_{St}. Давление A_{St} повышается, давление B_{St} понижается. В качестве годного для использования сигнала применяется разность давлений A_{St} — B_{St}.

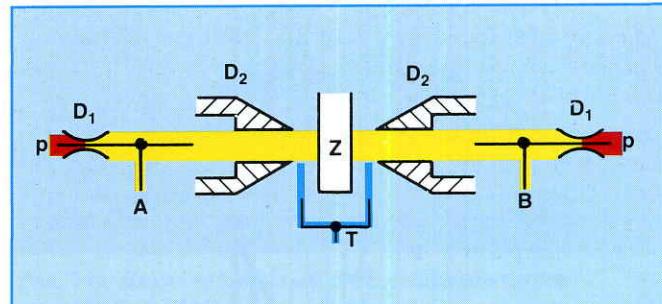


Рис. 8: Принцип системы усиления типа "сопло-заслонка"

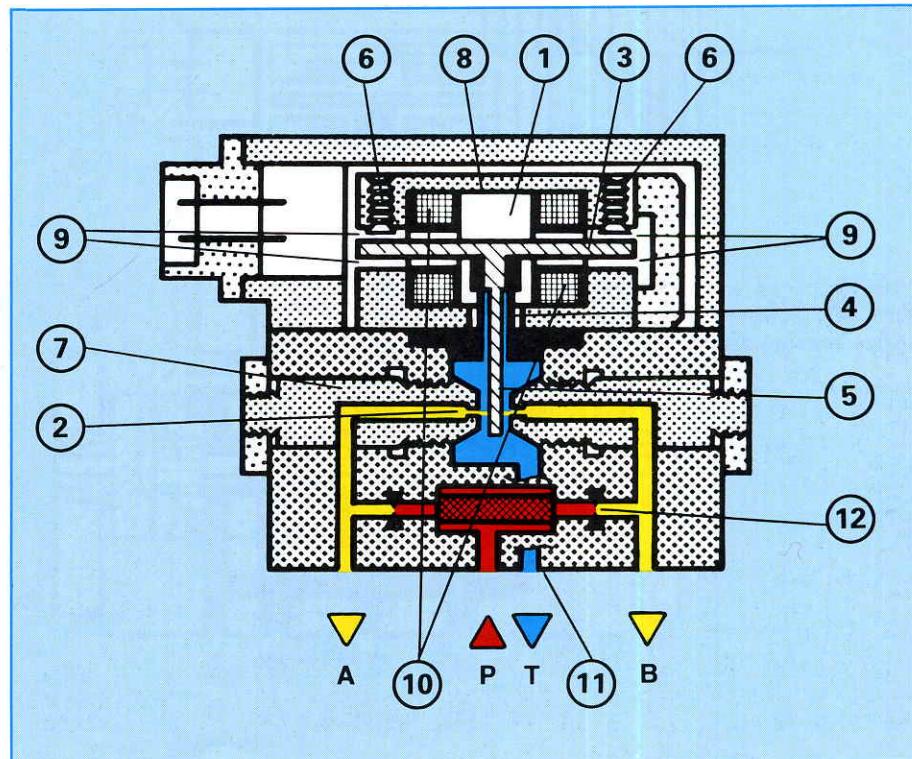


Рис. 9: Схема 1-й ступени

На диаграмме (рис. 10) изображается изменение давления в зависимости от перемещения.

Юстировка производится таким образом, что возникает линейная характеристика (разность давлений между присоединениями A_{St} и B_{St}).

Управляющее масло подводится от присоединения Р через предохранительный фильтр (11) к неподвижным соплам (12) и дальше к регулировочным соплам (7).

В каждом случае между неподвижными соплами и регулировочными соплами отводится давление A_{St} и B_{St} .

С помощью такой разности давлений, которая прямо пропорциональна электрическому входному сигналу, производится теперь переход дальше на управляемый поршень второй ступени.

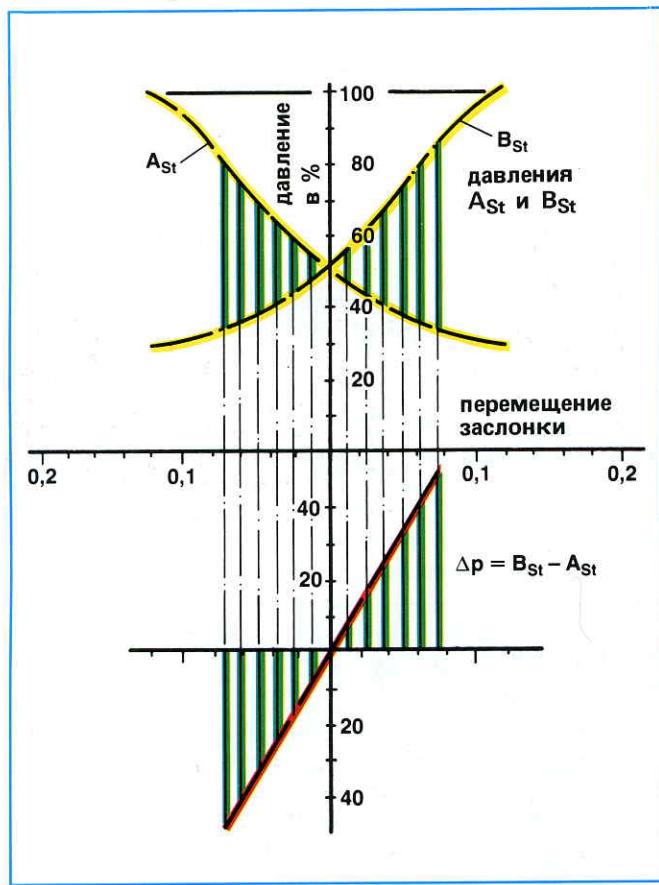


Рис. 10: Изменение давления в зависимости от перемещения заслонки

Двухступенчатые сервораспределители с механической обратной связью

Двухступенчатые сервораспределители состоят в основном из

- 1-й ступени
- механической обратной связи (3) в качестве соединительного элемента между 1-й и 2-й ступенями
- 2-й ступени со сменяемой золотниковой втулкой (4) и из соединенного с механической обратной связью (3) управляющего поршня (5).

2-я ступень

С помощью механической обратной связи (3) управляющий поршень (5) соединяется почти беззазорно с серводвигателем (1) 1-й ступени.

Принцип действия применяемого в данном случае вида обратной связи основан на зависимости равновесия моментов от серводвигателя (1) и возвратной пружины (3).

Это означает, что при неодинаковых моментах, вызванных в связи с изменением электрического входного сигнала, перемещается сначала заслонка (6) из среднего положения между регулировочными соплами. При этом вырабатывается разность давлений, которая оказывает воздействие на обе торцевые стороны управляющего поршня. Управляющий поршень (5) изменяет под воздействием разности давлений свое положение. Такое изменение положения управляющего поршня (5) вызывает искривление возвратной пружины (3) до тех пор, пока заслонка не будет таким образом тянуться назад в среднее положение, что остановится основной поршень и моменты будут находиться в равновесии.

Ход поршня, пропорциональный входному сигналу, а вследствие этого и расход, тогда настраиваются заново. С помощью 2 винтов с внутренним шестигранником (8), которые расположены слева и справа в крышках клапанов (9), можно смещать положение управляющих кромок золотниковой втулки (4) по отношению к управляющему поршню (5) для того, чтобы можно было юстировать гидравлическую нулевую точку.

Особенности клапанов

Клапан данного типа соответствует сопряженным размерам главной ступени (второй ступени) согласно DIN-стандарту 24 340.

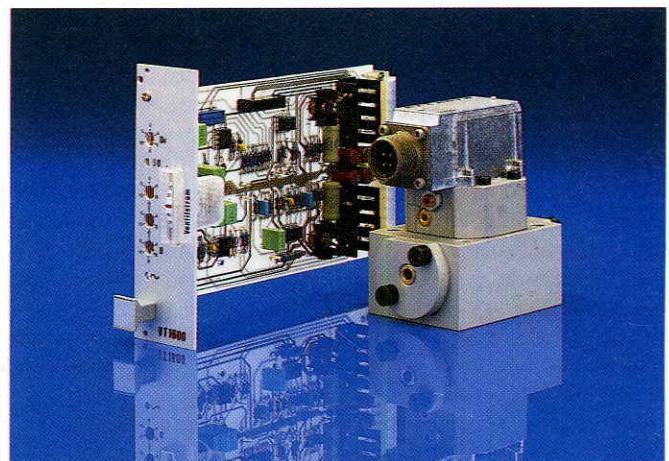


Рис. 11: Двухступенчатый сервораспределитель типа 4WS 2EM 10

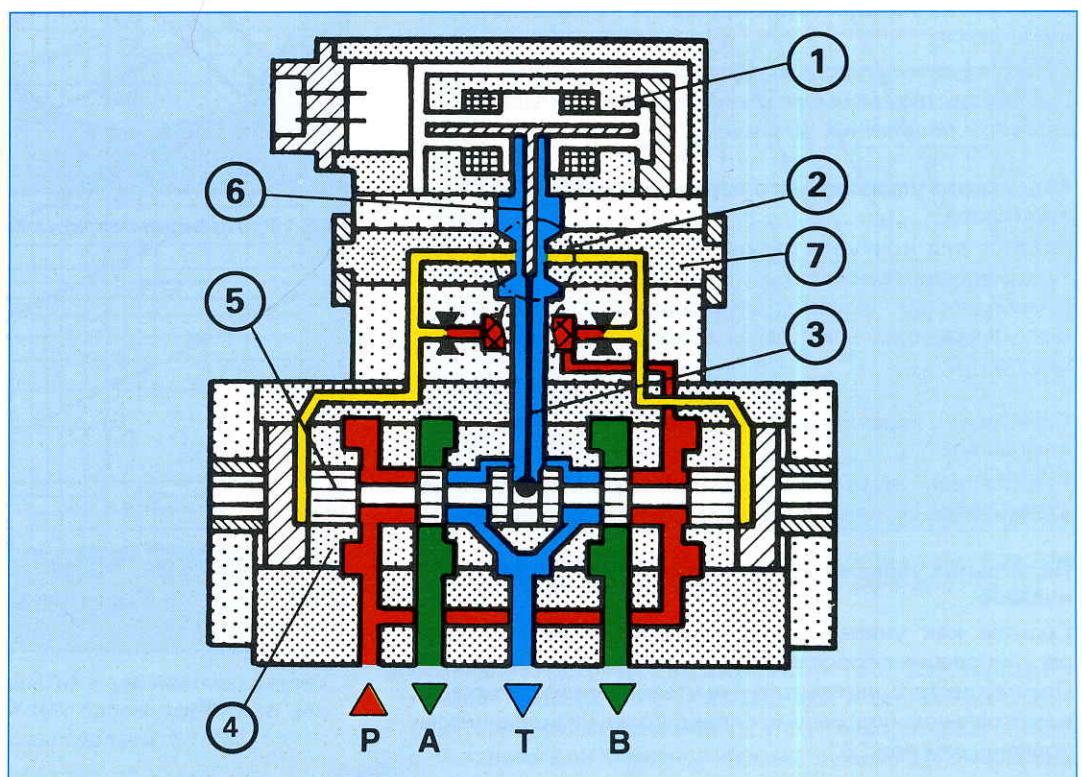


Рис. 12:
Двухступенчатый
сервораспределитель
с механической
обратной связью
типа 4WS 2EM 10

Расходные характеристики

В зависимости от применения сервоклапана, наряду с динамическими параметрами, важными являются всего два гидравлических параметра:
Усиление по скорости и перекрытие поршня (играет решающую роль для усиления давления).

Усиление по скорости (рис. 13)

Золотниковая втулка имеет четырехугольное управляющее отверстие, которое освобождается со стороны основного поршня в зависимости от входного сигнала. Ширина таких щелей определяет усиление по скорости (количество на ход поршня). Подается количество в литрах в минуту, которое протекает при падении давления в 70 бар (т.е. 35 бар от P – A и 35 бар от B – T) при токе на входе в 100%. При высоких усилениях по скорости изгибаются расходные характеристики в результате насыщения корпуса.

Перекрытие поршня (рис. 14)

Четыре управляющих кромки основного поршня пришлифовываются симметрично. При этом может производиться выбор между 4 размерами перекрытия или отрицательного перекрытия (% от хода поршня). В случае перекрытия (= положительного) протекает графическая характеристика в средней зоне плосче; утечка через сервоклапан в нейтральном положении незначительная, усиление давления высокое. В случае отрицательного перекрытия (= негативного) графическая характеристика вблизи среднего положения может быть круче (усиление по скорости до 200%). Утечка через сервоклапан в нейтральном положении выше, усиление давления незначительное.

Главные виды применения:

Перекрытие управляющего поршня А (+0,5 ... 1,5%), позитивное

Годится для контуров регулирования скорости.
Преимущество: меньшая утечка через сервоклапан в нейтральном положении, чем при "D".

Перекрытие управляющего поршня В (-0,5 ... 1,5%), негативное

Годится для контуров регулирования положения и контуров регулирования силы.
Преимущество: высокое демпфирование, однако большая утечка через сервоклапан в нейтральном положении, чем при "D".

Перекрытие управляющего поршня С (+3 ... 5%), позитивное

Годится для управлений и регулирований скорости без утечки через сервоклапан в нейтральном положении.

Перекрытие управляющего поршня D (+0 ... 0,5%), нулевое

Годится как универсальное перекрытие для контуров регулирования скорости, положения и силы.
Преимущество: незначительная утечка через сервоклапан в нейтральном положении, однако более низкое демпфирование, чем при "B".

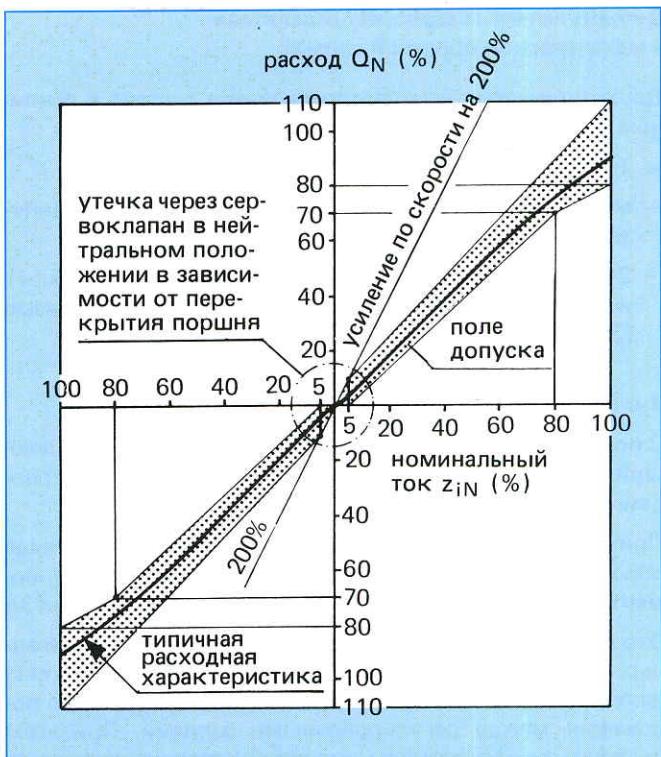


Рис. 13: Поле допуска расходной характеристики сервоклапана

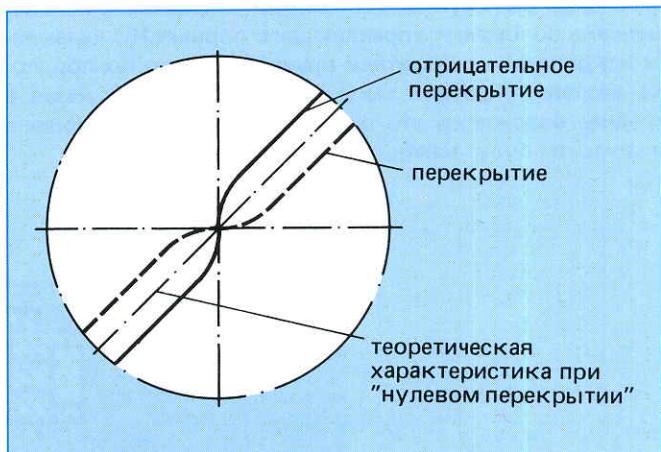


Рис. 14: Принцип перекрытия поршня

Динамические свойства сервопределителя

О динамических свойствах прибора можно получить представление на основании частотной характеристики. Техники по регулированию установили в качестве масштаба оценки частоту, в которой амплитудная характеристика состаляет -3 дБ . -3 дБ означает, что затухание амплитуды выходной величины составляет 30% от входной величины.

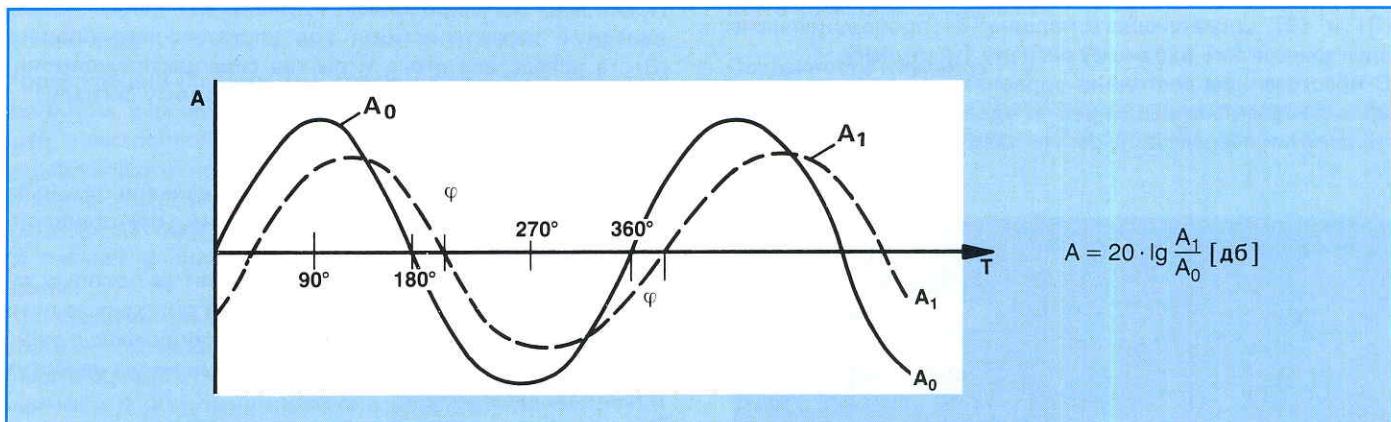


Рис. 15: Затухание амплитуды и смещение фазы

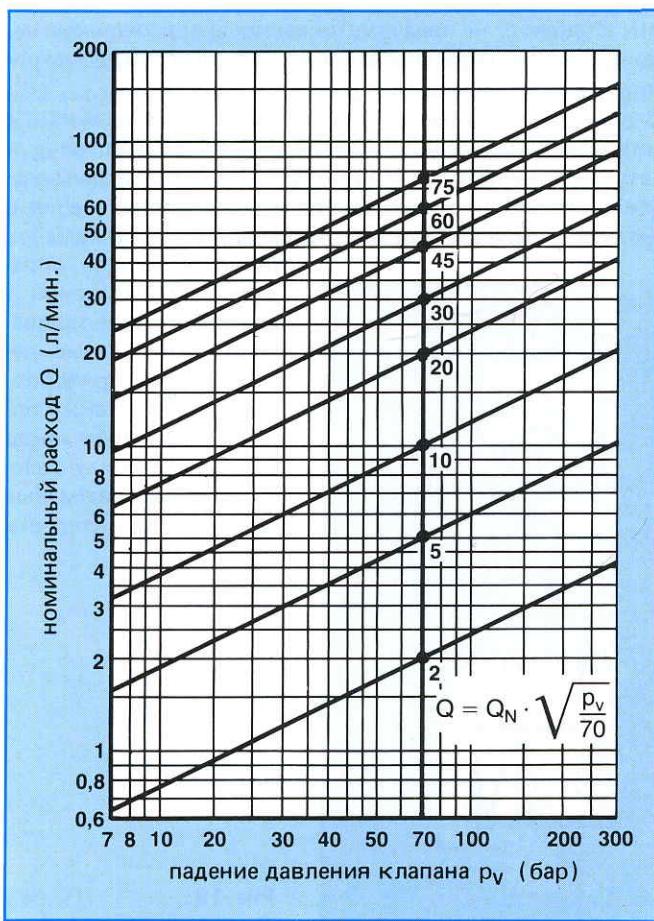


Рис. 16: Расходная характеристика при наличии нагрузки сервораспределителей ДУ 10 с барометрической или электрической обратной связью (допуск $\pm 10\%$)

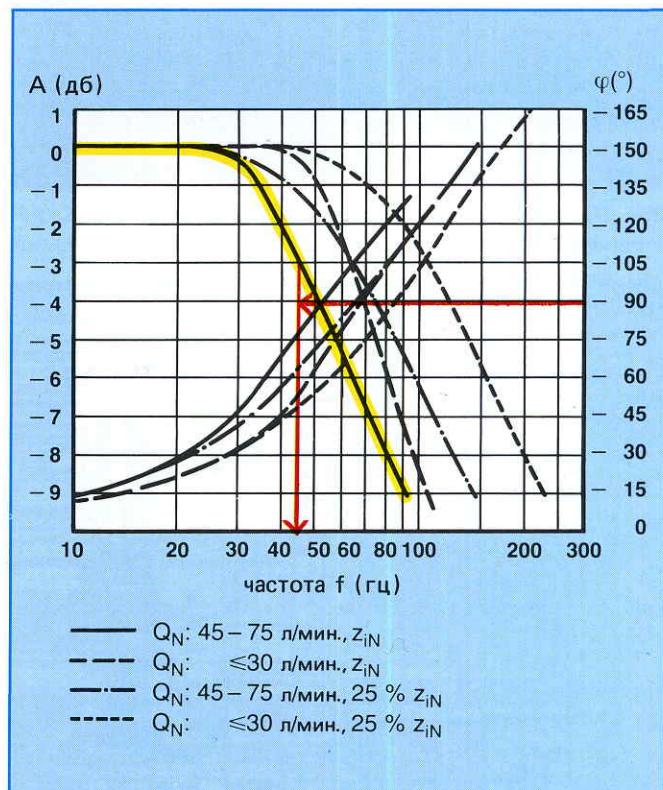


Рис. 17: Типичное изображение частотной характеристики для сервораспределителей с механической обратной связью

Сравнение частотных характеристик (рис. 23) сервораспределителей ДУ 10 с механической и барометрической обратной связью показывает, что у сервопределителя с механической обратной связью лучшие динамические свойства.

Двухступенчатые сервораспределители с "барометрической обратной связью"

Такие двухступенчатые сервораспределители состоят в основном из:

- 1-й ступени
- 2-й ступени со сменяемой золотниковой втулкой (7), управляющего поршня (3) и регулировочных пружин (4).

2-я ступень

Разность давлений между обеими камерами управления (8) и (9) управляющего поршня (3) пропорциональна электрическому входному сигналу 1-й ступени.

В обесточенном состоянии управляющий поршень (3) с уравновешенным давлением и удерживается в среднем положении посредством регулировочных пружин.

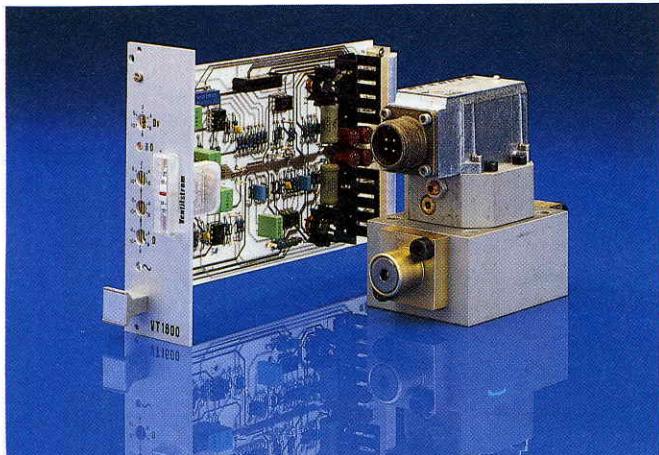


Рис. 18: Двухступенчатый сервораспределитель типа 4WS2EB 10

Посредством электрического входного сигнала перемещается заслонка, благодаря этому возникает разность давлений между обеими камерами управления (8) и (9). Управляющий поршень смещается, а именно до тех пор, пока не будет обеспечиваться равновесие сил в результате разности давлений между обеими камерами управления (8) и (9) управляющего поршня (3) с одной стороны и пружиной и гидродинамической силой с противоположной стороны.

Поскольку регулировочные пружины (4) также имеют линейную характеристику, ход управляющего поршня (3), а вследствие этого и расход сервораспределителя, пропорциональны электрическому входному сигналу.

Особенности клапанов

Клапан данного типа соответствует присоединительным размерам главной ступени (2-й ступени) DIN-стандарту 24 340.

Фильтроэлемент в первой ступени может без особых затруднений извлекаться для проведения техобхода за ним. Благодаря тому, что камера фильтра расположена в свою очередь в камере, в систему циркуляции масла не могут проникать загрязнения.

При особых случаях применения клапанов выгодным будет предусматривать внешнее управление с серводействием. Поскольку присоединительные плиты согласно DIN-стандарту не предусматриваются с присоединением, можно между первой и второй ступенями предусматривать монтаж присоединительной плиты.

С двух сторон обеспечивается удобная доступность к устройству для точной установки нулевой отметки.

Затухание амплитуды и сдвиг фаз зависит у сервоклапанов с барометрической обратной связью от давления в системе и расхода. Для того чтобы достичь оптимальных результатов, для определенных диапазонов давления устанавливаются оптимальные режимы для приборов.

Это касается также определенных диапазонов расхода. Поэтому отсюда вытекают различные частотные характеристики.

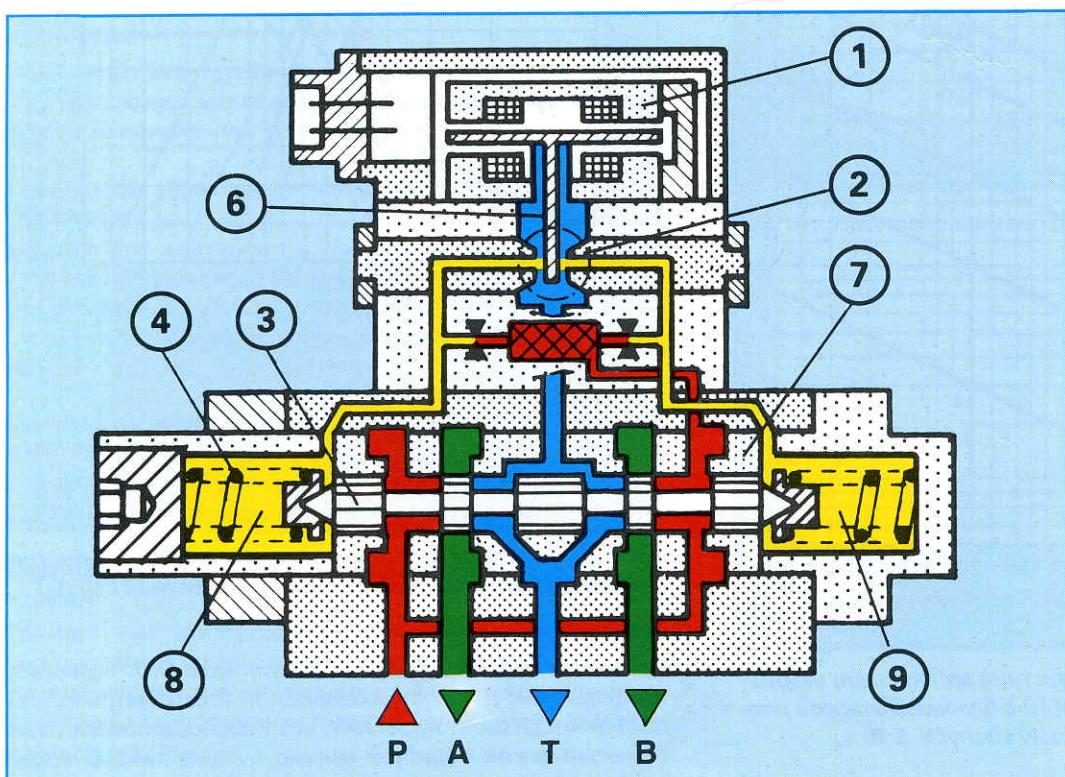


Рис. 19:
Двухступенчатый
распределитель с
барометрической
обратной связью
типа 4WS2EB 10

Двухступенчатые сервораспределители с электрической обратной связью

Клапаны типа 4WS2EE 10-30/..B.. представляют собой двухступенчатые гидрораспределители.

Они состоят в основном из:

- 1-й ступени
- 2-й ступени со сменяемой золотниковой втулкой (3)
- индуктивного датчика перемещения (4), сердечник (5) которого закрепляется на управляемом поршне (6).

2-я ступень

Управляющий поршень (6) соединяется с индуктивным датчиком перемещения (4) посредством соответствующей электронной системы. Как изменение положения управляющего поршня (6), так и изменение заданного значения, вырабатывают посредством сердечника (5) в катушке датчика перемещения (4), к которой подводится питание в виде переменного тока, разностное напряжение.

При сравнении заданной и действительной величин производится с помощью соответствующих электронных устройств оценка отклонения и подводится результат такой оценки к 1-й ступени клапана в виде отклонения от номинального значения. Такой сигнал перемещает заслонку (7) между обоими регулировочными соплами (8).

При этом вырабатывается разность давлений между обеими камерами управления (9) и (10).

Управляющий поршень (6) вместе с закрепленным на нем сердечником (5) индуктивного датчика перемещения (4) смещается до тех пор, пока заданное значение не будет совпадать с действительным значением; заслонка перемещается обратно на среднюю позицию.

В отрегулированном состоянии камеры управления (9) и (10) с выравненным давлением, и управляющий пор-

шень удерживается на данной позиции регулирования. Для регулирования расхода образуется, это обуславливается положением управляющего поршня (6) по отношению к золотниковой втулке (3), соответствующее управляющее отверстие, которое тоже пропорционально заданному значению, как и ход поршня, а также количество протекающей жидкости.

Для частотной характеристики клапана устанавливается оптимальный режим посредством электрического усиления в электронной системе.

Особенности клапанов

Клапан данного типа соответствует присоединительным размерам главной ступени (2-й ступени) согласно DIN - стандарту 24 340.

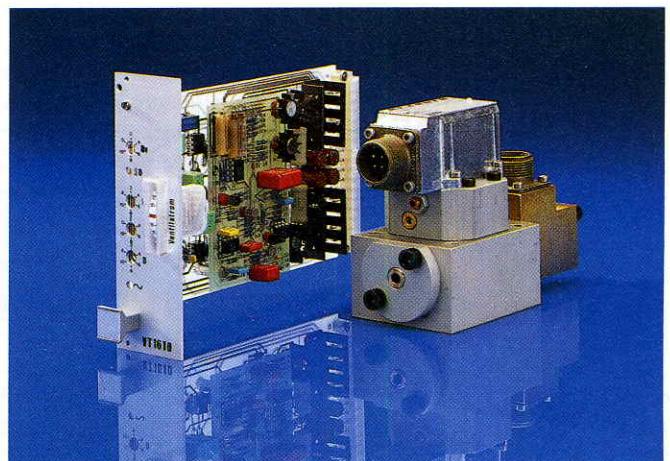


Рис. 20: Двухступенчатый сервораспределитель типа 4WS2EE 10

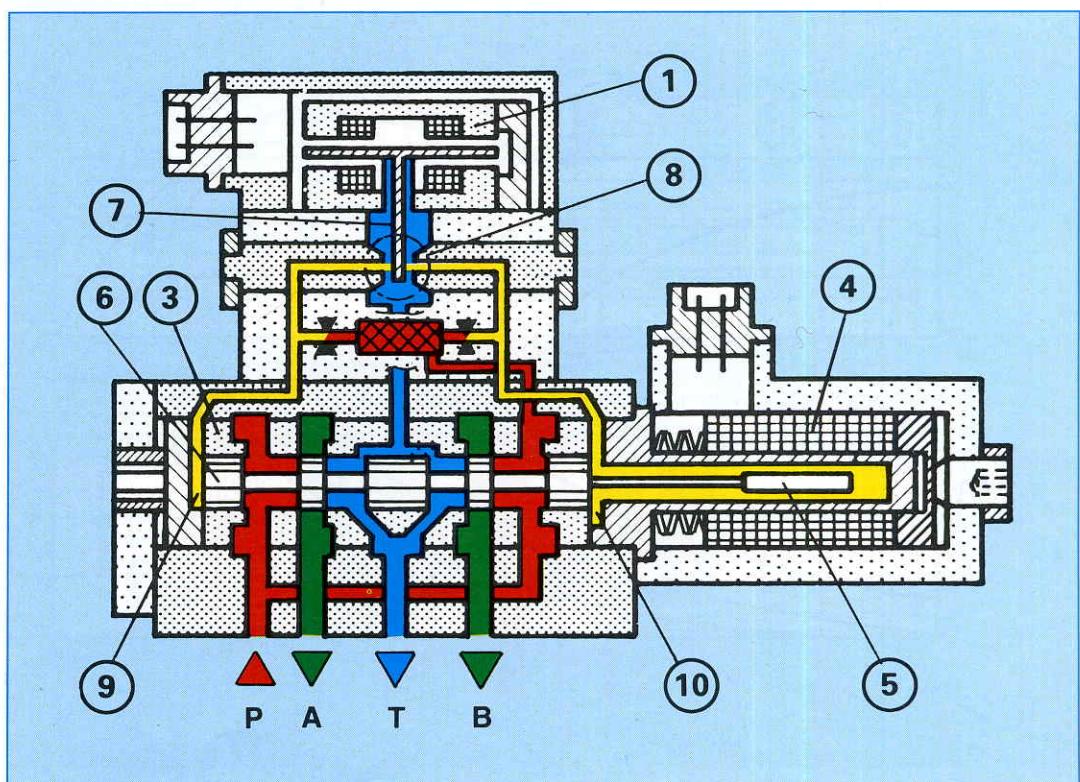


Рис. 21:
Двухступенчатый
сервораспределитель
с электрической
обратной связью
типа 4WS2EE 10

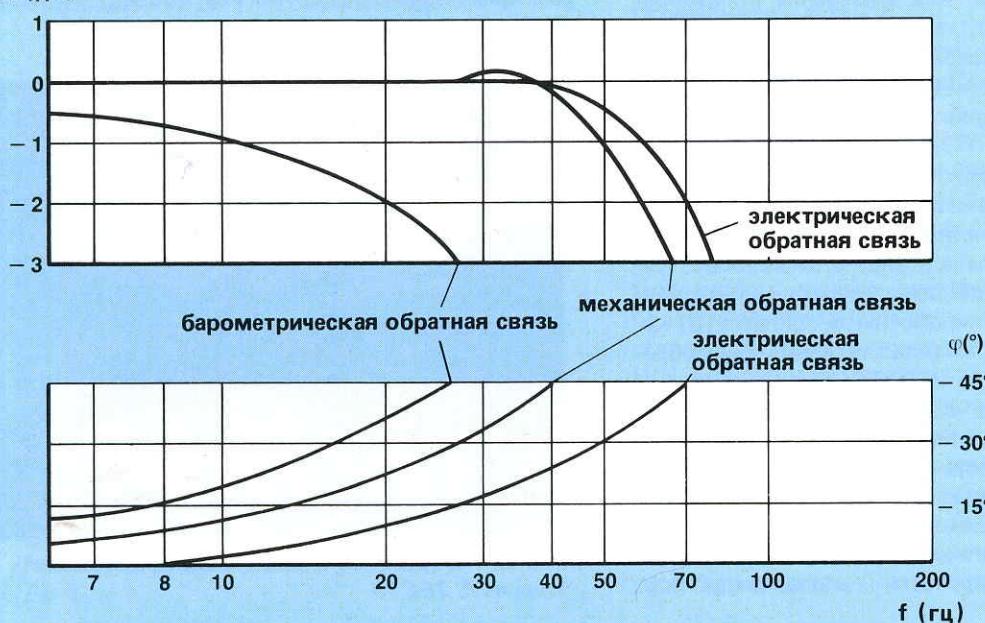
Сравнение гидравлических и динамических данных демонстрирует различия трех систем обратной связи.

Рис. 22 (справа):
Сравнение гидравлических параметров

Рис. 23 (внизу):
Сравнение изображений частотной характеристики для
сервораспределителей с механической, барометрической
и электрической обратной связью ДУ 10

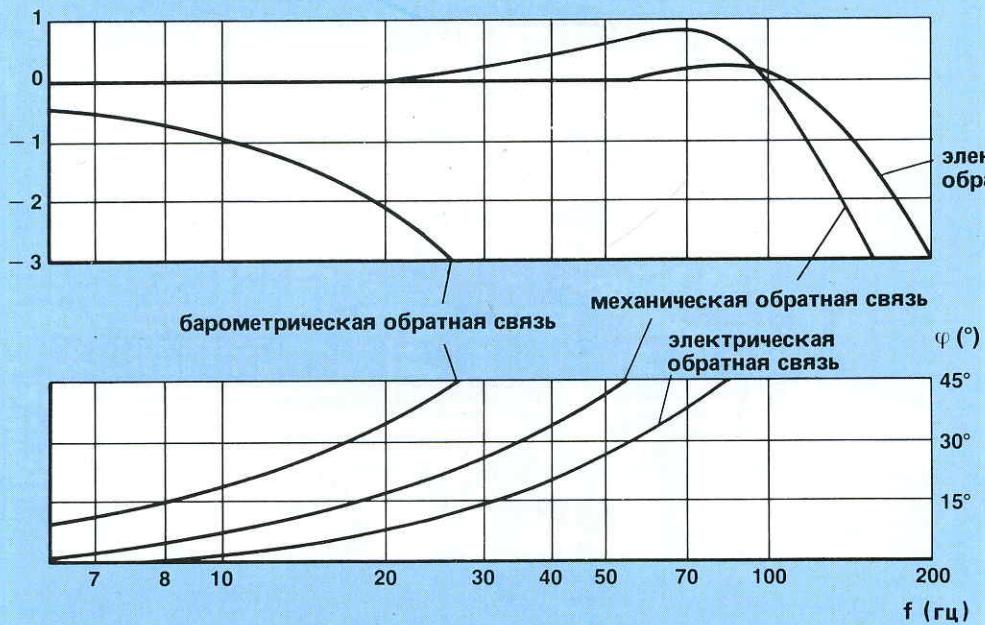
Система обратной связи	механическая стандартно	электрическая	барометрическая
Гистерезис с оптимизацией пульсации (%)	$\leq 2,0$	$\leq 0,5$	$\leq 3,0$
Чувствительность срабатывания (%)	$\leq 0,5$	$\leq 0,2$	$\leq 1,0$
Зона разбросов (%)	$\leq 1,0$	$\leq 0,2$	$\leq 2,0$
Отклонение расхода от симметрии (%)	≤ 5	≤ 5	≤ 5

A (дБ)



$Q_N \leq 30$ л/мин.
 $p_N = 140$ бар, z_{iN}

A (дБ)



$Q_N < 30$ л/мин.
 $p_N = 140$ бар, 25% z_{iN}

Трехступенчатые сервоклапаны с электрической обратной связью

Клапаны типа 4WS3EE.../.. представляют собой трехступенчатые сервораспределители.

Они состоят в основном из:

- 1-й ступени
- 2-й ступени (3) как ступень усиления по скорости для управления 3-й ступенью (4)
- 3-й ступени (4) для управления расходом основного потока масла
- индуктивного датчика перемещения (5), сердечник (6) которого закрепляется на управляемом поршне (7) 3-й ступени.

3-я ступень

Управляющий поршень (7) соединяется с индуктивным датчиком перемещения (5) посредством соответствующей электронной системы.

Как изменение положения управляющего поршня (7), так и изменение заданного значения, вырабатывают посредством сердечника (6) в катушках датчика перемещения (5), к которым подводится в виде питания переменный ток, разностное напряжение.

При сравнении заданной и действительной величин производится с помощью соответствующих электронных устройств оценка отклонения и подводится результат такой оценки к 1-й ступени клапана в виде отклонения от номинального значения. Такой сигнал перемещает заслонку (8) между обоими регулировочными соплами (9). При этом вырабатывается разность давлений между обеими камерами управления (10) и (14). Управляющий поршень (11) смещается и пропускает соответствующее количество масла в камеру управления (15) или (16). Управляющий поршень (7) с закрепленным на нем сердечником (6) индуктивного датчика перемещения (5) смещается до тех пор, пока не будет совпадать заданное значение с действительным значением.

В отрегулированном состоянии камеры управления (15) и (16) с выравненным давлением, и управляющий поршень удерживается на данной позиции.

Для регулирования расхода образуется (это обуславливается положением управляющего поршня (7) по отношению к золотниковой втулке (13) соответствующее управляющее отверстие, которое тоже пропорционально заданному значению, как и ход поршня, а также количество протекающей жидкости.

Частотная характеристика клапанов устанавливается на оптимальный режим посредством электрического усиления в электронной системе.

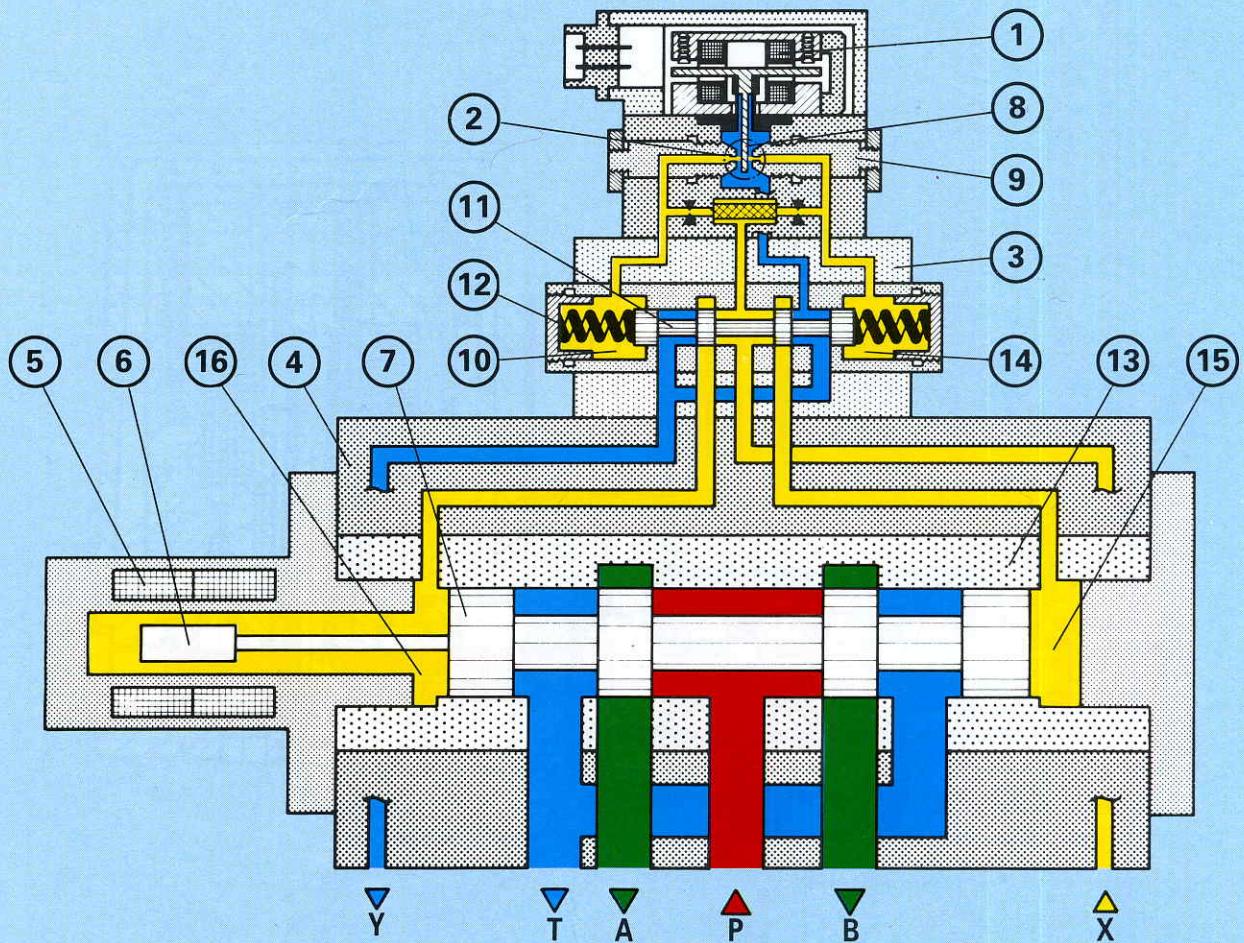


Рис. 24: Трехступенчатый сервораспределитель с электрической обратной связью типа 4WS3EE

РЕГУЛИРУЮЩИЙ КЛАПАН ДУ6

Управляющий поршень регулирующего клапана по сравнению с сервоклапанами непрямого действия не с помощью гидравлического пилотного клапана (типа "сопло-заслонка"), а механическим способом посредством поворотного серводвигателя.

Регулирующий клапан состоит в основном из поворотного серводвигателя (1) и ступени с продольным золотником (3) в виде 4-линейного исполнения.

Серводвигатель (1) представляет собой электромеханический преобразователь, который преобразовывает электрический сигнал в линейное движение конца болта (4). Он отделяется от гидросистемы посредством герметического уплотнения. Якорь (5), трубка (6), работающая на изгиб, и болт (4) соединяются друг с другом беззазорно. Выступающий из двигателя конец болта (4) соединяется с управляющим поршнем (2) посредством соединительной штанги (7). Жесткость пружины трубки (6), работающей на изгиб, противодействует при перемещении болта (4) усилию серводвигателя. Благодаря этому достигается центрирующий эффект.

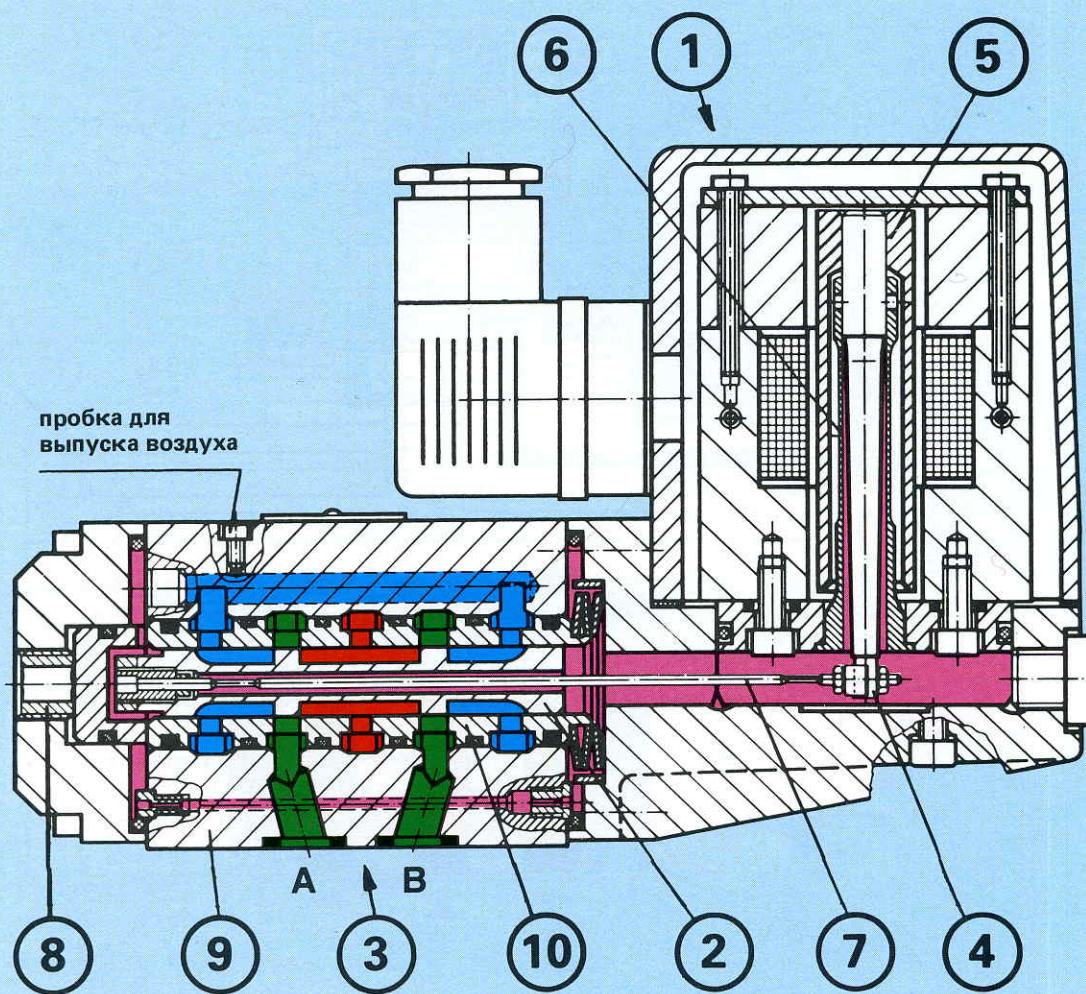
Перемещение управляющего поршня (2), а вследствие этого и пропускная способность клапана, пропорциональны величине электрического входного сигнала.

Гидравлическая нулевая точка юстируется посредством винта (8), которая перестанавливает смещаемую в корпусе (9) аксиально золотниковую втулку (10) по отношению к управляющему поршню (2).

К особым свойствам такого "одноступенчатого" регулирующего клапана относится:

- магнитоэлектрический (= быстрый) двигатель, который посредством трубы, работающей на изгиб, одновременно уплотняется и центрируется.
- золотниковая втулка и поршень выполнены со всеми качествами "сервомеханизма", а это значит, что расходная характеристика линейная, геометрические параметры управляющих кромок точные.
- гидравлическое и электрическое демпфирование.

Рис. 25: Одноступенчатый регулирующий клапан с приводом в действие с помощью магнитоэлектрического серводвигателя типа 4WS 1EO6



Ход основного поршня составляет $\pm 0,4$ мм; в соответствии с приложенным перепадом давлений получается диаграмма с расходной характеристикой при наличии нагрузки на рис. 28. Поскольку двигатель со своим перестановочным усилием может противодействовать гидродинамическим силам только до определенных пределов, при определенной "Др" основной поршень тянется постепенно обратно на среднюю позицию, несмотря на полный входной сигнал. Вследствие этого уменьшается поперечное сечение отверстия и уменьшается количество протекающей жидкости!

На динамические свойства такой эффект, однако, имеет положительное влияние: Совершается быстрее малый ход, затухание амплитуды, как следствие динамических пределов клапана, осуществляется в зависимости от разностей давлений Δp позже, чем в состоянии без расхода.

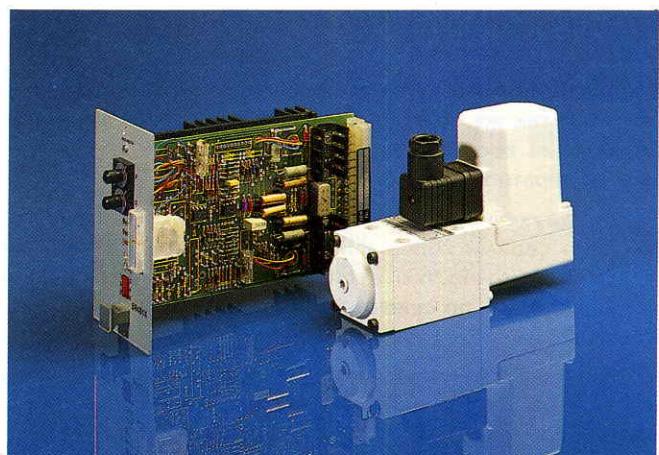


Рис. 26: Одноступенчатый регул. клапан типа 4WS 1EO6

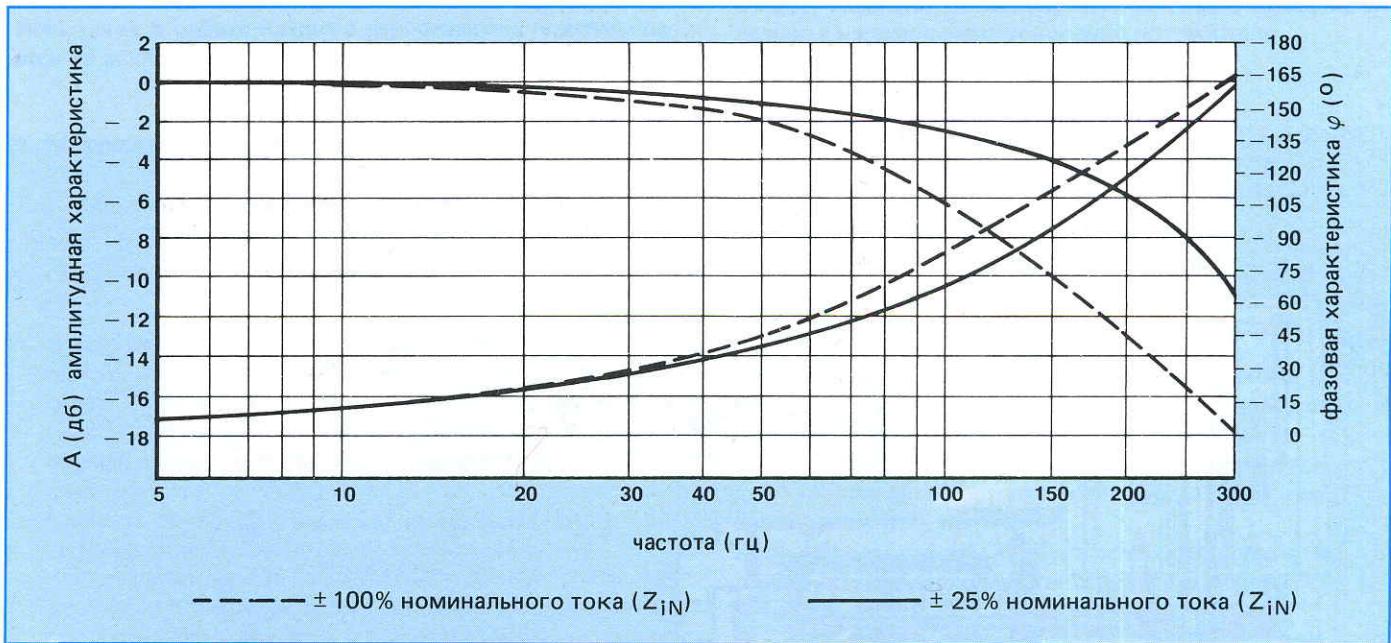


Рис. 27: типичное изображение фазовой характеристики при $p = 315$ бар и $Q_N = 15$ л/мин.

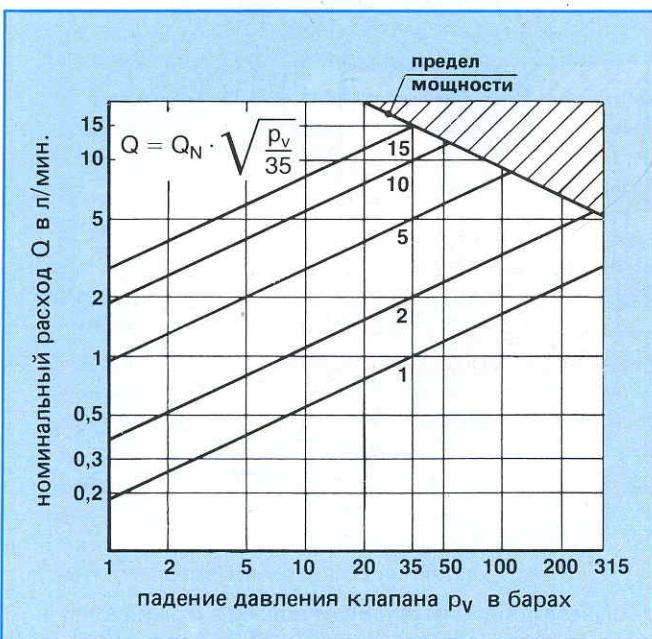


Рис. 28: Расходная характеристика при наличии нагрузки при Z_iN (выше предела мощности зависимость между Q и p_V будет негативной)

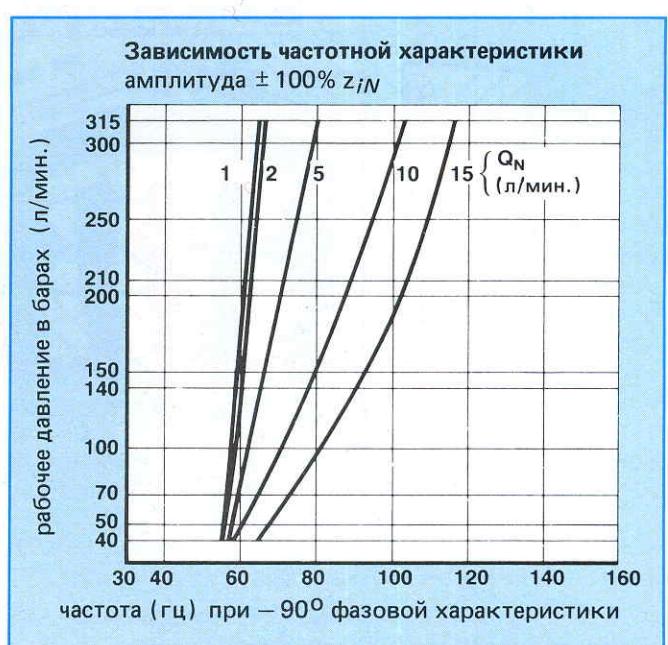


Рис. 29: Зависимость фазовой характеристики (амплитуда ± 100% Z_iN)

ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬ 4WRV

Вышеописанный регулирующий клапан может применяться точно так же, как двухступенчатый сервоклапан для управления пропорциональными клапанами, с электрической обратной связью.

Такой двухступенчатый пропорциональный клапан отличается своими хорошими динамическими свойствами и высокой точностью воспроизведения. Управляющий распределитель по сравнению с двухступенчатым сервоклапаном не расходует управляющее масло.

Клапан предусматривается для применения в замкнутом контуре регулирования для регулирования силы, скорости и положения.

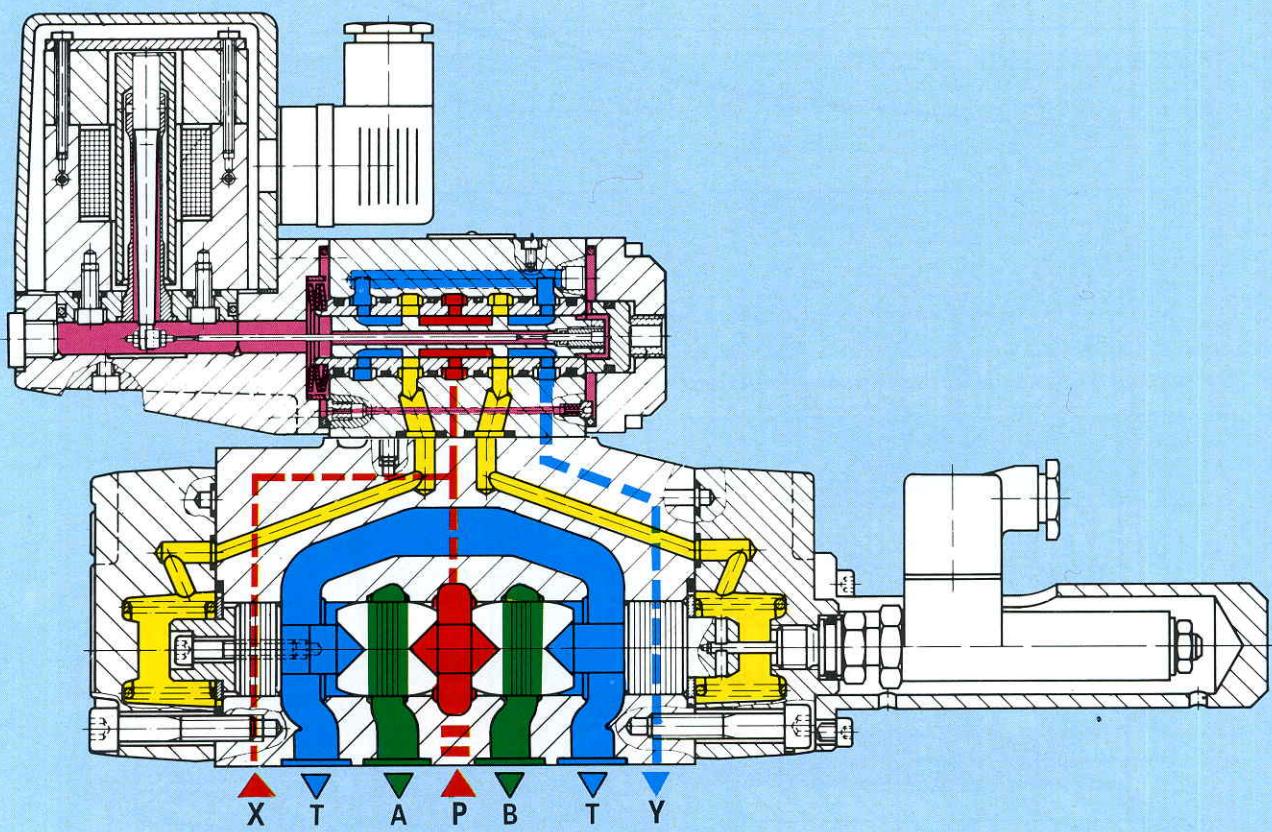


Рис. 30: Пропорциональный распределитель непрямого действия с электрической обратной связью типа 4WRV

Монтаж, ввод в эксплуатацию гидравлических сервоклапанов и техход за ними

1. Общий обзор

Для того, чтобы сервоклапаны бесперебойно работали, просим соблюдать дополнительно указания

- в технической информации (в каталожных листах)
- в инструкциях по очистке и юстировке в справочнике по техническому обслуживанию RD 09240
- кроме того, просим обратить Ваше внимание на правила Союза немецких инженеров (ФРГ) относительно ввода в эксплуатацию гидравлических установок и теххода за ними, VDI (3027).

Указание:

Испытание в работе каждого сервоклапана подтверждается на основании проверки.

2. Монтаж

2.1 Правила для проведения монтажа

Перед тем, как монтировать клапан на установке, следует сравнить обозначение типа клапана с данными для заказа.

1. Соблюдение чистоты

- при проведении монтажа приборов для окружающей среды и сервоклапана
- Бак должен предусматриваться с герметическим уплотнением для защиты от проникновения загрязнений снаружи.
- Очищать трубопроводы и бак перед встраиванием от загрязнений, окалины, песка, опилок и т.п.
- В горячем состоянии изогнутые и сваренные трубы следует после такой обработки подвергать травлению, прополаскивать и смазывать маслом. При промывке установки следует соблюдать подробные указания для этого, приведенные в поз. 3.6.
- При очистке следует применять только неволокнистую ткань или специальную бумагу.
- 2. Не допускается применение таких уплотняющих материалов, как пенька, шпаклевка или уплотнительная лента.
- 3. По мере возможности следует избегать применения шланговых трубопроводов.
- 4. Для трубопроводов следует применять бесшовные прецизионные стальные трубопроводы согласно DIN-стандарту 2391/C.
- 5. Соединительные трубопроводы между потребителем и клапаном должны быть по мере возможности короткими; рекомендуем устанавливать сервоклапан непосредственно на потребителе. Поверхность для закрепления должна соответствовать качеству поверхности, при котором $Rt_{\max} \leq 4 \text{ мк}$, и плоскости, составляющей $\leq 0,01 \text{ мм} / 100 \text{ мм}$ длины.
- 6. Крепежные винты должны затягиваться с указанным в технической информации крутящим моментом.
- 7. В качестве заправочного и вентиляционного фильтров

на агрегате рекомендуется применять воздушный фильтр в масляной ванне.

Размер отверстия сита $\leq 60 \text{ мк}$.

8. Защитная пластина, расположенная на сервоклапане, должна сниматься только непосредственно перед монтажом.

2.2 Положение монтажа

Любым образом, отдается предпочтение горизонтальному монтажу, однако учитываться должно возможное положение поршня по отношению к виду обратной связи. Если сервоклапан будет устанавливаться на потребителе, следует избегать, чтобы золотник был расположен параллельно с направлением ускорения потребителя.

2.3 Электроприсоединение

Указания для электроприсоединения подаются в соответствующей технической информации.

Сервоклапан может эксплуатироваться при параллельной схеме.

Учитывая правила техники безопасности, рекомендуется отдавать предпочтение схеме параллельного переключения.

Внимание:

На основании электрического усиления клапану не должен вводиться никакой электрический сигнал в замкнутом контуре регулирования перед тем, когда на 1-й ступени еще не будет иметься рабочее давление. Исключением является то обстоятельство, когда будет в наличии ограничение тока при 100%.

Особые виды защиты требует особых мероприятий, которые указываются в соответствующей технической документации.

3. Ввод в эксплуатацию

3.1 Рабочая жидкость

В качестве рабочей жидкости применяется преимущественно минеральное масло согласно DIN-стандартам 51524, 51525 или согласно VDMA 24318. При применении HL 36 или HLP 36 следует по мере возможности следить за тем, чтобы температура среды составляла 50°C . Рекомендуемые производителем напорной среды максимальные температуры по возможности не должны превышаться с учетом бережного отношения к напорной среде. Чтобы обеспечивать неизменную регулировочную характеристику установок, рекомендуется следить за тем, чтобы температура среды поддерживалась постоянной величины ($\pm 5^{\circ}\text{C}$).

При применении других напорных сред просим предварительно обращаться к нам за информацией.

3.2 Соответствует ли применяемый уплотнительный материал колец круглого сечения своему назначению?

Для трудновоспламеняемых напорных жидкостей HFD, а также для температур $> 90^{\circ}\text{C}$, тип должен предусматриваться с маркировкой "V".

3.3 Фильтрование

- Внутри управляемые сервоклапаны непрямого действия должны предохраняться непосредственно перед клапаном посредством напорного фильтра без байпасного клапана в 10 мк ном. = $\beta_{10} = 75$ (класс чистоты 5 согласно NAS-стандарту 1638) тонкости фильтрации на напорном присоединении "Р".
- При управляемых снаружи клапанах непрямого действия следует непременно встроить непосредственно перед сервоклапаном напорный фильтр без байпаса в 10 мк ном. (класс чистоты 5 согласно NAS-стандарту 1638) тонкости фильтра в подающей линии к присоединению "Х". В таком случае рекомендуем очищать весь гидравлический контур посредством еще одного фильтра в 10 мк ном.
- Допустимая разность давлений таких фильтров должна быть выше рабочего давления.
- Рекомендуем применять фильтры с устройством индикации загрязнения.
- Во время смены фильтра следует соблюдать абсолютную чистоту. Загрязнения со сливной стороны фильтра могут проникнуть в систему и вызвать повреждения. Загрязнения с впускной стороны понизят срок службы фильтроэлемента.

3.4 Давление управления должно поддерживаться постоянной величины (± 5 бар) с целью обеспечения желаемой, хорошей, характеристики регулирования.

3.5 Юстировка гидравлической нулевой точки:

Гидравлическая нулевая точка юстируется для каждого сервоклапана на испытательном стенде с помощью гидродвигателя. Для того, чтобы можно было реализовать оптимальную точность регулирования, сможет несмотря на это, все-таки еще раз понадобиться отрегулировать гидравлическую нулевую точку согласно инструкциям в технической информации в соответствии с сервораспределителями определенного потребителя.

3.6 Промывка установки:

Перед вводом в эксплуатацию сервоклапана следует промыть все подводящие и сливные линии. Лучше, чем промывочные плитки, которые соединяют Р с Т (тип можно установить на основании технической информации), является применение распределителей (символ изображения G или H), с помощью которых могут промываться рабочие трубопроводы и потребители.

При присоединении управляющего масла снаружи следует следить за тем, чтобы такое присоединение промывалось при этом.

Находящееся в системе количество масла должно пропускаться через фильтр, как минимум, 150 ... 300 раз.

Отсюда вытекает ориентировочная величина для времени промывки

$$t = V/Q \cdot 2.5 \dots 5$$

где t = время промывки, выраженное в часах

V = емкость резервуара в литрах

Q = объемная подача насоса в л/мин.

Во время процесса промывки следует непрерывно проверять все фильтры и, в случае необходимости, сменять фильтроэлементы. После открывания присоединительных линий (независимо от того, почему такая линия открывалась) следует еще раз в течение, примерно, 30 минут прополаскивать такие линии.

4. Техуход

4.1 При дозаправке свыше 10% емкости резервуара следует повторить промывку установки (см. к этому также § 3.6).

4.2 Отправление клапана на ремонт

Для отправления дефектного клапана на ремонт необходимо предохранить опорную поверхность клапана от загрязнений. Рекомендуется с особой тщательностью запаковать клапан для того, чтобы во время транспортировки не произошло еще других повреждений.

4.3 Инструкция по очистке и юстировке

Как показал опыт, отказы в работе сервоклапанов большей частью связаны с загрязнениями в зоне системы "сопло - заслонка". Очистка может производиться согласно инструкциям в справочнике по техуходу RD 09240.

5. Хранение на складе

Для складирования сервоклапанов следует выбирать сухое, не содержащее пыли помещение с низким содержанием влаги. Такие складские помещения не должны содержать едких веществ и пара. Надлежащим образом организованное складирование следует время от времени проверять. При хранении сервоклапанов на складе свыше 3-х месяцев рекомендуется заполнить такие клапаны посредством консервационного масла.

Для заметок

Для заметок

Глава Н

От управления к контуру регулирования

Арно Шмитт, Дитер Кретц

ОТ УПРАВЛЕНИЯ К КОНТУРУ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Как показали примеры вычислений, для выбора параметров управлений с пропорциональными клапанами возможная точность установки зависит от нескольких факторов, вытекающих на основании всей системы.

Перед тем, чем перейти к описанию контуров регулирования, следует "по дороге туда" рассмотреть еще 2 вида управлений:

- зависимое от времени торможение
- зависимое от перемещения торможение

1. Зависимое от времени торможение

Если при управлении с помощью пропорциональных клапанов для процесса торможения взять время линейной функции с насыщением, то ситуацию можно будет выразить следующим образом:

1.1

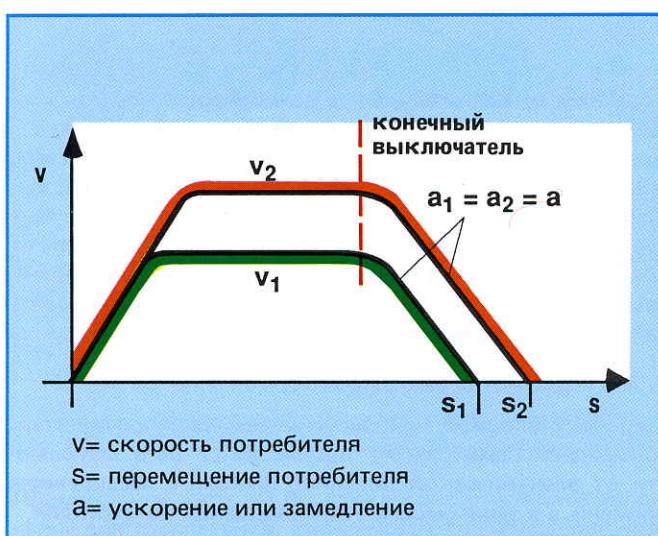


Рис. 1

Цилиндр перемещается со скоростью v_1 . При достижении конечного выключателя производится переключение со стороны предварительно — установленного значения скорости (перемещение золотника), например, на $v = 0$, т.е., на останов цилиндра. Сигнал заданного значения изменяется в соответствии с установкой времени линейной функции с насыщением. Отсюда вытекает тормозной путь.

Пример:

$$\begin{aligned} v_1 &= 0,8 \text{ м/сек. скорость перемещения} \\ t_{b1} &= 0,2 \text{ сек. время торможения} \\ \rightarrow a &= v/t \\ a &= 0,8 \text{ (м/сек.)} / 0,2 \text{ (сек.)} = 4 \text{ [м/сек.}^2\text{]} \text{ замедление} \end{aligned}$$

Тормозной путь

$$s_1 = v_1^2 / (2 \cdot a) = 0,8^2 / (2 \cdot 4) = 0,08 \text{ (м)} = 80 \text{ [мм]}$$

Если, например, в соответствии с рабочим процессом будет изменяться скорость, то тормозной путь, естественно, будет другим, при неизменной установке линейной функции с насыщением.

Пример:

$$\begin{aligned} v_2 &= 1,2 \text{ м/сек. скорость перемещения} \\ t_{b2} &= 0,3 \text{ сек. время торможения} \\ \rightarrow a &= v/t \\ a &= 1,2 \text{ (м/сек.)} / 0,3 \text{ (сек.)} = 4 \text{ [м/сек.}^2\text{]} \text{ замедление} \end{aligned}$$

Тормозной путь

$$s_2 = v_2^2 / (2 \cdot a) = 1,2^2 / (2 \cdot 4) = 0,18 \text{ (м)} = 180 \text{ [мм]}$$

Это означает, таким образом, что цилиндр будет останавливаться на различных пунктах. На практике это очень часто забывается (!), когда с различными скоростями производится перемещение к точке останова.

1.2

Возможностью для того, чтобы, исходя из различных скоростей, прийти к одной точке останова, является оттормаживание на относительно малую скорость. Только, начиная с этой скорости, поступает сигнал останова через конечный выключатель E_2 . На рис. 2 изображается форма кривой. Точность останова здесь довольно хорошая (см. к этому также изложения на стр. Е 16).

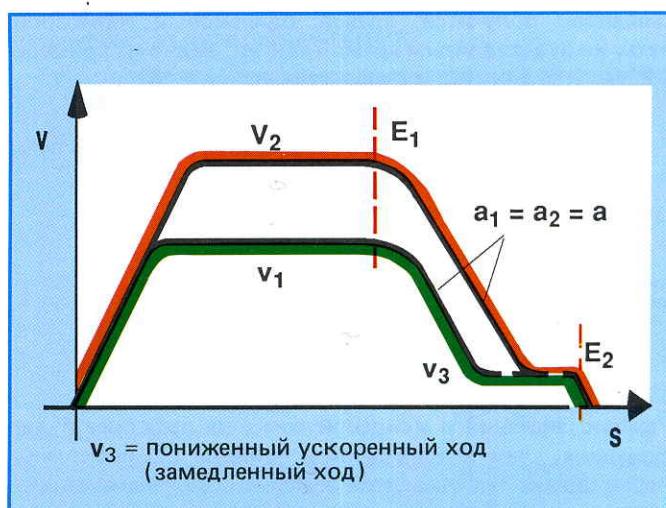


Рис. 2

Однако при скоростях $v < v_{\max}$ это осуществляется за счет времени.

1.3 Другой возможностью является назначить каждому заданному значению скорости линейную функцию с насыщением. Если, например, снова из различных скоростей захочется прийти к одной и той же точке останова, то теоретически это будет выглядеть таким образом:

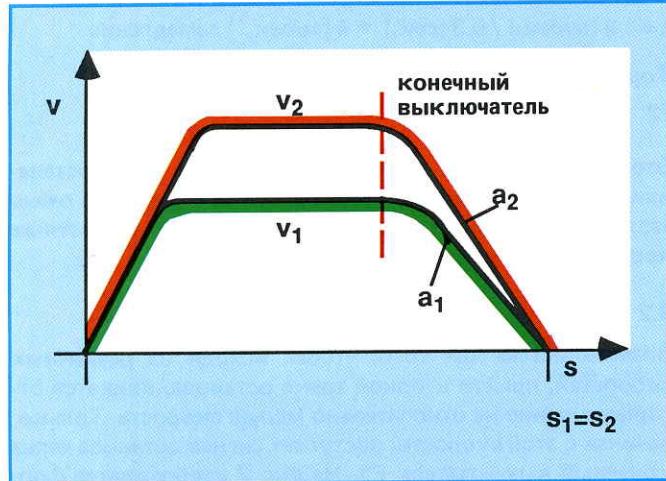


Рис. 3

При соответствующей установке линейной функции с насыщением получится, правда, одинаковый тормозной путь, но будет теряться время (как это видно на примере 1.2, см. к этому также изложения на стр. Е16).

Пример:

Возьмем для этого раньше вычисленный тормозной путь в 180 мм (при $v_2 = 1,2 \text{ м/сек.}$ и $a = 4 \text{ м/сек}^2$)

Отсюда вытекают при

$$V_1 = 0,8 \text{ м/сек.} \text{ и } S_b = 180 \text{ мм}$$

замедление

$$\rightarrow a_1 = v^2 \cdot 10^3 / 2 \cdot s = 0,8^2 \cdot 10^3 / 2 \cdot 180 = 1,8 \text{ [м/сек.}^2\text{]}$$

и требуемое время

$$\rightarrow t_b = v / a = 0,8 / 1,8 = 0,44 \text{ [сек.]}$$

Разброс значений в концевой точке на практике будет большим, чем в приведенном примере 1.2, поскольку перемещение производится всегда с различными скоростями.

Здесь следует также еще раз напомнить о макс. возможных ускорениях/замедлениях, упомянутых на страницах Е27/Е28.

Также при такой конструкции следует иметь ясное представление о проблематике точной установки линейной функции с насыщением, так что такое решение данного вопроса не следует непременно рекомендовать, если будет придаваться большое значение точной точке останова.

1.4 Для того, чтобы можно было реализовать систему с возможно более высоким, допустимым замедлением по сравнению с примером 1.3, следовало бы для другой скорости установить еще один конечный выключатель.

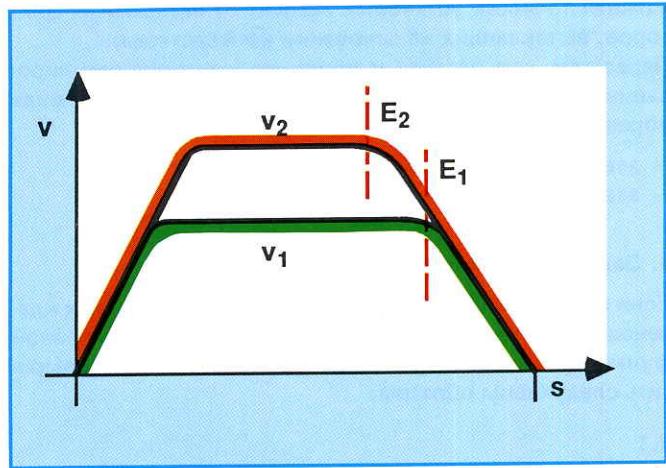


Рис. 4

Конечный выключатель E_1 в данном случае был размещен позже в соответствии с более низкой скоростью v_1 . При таком решении необходимо было бы, таким образом, для каждого значения скорости назначить конечный выключатель. Решение, на основании которого вытекает изображенная на рис. 4 характеристика и при котором не предусматривается для каждой скорости отдельный конечный выключатель, представляет собой зависимое от перемещения торможение.

2. Зависимое от перемещения торможение

Как уже становится ясно на основании данного понятия, торможение (замедление) производится не в зависимости от электрической линейной функции с насыщением времени, а в зависимости от перемещения потребителя.

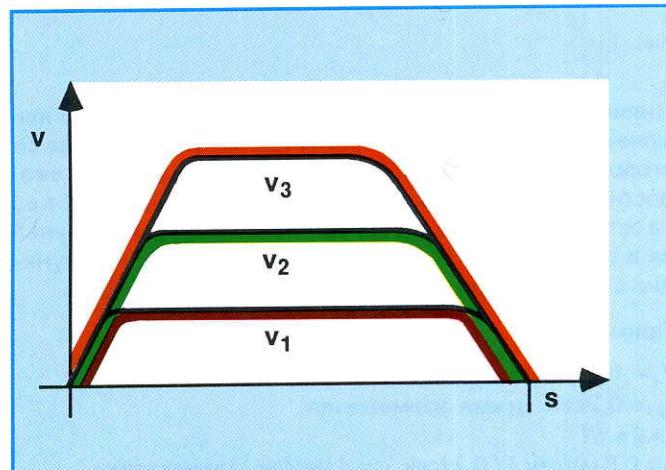


Рис. 5

На диаграмме рис. 5 изображается ясно, что в данном случае независимо от развивающейся скорости на потребителе достигается всегда одна и та же точка останова.

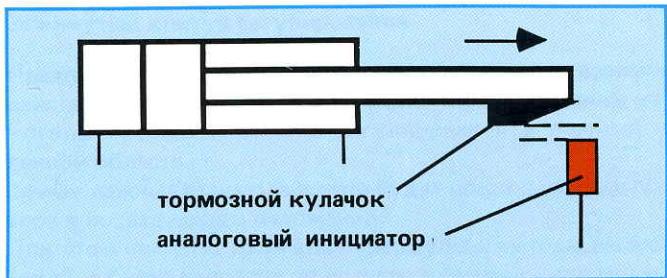
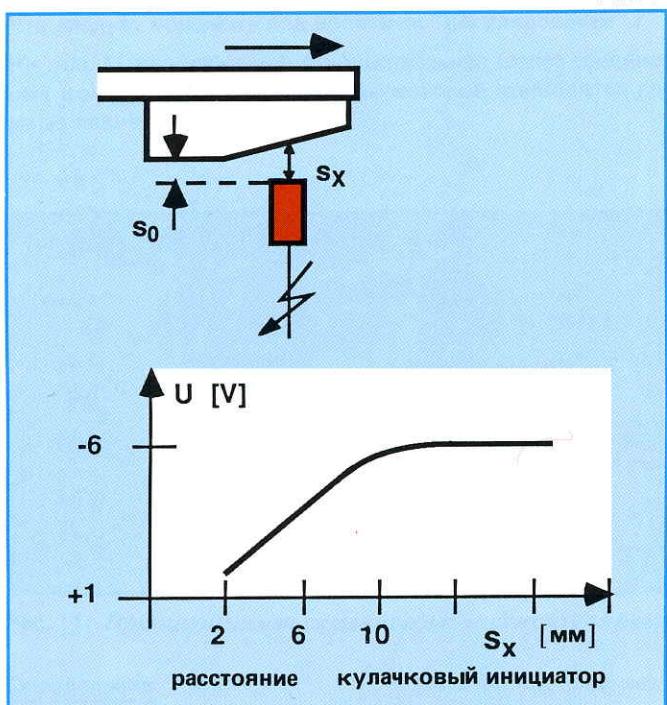


Рис. 6



Применяется часто на практике конструктивное исполнение для торможения, зависимого от перемещения, предусматривается с тормозным кулачком и аналоговым инициатором (рис. 6).

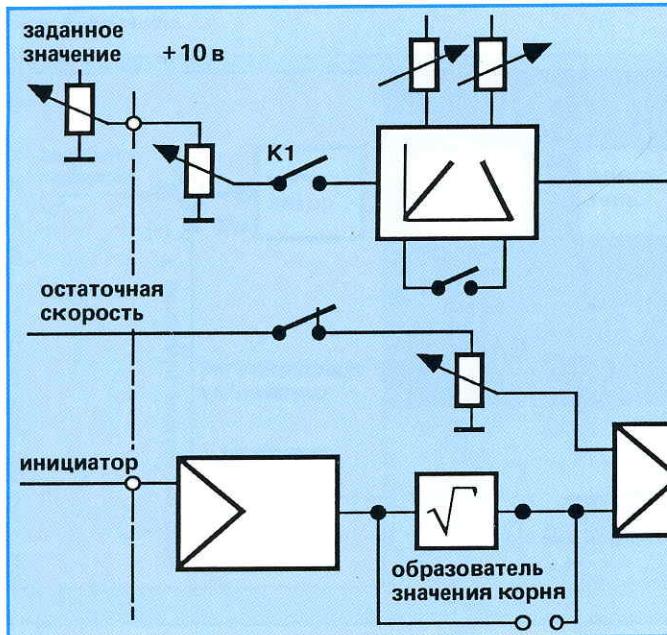


Рис. 9: Управление с помощью аналогового инициатора, ориентированное на использование на практике

Аналоговый инициатор представляет собой электронный бесконтактный переключатель. В зависимости от расстояния к железной детали, например, к кулачку, он отдает напряжение. С приближением кулачка к инициатору уменьшается аналоговым образом выходное напряжение до 0 в, чем меньше будет расстояние. Такой сигнал напряжения поступает к специально для этого предусмотренному усилителю и управляет таким образом регулируемыми электромагнитами пропорционального клапана.

На блок-схеме (рис. 9) изображается управление посредством аналогового инициатора. Для упрощения изображается только одно магнитное управление.

Вычислительный прибор минимальных значений дает возможность становиться эффективным только меньшему из двух входных сигналов (E_1 = заданное значение, E_2 = от инициатора) на выходе.

Часто применяется, как это изображается на блок-схеме, в сочетании с аналоговым инициатором образователь значения корня (рис. 8). Это оказывается выгодным на практике в связи с экономией времени, поскольку производится оптимальное перемещение на позицию, т. е., перемещение с макс. возможной скоростью. Сконструирован таким образом установка описывается на страницах L8 и L9.

Если аналоговый учет перемещения должен быть эффективным только в диапазоне тормозного пути (всегда одна и та же конечная точка), установки могут оснащаться независимо от пути передвижения.



Рис. 8

Другой возможностью для использования учета перемещения при торможении, зависимом от перемещения, является применение продольного потенциометра.

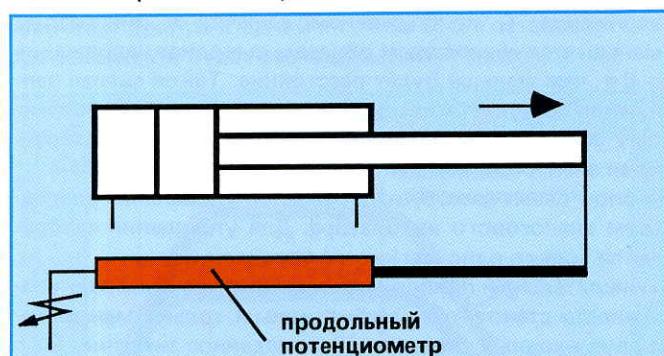


Рис. 10

При таком варианте также регистрируется перемещение аналоговым способом посредством сигнала напряжения и перерабатывается на электронной карте усилителя.

Поскольку в таком случае преобразовывается все перемещение как сигнал, предоставляется возможность посредством электрического — усилителя предварительно выбирать также любой ход.

До сих пор продемонстрированные примеры следуют отнести бесспорно к области управлений.

Это значит, что действительное значение, например, скорость цилиндра, не будет измеряться и не будет сравниваться с заданным значением.

При таких системах, естественно, на результат оказывают воздействие все величины помех.

Если потребуется компенсировать такие влияния помех, система должна предусматриваться как контур регулирования.

Замкнутый контур регулирования

Предпосылкой для получения представления о взаимодействиях в контуре регулирования является знание некоторых основ в технике регулирования и понятий в данной области.

Самые важные взаимодействия будут описаны в виде обзора в последующем изложении.

При этом не будут излагаться формулы и методы вычислений, а будут напротив описываться физические взаимодействия на языке, принятом в технике регулирования.

Что следует понимать под понятием "регулирование"?

На рис. 11 изображается принципиальная схема соединений контура регулирования, на которой приводятся самые главные понятия.

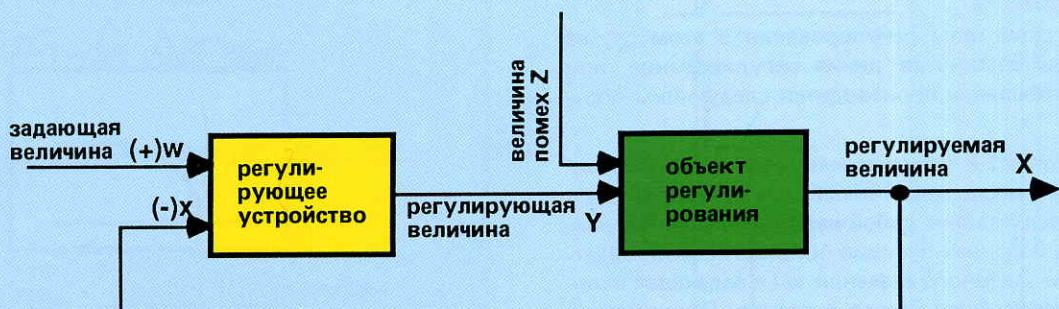


Рис. 11: Принципиальная схема соединений контура регулирования

Определение

При регулировании измеряется непрерывно регулируемая величина и сравнивается с заданным значением. Как только между обоими значениями возникнет разность, вызванная величиной помех, на регулируемой установке будет произведена соответствующая перестановка, которая должна согласовать регулирующую величину с заданным значением.

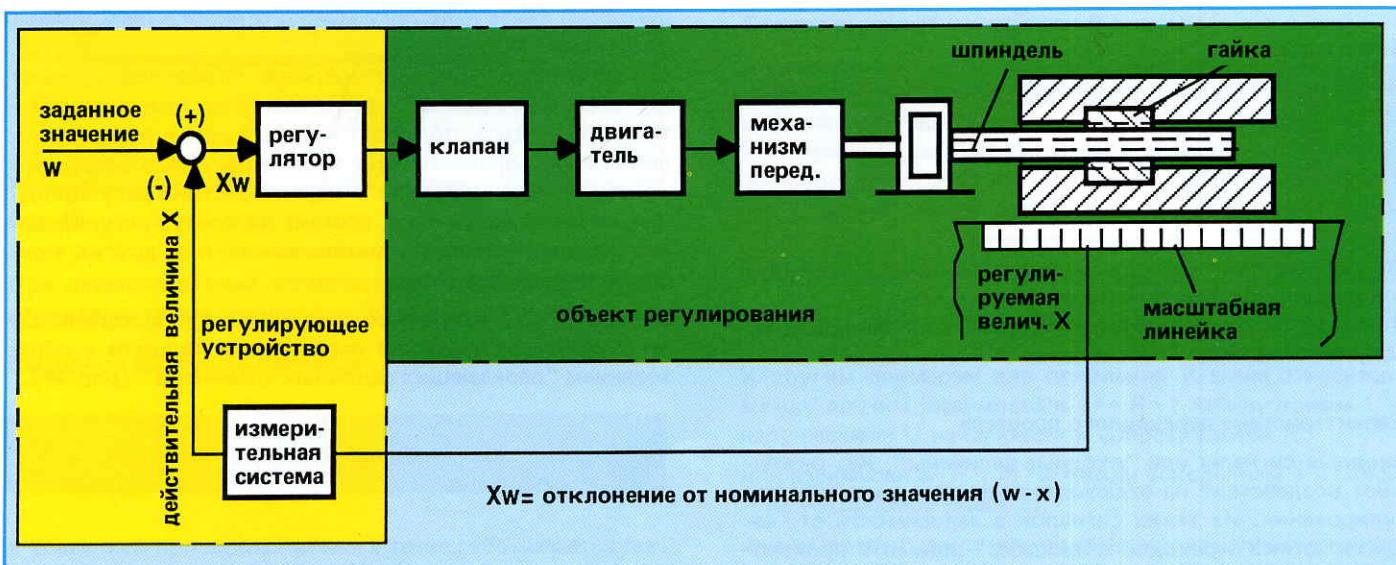


Рис. 12: Пример регулирования положения

Для контура регулирования положения предусматривается, как и для каждой системы по регулированию, регулирующее устройство и объект регулирования.

В приведенном примере (рис. 12) относится к регулирующему устройству:

— регулятор

Такой регулятор состоит из сравнивающего устройства, которое образует разность заданной и действительной величин, и из регулирующего усилителя.

— система измерения положения

Объект регулирования включает в себя

- гидропривод с гидродвигателем и клапаном
- механические передающие элементы как механизм передачи
- муфта
- ходовой винт

Характерным свойством регулирования в этом случае является также замкнутая линия регулирования, при которой регулирование производится следующим образом:

Позиция X салазок (= регулируемая величина) измеряется с помощью масштабной линейки и регулирующего усилителя и представляет собой действительную величину положения. Заданная позиция предварительно задается посредством заданного значения w (= задающая величина) образователем заданного значения. Посредством образования разности заданного и действительного значений ($w-x$) получается отклонение от номинального значения.

Отклонение от номинального значения проходит через регулятор. Выходной сигнал регулятора представляет собой регулирующую величину u . Такая регулирующая величина u является одновременно входной величиной объекта регулирования и управляет клапаном. Вращательное движение двигателя преобразовывается с помощью привода шпинделя в продольное движение салазок. Вследствие этого замыкается поток сигналов с образованием контура регулирования положения.

Блок-схема

Отдельные зоны контура регулирования, как, например, "объект регулирования" и "регулирующее устройство", обозначаются как "элементы контура регулирования". Изображение таких элементов контура регулирования осуществляется в общем в форме прямоугольных блоков.

Соединение отдельных блоков с образованием замкнутой линии управления составит "блок-схему".

Поток сигналов обозначается посредством линий и стрелок, показывающих направление.

Характеристика переходного процесса

Входные сигналы или "входные величины", X_e , оказывают воздействие на отдельные элементы в контуре регулирования. Из таких сигналов в зависимости от "характеристики переходного процесса" элемента производятся "выходные величины", X_a , и вслед за этим обрабатываются дальше.

"Характеристика переходного процесса" возпроизводит реакцию выходной величины во времени на любое изменение во времени входной величины.

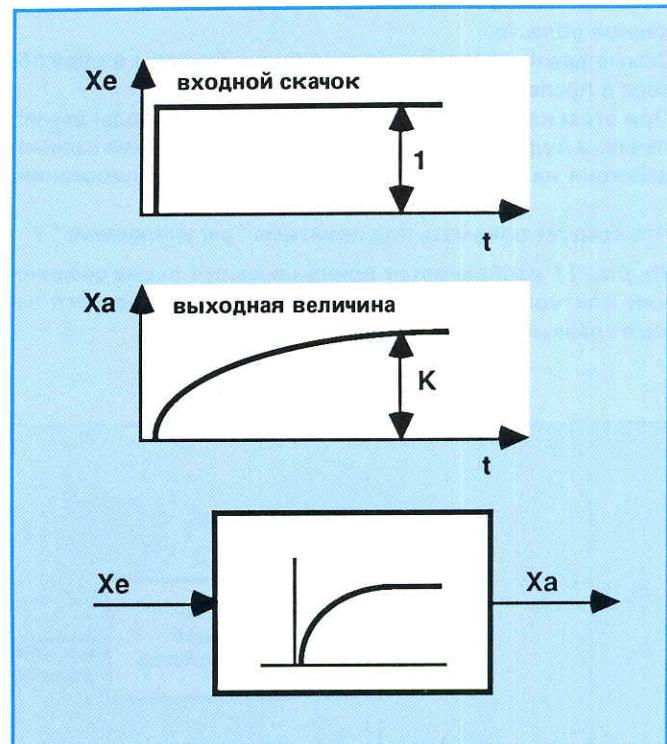


Рис. 13: Пример характеристики переходного процесса

Характерное изменение входной величины представляет собой скачкообразная функция, в качестве выходного сигнала получается при этом "реакция на скачок" или "переходная функция".

Такая переходная функция часто указывается для более точного или наглядного изображения характеристики переходного процесса одного элемента в символическую блок-схему.

Несмотря на возможное многообразие конструктивных элементов относительно приборной техники, их переходную характеристику можно отнести к нескольким основным типам.

Такое исчезновение многообразия приборной техники при переходе с реальной технической системы к математической модели, облегчает исследование динамических процессов и предоставляет возможность для совершенно общих высказываний о характеристике регулирования, независимо от того, состоит ли контур регулирования из электрических, механических или других конструктивных элементов.

Элементы контура регулирования могут подразделяться по своей характеристике переходного процесса с образованием "передающих основных элементов" (рис. 14).

- 1.) Пропорциональное звено
- 2.) Пропорциональное звено с замедлением 1-го порядка
- 3.) Пропорциональное звено с замедлением 2-го порядка
- 4.) Интегрирующее звено
- 5.) Дифференцирующее звено
- 6.) Звено с запаздыванием

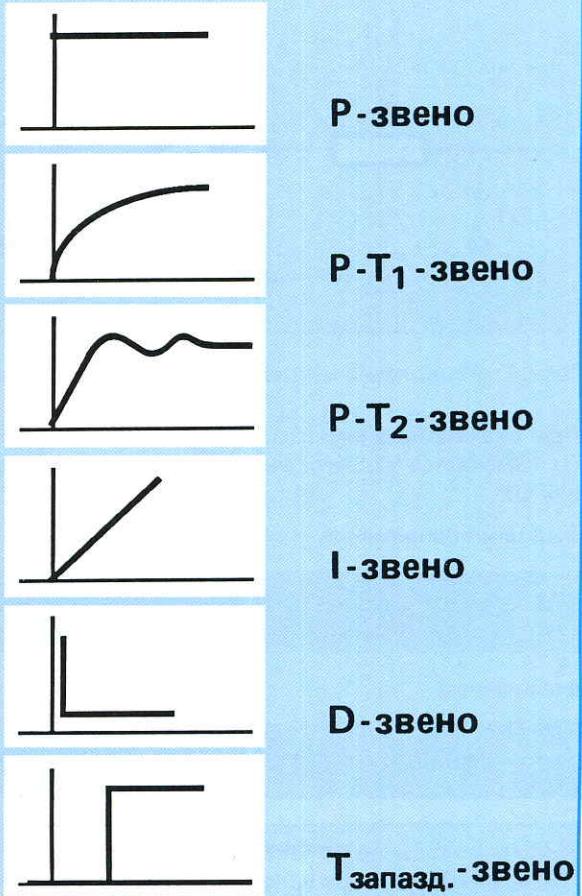


Рис. 14: Передающие основные элементы (звенья)

Примеры к элементарным передающим элементам (звеньям)

Пропорциональное звено (P-звено)

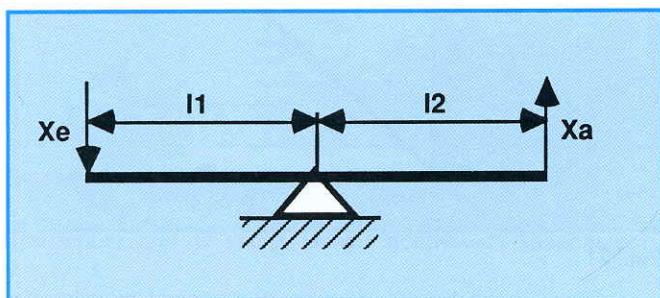


Рис. 15

При скачкообразном изменении входной величины X_e изменяется также скачкообразно выходная величина X_a .

Выходной величиной является

$$X_a = X_e \cdot I_2/I_1 = K \cdot X_e$$

с усилением пропорционального звена (обозначается также как переходная константа).

$$K = I_2/I_1$$

Отсюда вытекает символ для P-звена

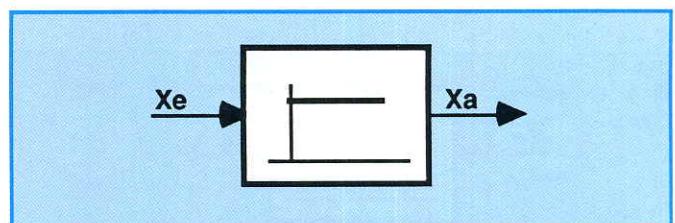


Рис. 16: Символ для P-звена

К другим примерам для появления P-звена относится, между прочим, взаимосвязь $U = R \cdot I$ между током I и напряжением U на омическом сопротивлении R

или взаимосвязь $F = m \cdot a$ между ускорением a и силой F на ускоряемой массе m ,

или идеальный усилитель с монтажом на сопротивлениях (объяснения см. в разделе "Приложение").

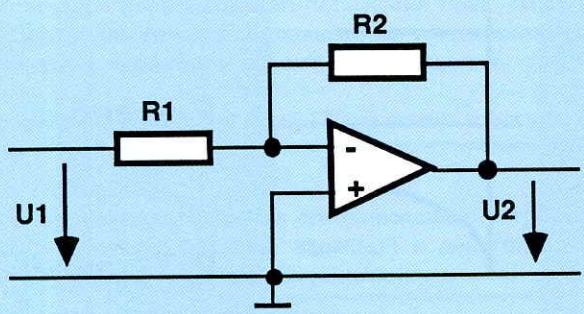


Рис. 17: Усилитель с монтажом на сопротивлениях

При скачкообразном изменении входного напряжения U_1 изменяется также скачкообразно выходное напряжение U_2 .

Выходное напряжение — это

$$U_2 = -R_2/R_1 \cdot U_1 = -K \cdot U_1$$

с усилением

$$K = R_2/R_1$$

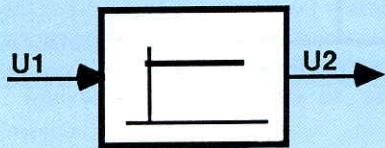


Рис. 18

Интегрирующее звено (I-звено)

Выходной сигнал линейно увеличивается со временем.

$$X_a = K \cdot \int X_e(t) \cdot dt$$

Также в данном случае обозначается K как переходная константа или коэффициент усиления I-звена.

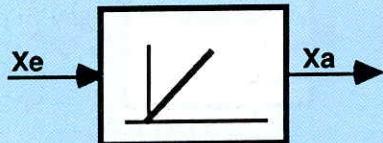


Рис. 19: Символ для I-звена

Пример для появления I-звена: гидроцилиндр
Зависимость произведенного хода s от подводимого количества масла Q .

$$s = 1/A \cdot \int q \cdot dt$$

s $K = 1/A$

A = эффективная поверхность

или гидродвигатель

Зависимость угла скручивания вала двигателя от угловой скорости ω .

$$\phi = K_0 \cdot \int \omega \cdot dt \quad K=1$$

или привод шпинделя

Преобразование числа оборотов шпинделя в продольное движение.

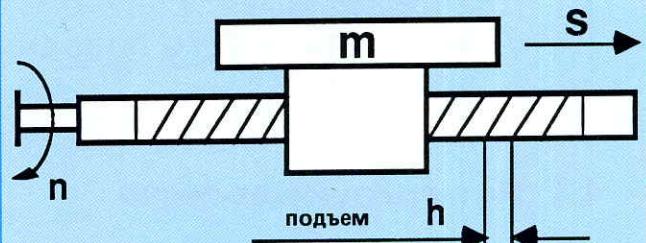


Рис. 20

Для перемещения s как выходной величины в действии будет:

$$s = h \cdot \int n \cdot dt$$

при постоянном числе оборотов шпинделя n перемещение s будет состоять из

$$s = h \cdot n \cdot t$$

Это значит, что перемещение будет линейно увеличиваться с увеличением времени t .

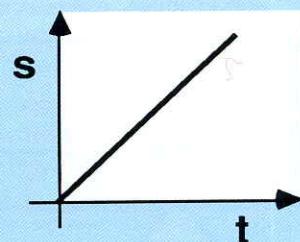


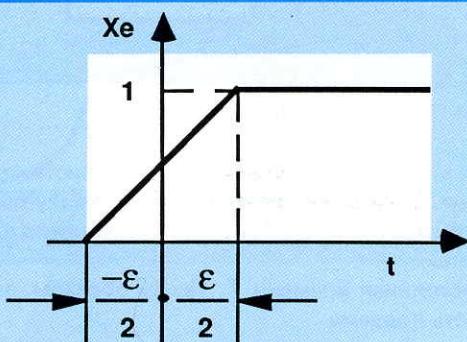
Рис. 21

Дифференцирующее звено (D-звено)

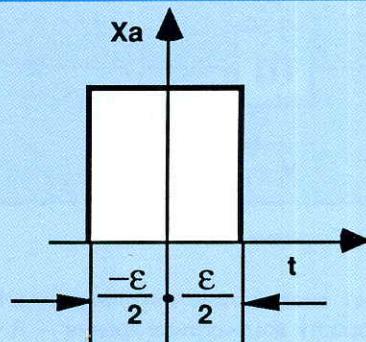
$$X_a(t) = K \cdot \dot{X}_e(t)$$

$$\dot{X}_e(t) = dX_e / dt$$

Величина выходного сигнала зависит от скорости изменения входного сигнала.



$$\varepsilon = \text{длительность импульса}$$



$$X_a = K \cdot \dot{X}_e$$

Рис. 22: Переходная характеристика

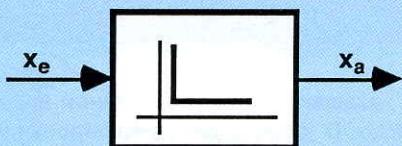


Рис. 23: Символ для D-звена

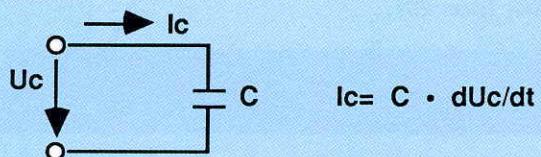


Рис. 24

Примером для D-звена может послужить зависимость $U = L \cdot I$ напряжения U от индуктивности тока I или зарядный ток конденсатора с емкостью C в зависимости от приложенного напряжения U_c или взаимосвязь $F = m \cdot v$ ($v = a$) или зависимость силы F от скорости v .

Звено с запаздыванием

В начале ленты возникающее количество материала обозначается посредством X_e , в конце выбрасываемое количество — X_a . В момент времени t количество в начале ленты составляет $X_e(t)$, пока количество будет транспортироваться к концу ленты, пройдет время $T_t = l/v$.

В момент времени t мы будем иметь, таким образом, количество, которое в начале ленты было раньше на время T_t , т.е., во время $(t - T_t)$.

Отсюда вытекает

$$X_a(t) = X_e(t - T_t)$$

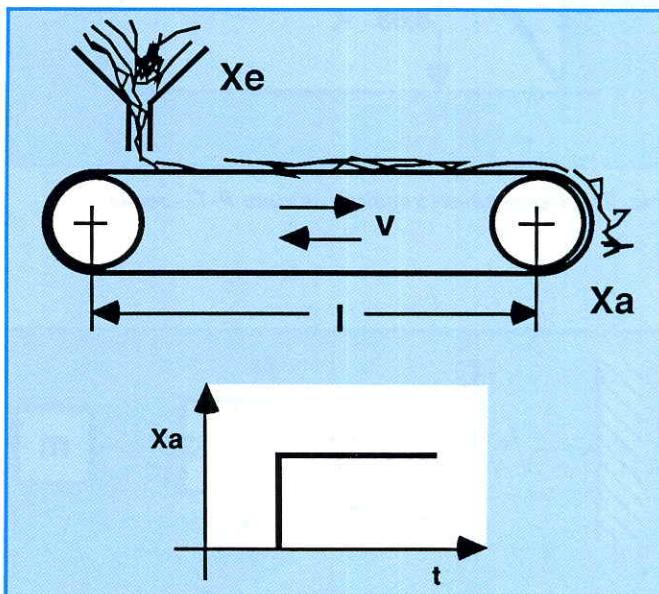


Рис. 25: Например, конвейерная лента

Пропорциональное звено с замедлением 1-го порядка
 P - T₁ - звено

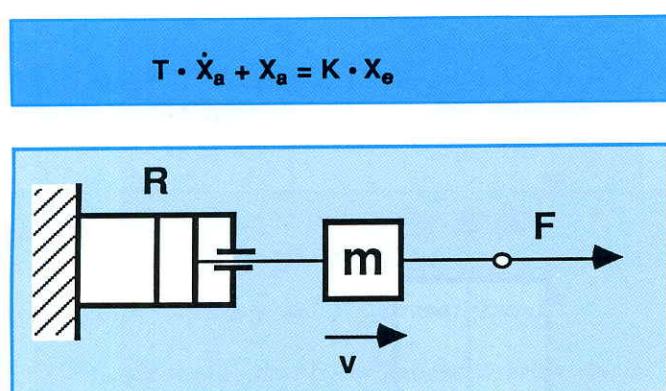


Рис. 26: Пример для P-T₁-звена

На массу m оказывает воздействие внешняя сила F и пропорциональное скорости жидкостное трение — $R \cdot v$.

Поэтому будет в действии

$$m \cdot \dot{v} = F - R \cdot v$$

или

$$\frac{m}{R} \cdot \dot{v} + v = \frac{F}{R}$$

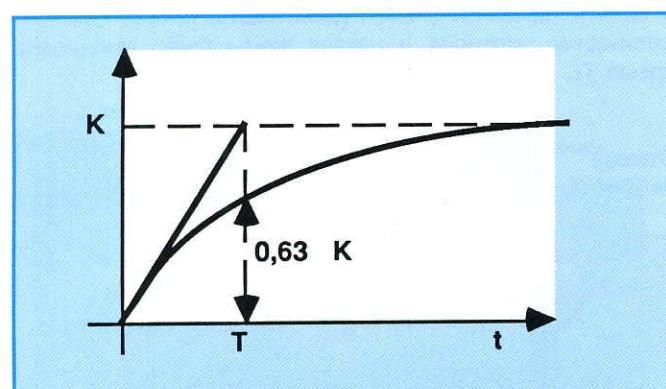


Рис. 27: Переходная характеристика P-T₁-звена

Конечное значение K будет достигаться только по истечении определенного времени. Динамическое действие P-T₁-звена заключается в замедлении от $X_e(t)$.

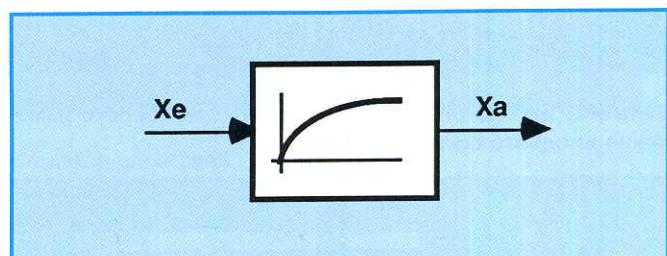


Рис. 28: Символ для P-T₁-звена

Касательная к переходной характеристике при $t = 0$ принимает конечное значение K к моменту времени $t = T$. T обозначается поэтому как "постоянная времени" P-T₁-звена.

Постоянная времени T , таким образом, определяет скорость подъема.

Пропорциональное звено с замедлением 2-го порядка
 P - T₂ - звено

P - T₂ - звено определяется посредством формулы

$$T^2 \cdot \ddot{X}_a + 2 D T \dot{X}_a + X_a = K \cdot X_e$$

Константу T называют также постоянной времени, безразмерное число D обозначает демпфирование, а K — это коэффициент передачи P-T₂-звена.

Взаимосвязь между силой F и сдвигом X механической системы (рис. 29).

$$m \cdot \ddot{X} = F - R \cdot \dot{X} - C \cdot X$$

или

$$\frac{m/c}{T^2} \cdot \ddot{X} + \frac{R/C}{2 D T} \cdot \dot{X} + \frac{X}{K} = \frac{1/C}{F}$$

$$T = \sqrt{m/c} \quad D = R / (2 \cdot \sqrt{m \cdot c}) \quad K = 1/c$$

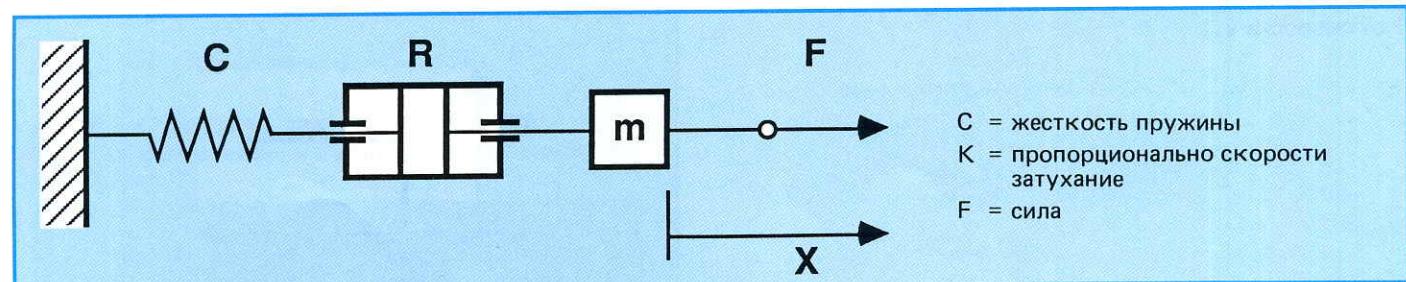


Рис. 29: Пример для P-T₂-звена

Переходная характеристика Р - Т₂ -звена

D > 1

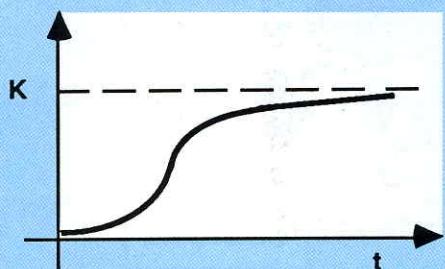


Рис. 30

Для D > 1 в наличии апериодический предельный случай (рис. 30)

D < 1

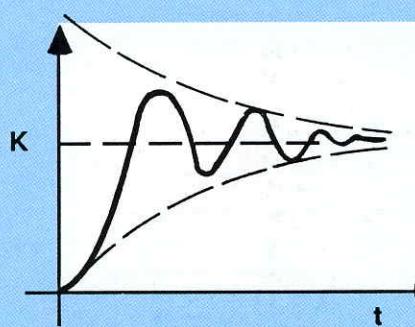


Рис. 31

Для D < 1 производит переходная характеристика затухающее колебание.

Его частота составляет

$$\omega_N = \sqrt{(1 - D^2)} \cdot \omega_0 = \sqrt{(1 - D^2)} / T$$

$$\omega_0 = 1/T$$

В данном случае говорят о периодическом случае и обозначают поэтому Р - Т₂ -звено также как звено колебаний.

Из такой переходной характеристики производится символ Р - Т₂ -звена, который должен оставаться в действии для всех случаев.

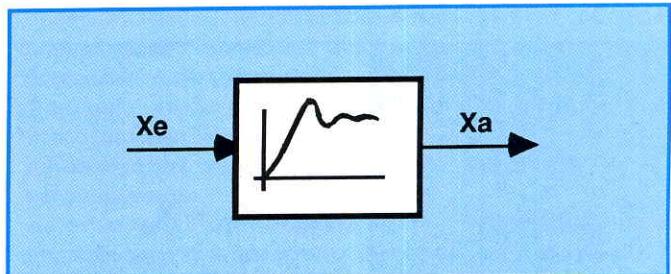


Рис. 32: Символ для Р-Т₂-звена

Объединение элементарных передающих звеньев

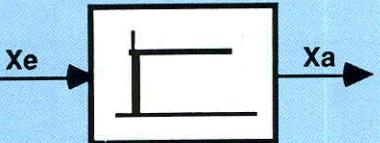
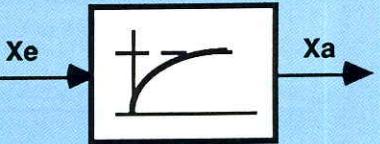
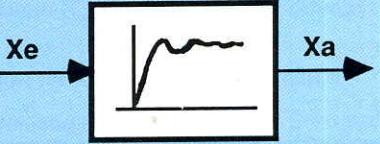
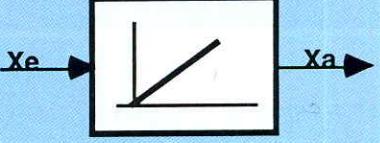
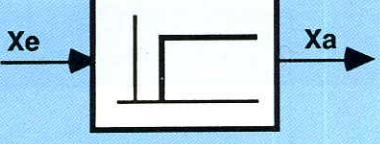
P-звено	$X_a = K_p \cdot X_e$	
P-T ₁ -звено	$T_1 \cdot \dot{X}_a + X_a = K_p \cdot X_e$	
P-T ₂ -звено	$T_2 \ddot{X}_a + 2D\dot{T} \dot{X}_a + X_a = K_p \cdot X_e$	
I-звено	$X_a = K_I \int X_e(t) dt$	
D-звено	$X_a = K_D \cdot \dot{X}_e$	
T _t -звено	$X_{a(t)} = K \cdot X_e (t - T_t)$	

Рис. 33: Элементарные передающие звенья

Как уже было упомянуто вначале, задача регулирования заключается прежде всего в преобразовании воздействий со стороны величин помех и регулируемой величины. Размещение, однако, годится также для того, чтобы при изменениях заданного значения привести в соответствие действительное значение регулируемой величины с новым заданным значением.

Регулирование, таким образом, выполняет две задачи:

- Доведение до минимума величин помех.
- Должна быть отрегулирована задающая величина (способность следовать за изменениями входного задающего сигнала).

Оказание воздействия на регулируемую величину после изменения задающей величины или величины помех тре-

бует, в общем, определенных затрат времени (ср. передаточную функцию). Если, например, величина помех будет увеличена скачкообразно, то регулирование будет реагировать путем повторного согласования сначала измененной регулируемой величины. Это осуществляется всегда с задержкой, независимо от того, какая физическая структура у системы регулирования.

При механической системе, например важную роль играют инерция массы и трение, в то время как при электрических системах происходят процессы перезарядки. Временная зависимость регулируемой величины, однако, играет решающую роль для регулировочной характеристики.

Если будет сделана попытка, например, такую задержку поддерживать по мере возможности короткой длительности за счет очень интенсивного вмешательства регуля-

тора при изменениях величин помех, система может попасть под воздействие сильных колебаний.

Если такой переходный процесс затухнет, то контур регулирования будет называться устойчивым. Если колебания не затухнут, т.е., контур регулирования производит незатухающие колебания, то регулирование будет обозначаться как неустойчивое.

Если регулирование будет устойчивым, то оно должно и в дальнейшем обладать свойством, при котором отклонение регулируемой величины от заданного значения остается ниже заданного значения.

Такие требования относительно устойчивости и соблюдения предварительно заданных отклонений регулируемой величины от заданного значения являются обязательными требованиями к контуру регулирования.

Очень часто к контуру регулирования предъявляются и другие требования.

Так, например, время наладки на определенный режим при изменениях заданных значений или время установления регулирования при изменении величины помех должны истекать в пределах предварительно заданного времени.

Такие требования отнюдь не выполняются сами по себе благодаря тому, что к предварительно заданному объекту регулирования присоединяются любые системы измерения, сравнения и исполнительные системы и замыкается контур регулирования.

Контур регулирования будет вначале либо неустойчи-

вым, очень неточным, либо очень медленным.

Для того, чтобы контур регулирования смог выполнить предъявляемые к нему требованиями, следует соблюдать определенные принципы, в особенности это касается выбора самого регулятора.

Для того, чтобы регулятор был выбран правильно, для этого должно иметься по возможности точное описание динамической характеристики всех элементов контура регулирования.

На этом месте мы не хотим более детально вдаваться в подробности относительно большего количества критериев устойчивости, а ссылаемся на специальную литературу по вопросу техники регулирования.

Здесь будут подаваться общие указания по координации определенных регуляторов с имеющимися объектами регулирования.

На рис. 34 показывается, что регуляторы по своей временной характеристике должны согласовываться с определенным объектом регулирования для того, чтобы контуры регулирования были устойчивыми.

Поэтому требуются регуляторы с различной временной характеристикой.

Указания к рис. 34:

Задающее воздействие означает:

применение при изменении задающей величины.

Помеха означает:

применение для компенсации величин помех.

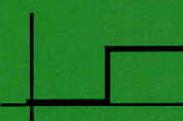
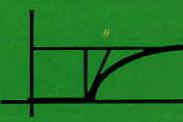
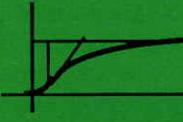
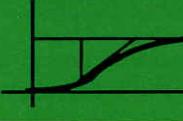
объект	регулятор	P	I	PI	PD	PID
 чистое время запаздывания	непригодный	немного хуже, чем PI	задающее воздействие + помеха	непригодный	непригодный	
 время запаздывания + замедление 1-го порядка	непригодный	хуже, чем PI	немного хуже, чем PID	непригодный	задающее воздействие + помеха	
 время запаздывания + замедление 2-го порядка	не годится	плохо	хуже, чем PID	плохо	задающее воздействие + помеха	
 1-й порядок + очень малое время запаздывания (время задерж.)	задающее воздействие	не годится	помеха	задающее воздействие при времени задержки	помеха при времени задержки	
 более высокий порядок	не годится	хуже, чем PID	немного хуже, чем PID	не годится	задающее воздействие + помеха	
 интегральная характеристика	задающее воздействие (без замедления)	непригодный структура неустойчивая	помеха (без замедления)	задающее воздействие	помеха	

Рис. 34: Выбор годного регулятора при имеющемся объекте

Переченьгодныхкупотреблениюфункцийрегулятора

Нижеприведенные регуляторы смогли быть реализованными, благодаря общему укомплектованию операционного усилителя.

P-регулятор

(пропорциональная регулировочная характеристика)

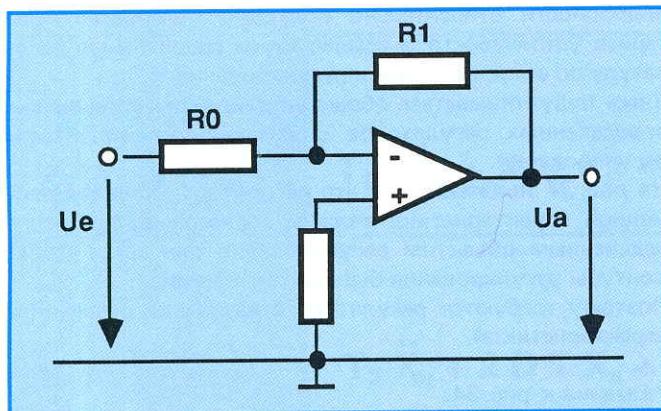


Рис. 35

Пропорциональная регулировочная характеристика – это значит, что выходная величина U_A и входная величина U_E относятся друг к другу пропорционально.

Для изображен. проводного монтажа в действии формула

$$U_A = -R_1 / R_0 \cdot U_E$$

R_1 / R_0 = коэффициент усиления = K_p

Для оценки характеристики регулирующего усилителя используется его переходная характеристика. Под этим понимается временная зависимость выходного напряжения U_A , когда входное напряжение U_E повышается скачкообразно с нуля на установленное значение.

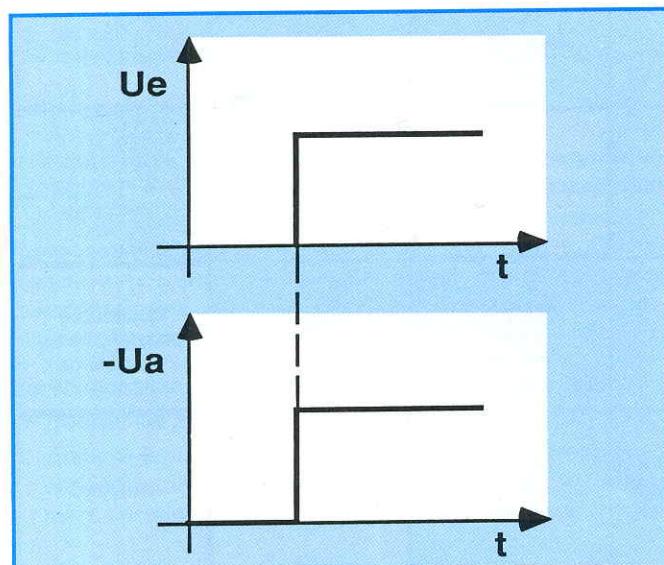


Рис. 36: Переходная характеристика P-регулятора

P-регулятор отвечает, таким образом, на скачкообразное изменение входной величины посредством скачкообразного изменения выходной величины (регулирующая величина).

Преимущества P-регулятора

- простая конструкция
- легкая регулировка
- быстрая реакция на изменение регулируемой величины

Недостатки P-регулятора

Посредством P-регулятора никогда не можно будет превратить регулируемую величину сразу в задающую величину. Всегда придется смиряться с остаточным отклонением от номинального значения, зависимым от коэффициента усиления.

Это происходит потому, что P-регулятору для работы требуется отклонение от номинального значения.

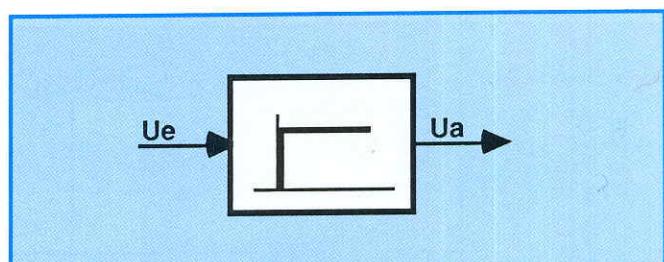


Рис. 37: Изображение P-регулятора в виде блока

I-регулятор

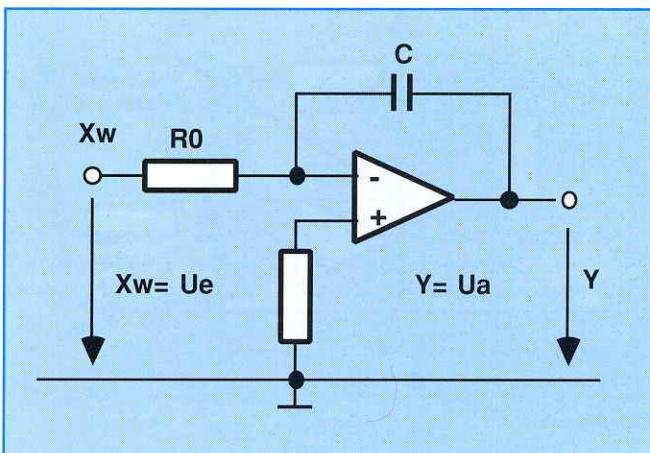


Рис. 38

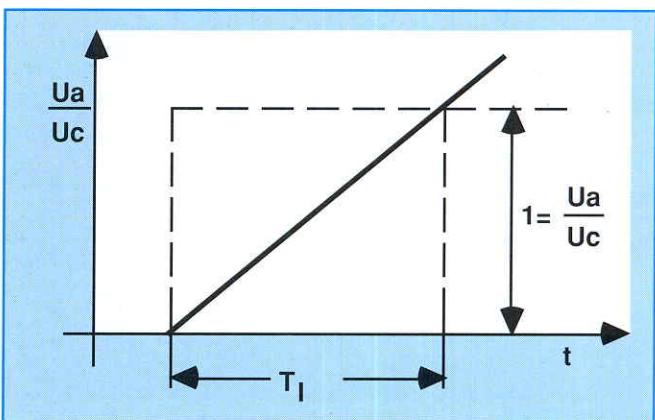


Рис. 40

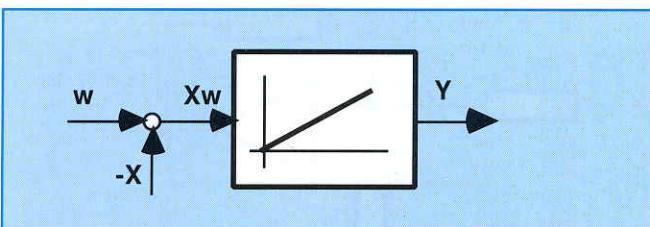


Рис. 39: Изображение I-регулятора в виде блока

Регулятор, действующий интегрирующим образом, образует временной интеграл входной величины. Характерными являются постоянная времени интегрирования. Постоянная времени интегрирования подает требуемое время, которое необходимо интегратору для того, чтобы на выходе достичь значения напряжения U_a , при скачке напряжения U_e на входе.

$$T_I = R_0 \cdot C$$

или ее обратное значение (коэффициент интегрирования)

$$K_I = 1/T_I$$

Входное напряжение U_E представляет собой отклонение регулируемой величины от заданного значения $w - x = X_w$. Выходное напряжение представляет собой регулирующую величину

$$Y = U_A(t) = -1/T_I \int_0^t U_E dt$$

В соответствии с проводным монтажом выходной сигнал инвертируется.

Скачок напряжения на входе вызывает пропорциональное времени изменения выходного напряжения.

Особое свойство I-звена заключается, таким образом, в том, что выходная величина будет изменяться до тех пор, пока входная величина не будет равняться нулю. Выходное напряжение остается на любом значении, когда входное напряжение будет составлять нуль (рис. 41).

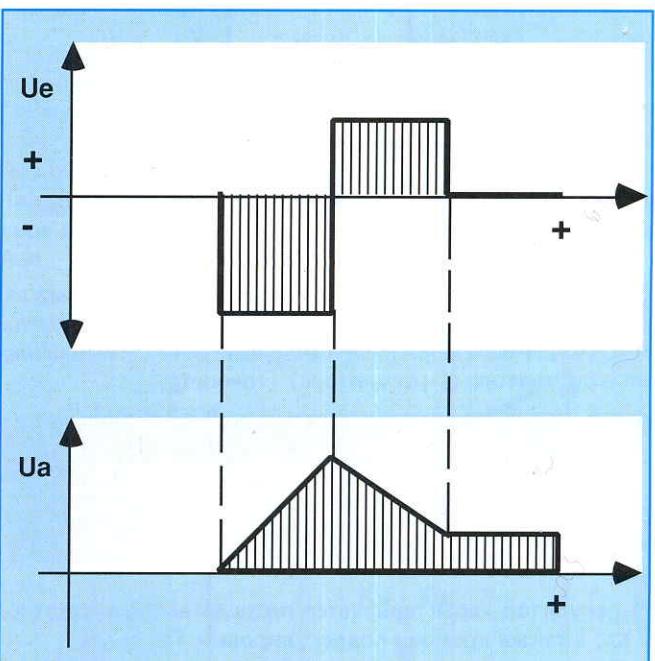


Рис. 41: Временная диаграмма для I-регулятора

По сравнению с P-регулятором не выработанная I-регулятором регулирующая величина отклонения от номинального значения пропорциональна отклонению от номинального значения, а временное изменение регулирующей величины пропорционально такому отклонению.

Действующий интегрирующим образом регулятор полностью устраняет в принципе каждое отклонение регулирующей величины от заданного значения, поскольку даже минимальный входной сигнал со временем превратится в большой выходной сигнал.

Такому преимуществу, которое выражается в том, что не нужно мириться с никаким отклонением регулирующей величины от заданного значения, противостоят, однако, также некоторые недостатки.

Как это изображается на временной диаграмме I-регулятора, реагирует I-регулятор относительно медленно на изменение регулируемой величины. Отсюда вытекает большая длительность времени установки и может произойти сильное перерегулирование регулируемой величины.

PI-регулятор (ПИ-регулятор)

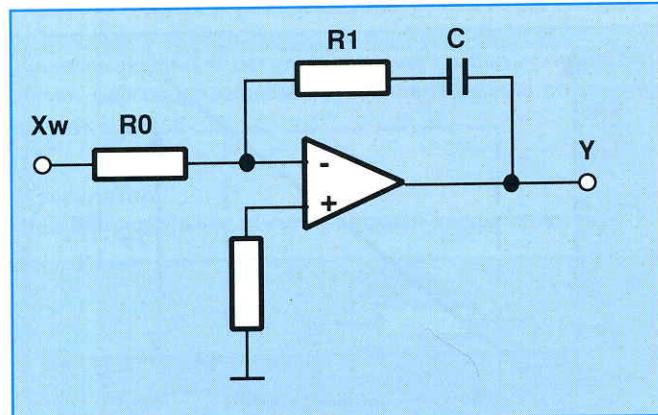


Рис. 42

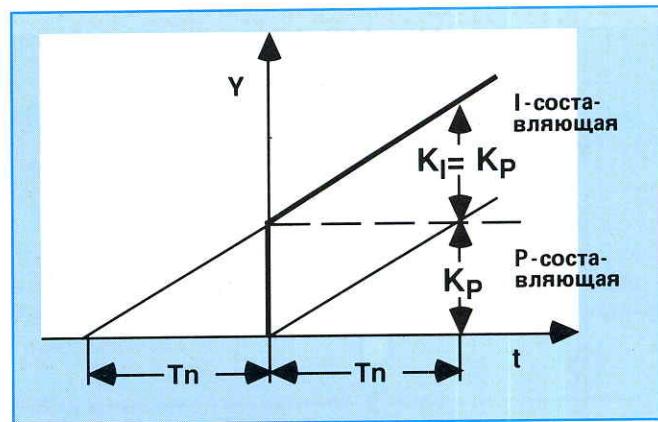


Рис. 44

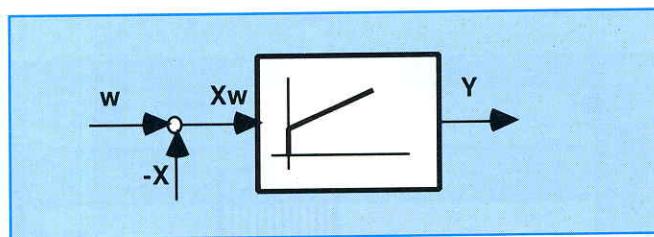


Рис. 43: Изображение для PI-регулятора в виде блока

PI-регулятор (пропорционально-интегральный регулятор) объединяет в себе хорошие свойства пропорционального регулятора (P-регулятора) (быстрота) и интегрального регулятора (I-регулятора) (точность).

$K_p = R_1/R_0$	$T_i = R_0 \cdot C$
$T_n = R_1 \cdot C = K_p/K_i$	$K_i = 1/T_i$

PI-регулятор характеризуется посредством констант K_p и K_i , а также времени подрегулировки T_n .

Время подрегулировки T_n – это время, которое длится до тех пор, пока интегральная составляющая не произведет то выходное изменение, которое пропорциональная составляющая испытывает непосредственно вместе с входным скачком или, иначе выражаясь:

Характеристика PI-регулятора соответствует характеристике I-регулятора, у которого начало действия будет перенесено на более ранний срок, а именно на время подрегулировки T_n (рис. 44).

Данный регулятор большей частью применяется тогда, когда пропорциональная составляющая быстро, но не особенно точно, доводит величину помех до минимума, в то время как интегральная составляющая предусматривается для точного доведения ошибки до минимума.

D-регулятор (Д-регулятор)

Дифференцирующий регулятор срабатывает на изменение скорости $\Delta X_w/\Delta t$ отклонения от номинального значения.

Такой регулятор поверяется поэтому также не посредством скачка, а с помощью линейнообразно изменяющегося входного сигнала.

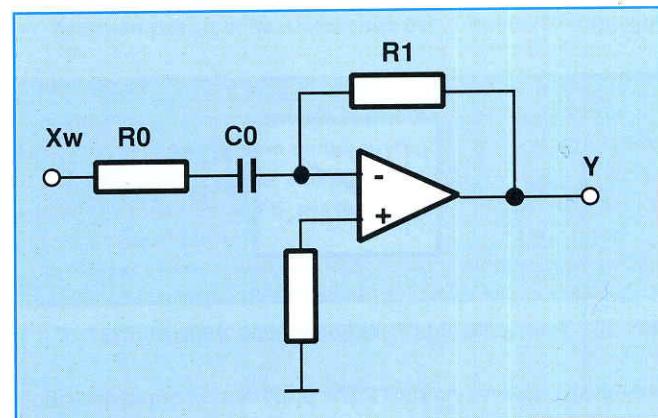


Рис. 45

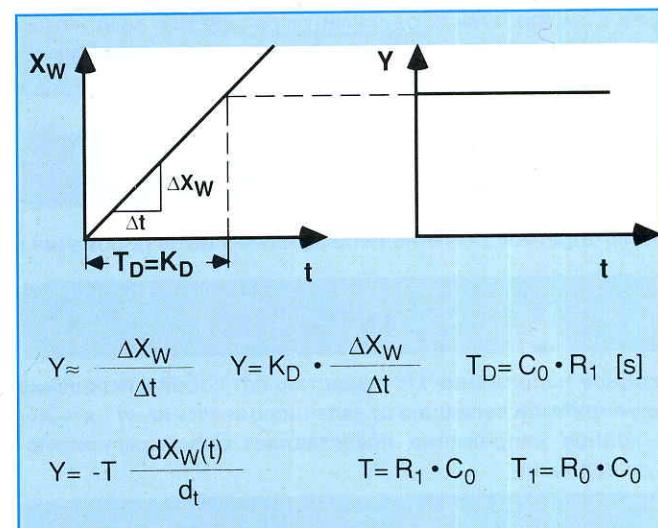


Рис. 45а

Характерным является константа времени воздействия по производной T_D или константа регулятора K_D .

Данный регулятор обычно применяется только в сочетании с другими регуляторами.

PD-T1-регулятор (пропорциональный регулятор с предварением или ПД-T1-регулятор)

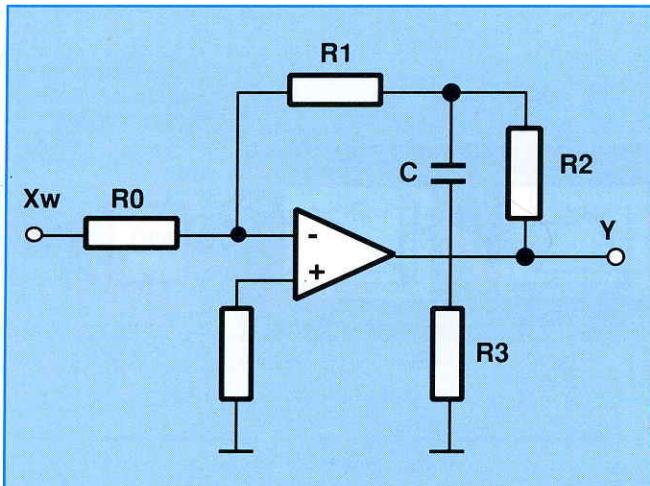


Рис. 46

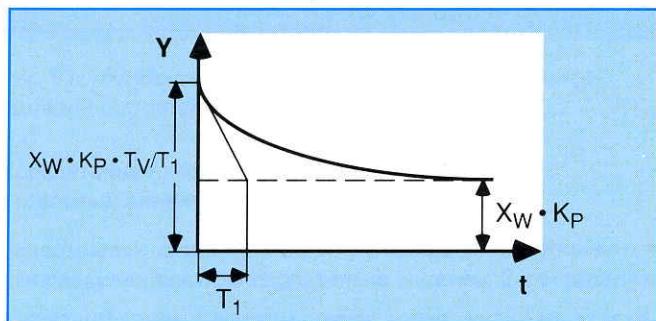


Рис. 47: Изображение для PD-T1-регулятора в виде блока

Временная задержка $T_1 = C \cdot R_3$ замедляет выходной сигнал и ограничивает его в моменте времени $t = 0$ на $X_w \cdot K_p \cdot T_V / T_1$.
 $(K_p = (R_1 + R_2) / R_0; T_V = [R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)] \cdot C)$

Если будет проверяться PD-T1-регулятор без выдержки времени с линейной функцией с насыщением, то можно легко определить время предварения.

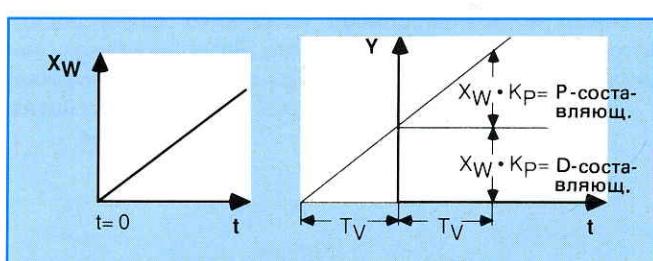


Рис. 47а: Характеристика PD-T1-регулятора

Время предварения T_V – это время, которое требуется для Р-составляющей для того, чтобы достичь значения выходного сигнала D-составляющей, которое составляется в моменте времени $t = 0$.

Дифференциальная составляющая в пропорциональном регуляторе ускоряет процесс регулирования, поскольку также скорость изменения отклонения от номинального значения оказывает воздействие на выходной сигнал.

PD-регулятор, однако, имеет статическую ошибку регулирования, т.е. таким же образом как Р-регулятор имеет установившуюся ошибку регулирования.

PID-T1-регулятор (пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор или ПИД-T1-регулятор)

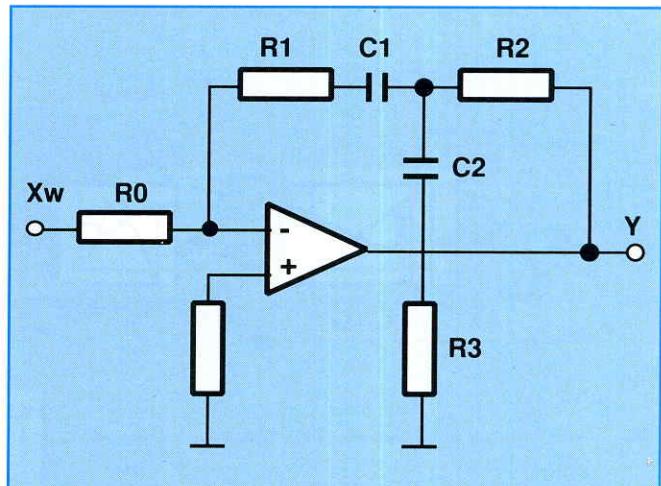


Рис. 48

PID-регулятор представляет собой комбинацию всех трех типов регуляторов.

Наряду с хорошими динамическими свойствами, PID-регулятор отличается еще тем преимуществом, что исключается статическая ошибка регулирования.

Такой регулятор с регулируемыми константами регулятора может подгоняться к любому объекту регулирования.

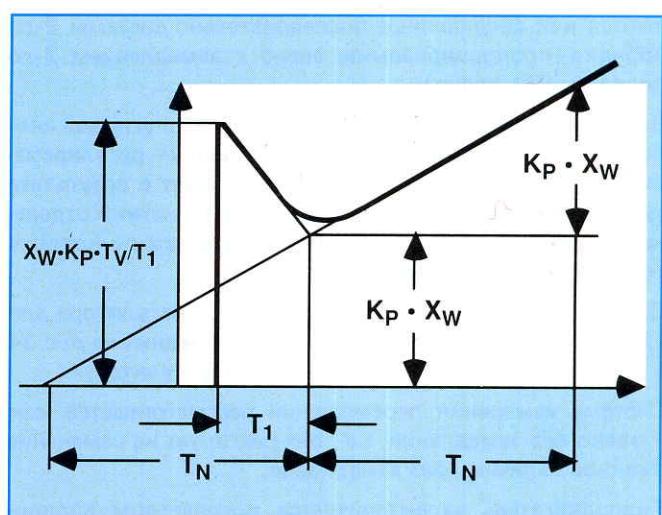


Рис. 49

Регулирующая величина изменяется сначала на величину (D-составляющая = дифференциальная составляющая), зависимую от скорости изменения входной величины dx/dt . По истечении времени предварения регулирующая величина устанавливается обратно на значение, которое соответствует зоне пропорционального регулирования, и изменяется после этого в соответствии со значением I-составляющей (интегральной составляющей).

$$K_p = (R_1 + R_2) / R_0$$

$$T_N = R_1 \cdot C_1$$

$$T_V = R_2 \cdot C_2$$

$$T_1 = R_3 \cdot C_2 \rightarrow \text{демпфирующая постоянная времени}$$

R_3 = демпфирующая сопротивление (смотри PD-регулятор.)

Контур регулирования по положению, электропривод

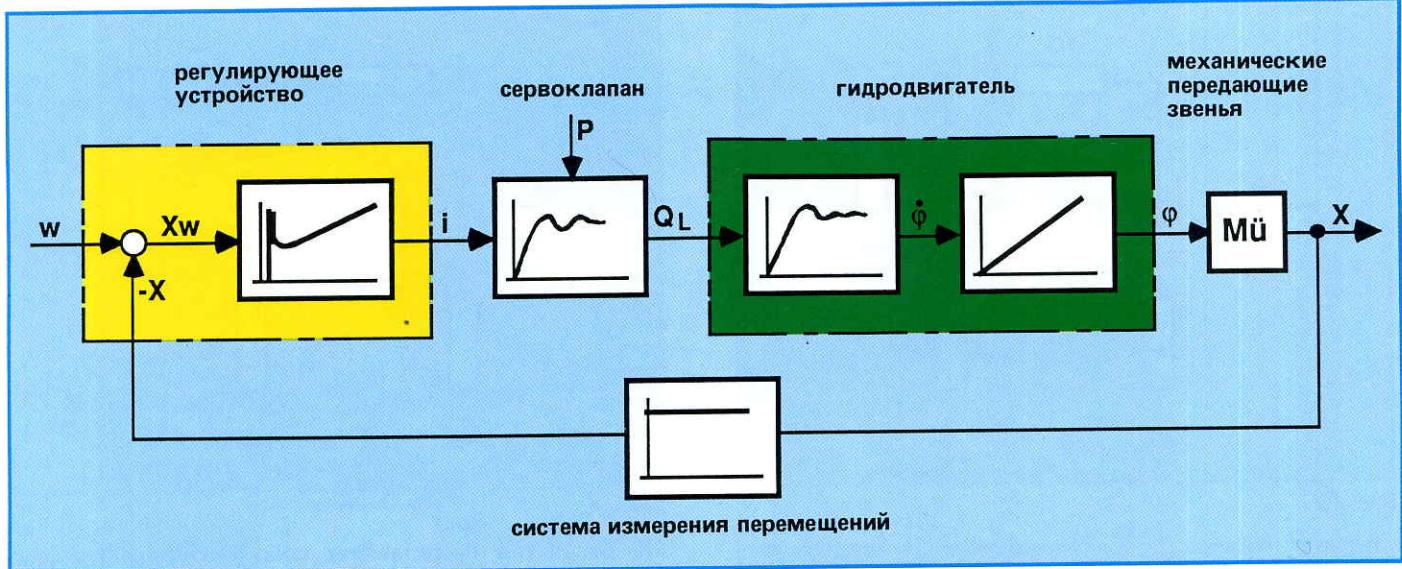


Рис. 50: Блок-схема регулируемого по положению электропривода

Передаточная характеристика отдельных элементов контура регулирования

Сервоклапан и нагруженный серводвигатель рассматриваются как соединенные последовательно системы 2-го порядка (пропорциональное звено с замедлением 2-го порядка, PT2-звено).

Вследствие интегрирования при переходе с угловой скорости на угол вращения возникает объект регулирования как система 5-го порядка (Возникает в результате умножения уравнений частотной характеристики отдельных звеньев. См. в специальной литературе по вопросу техники регулирования.).

Соответственно критериям для выбора регулятора для имеющегося в наличии объекта регулирования на рис. 34 в качестве регулятора был избран PID-регулятор.

Система измерения перемещений рассматривается как Р-звено без замедления, т.е., она реагирует на изменение входной величины без замедления.

Гидродвигатель характеризуется посредством пропорциональной переходной характеристики, взятой по отношению к угловой скорости, и посредством интегральной характеристики, взятой по отношению к углу вращения.

Контур регулирования по положению, привод цилиндра

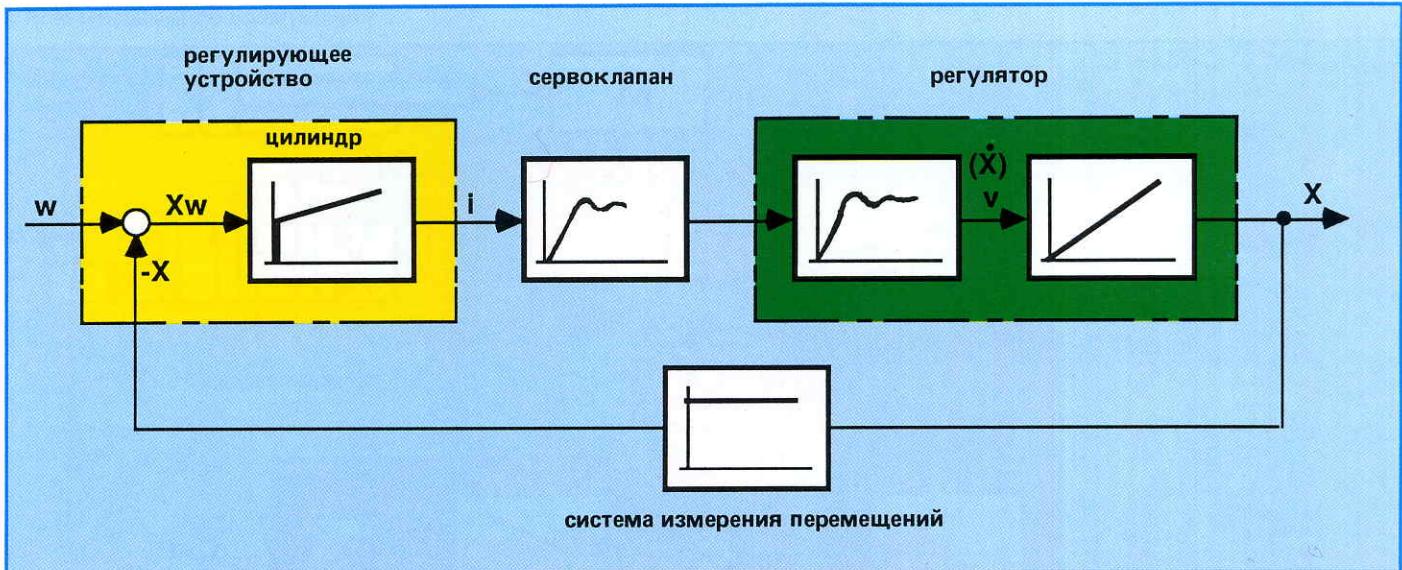


Рис. 51: Блок-схема регулируемого по положению привода цилиндра

**Передаточная характеристика
отдельных элементов контура регулирования**

Сервоклапан и цилиндр в свою очередь рассматриваются как соединенные последовательно системы 2-го порядка.

Интегрирование в данном случае расположено на переходе со скорости цилиндра на ход.

Также здесь создается система 5-го порядка, которая будет более подробно описываться на странице J4.

При рассматривании обеих блок-схем можно установить, что они очень похожи друг на друга. Вследствие этого подтверждается утверждение на странице J6, что при переходе от реальной технической системы к модели сокращается многообразие вариантов в приборной технике.

Гидроцилиндр отличается пропорциональной переходной характеристикой, взятой по отношению к скорости движения, и интегральной переходной характеристикой, взятой по отношению к ходу цилиндра.

**Позиционное регулирование
(контур следящей системы)**

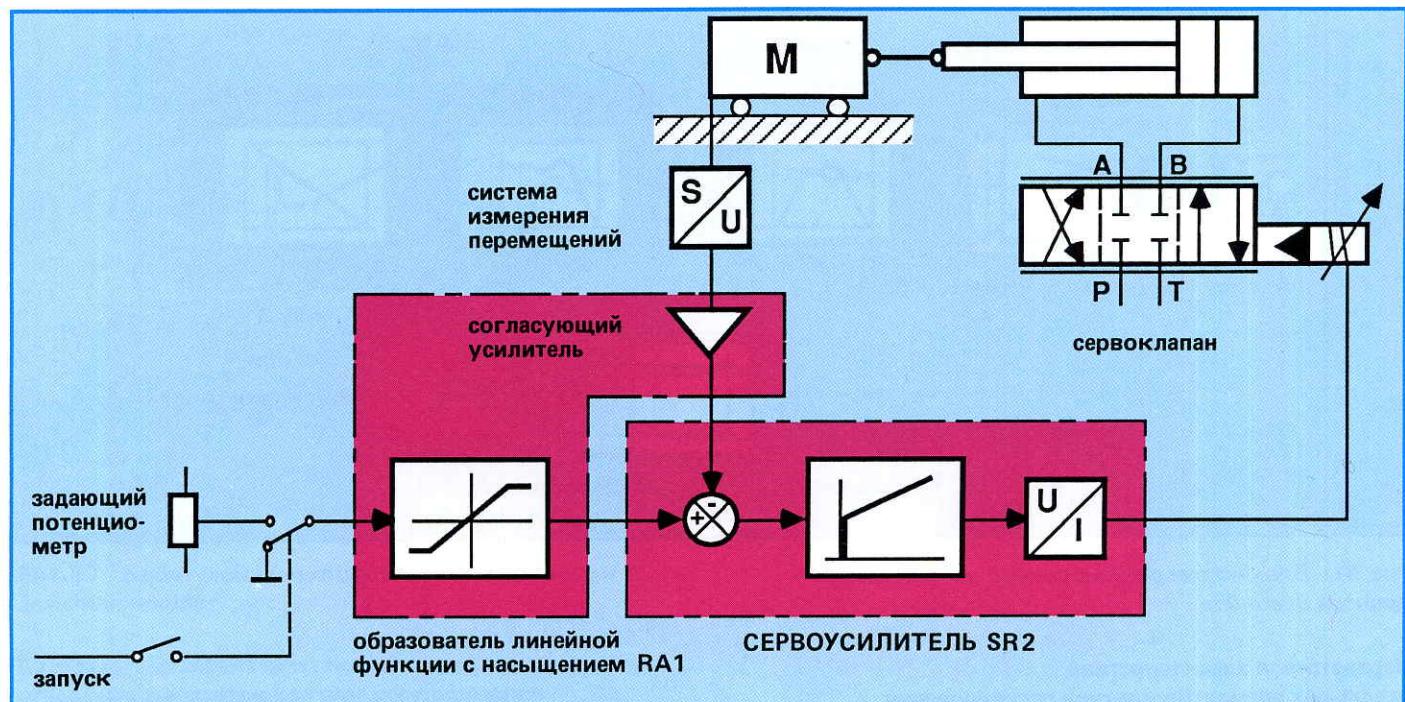


Рис. 52: Пример контура регулирования по положению

Посредством данной схемы регулирования предоставляется возможность для регулирования не только позиции цилиндра, но и скорости перемещения.

Последовательность прохождения сигналов

Посредством пускового сигнала включается заданное значение положения для образователя линейной функции с насыщением. Выходной сигнал образователя линейной функции с насыщением возрастает по истечении установленного времени линейной функции с насыщением с 0 вольт на установленное на задающем потенциометре значение напряжения.

Установленное время линейной функции с насыщением соответствует при этом скорости перемещения.

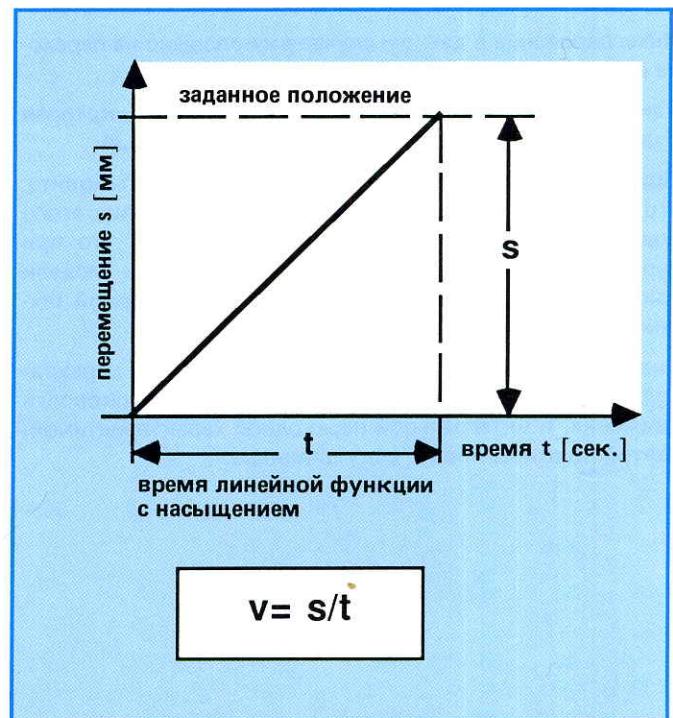


Рис. 53

**Регулирование частоты вращения
(регулирование скорости)
с компенсацией по возмущению**

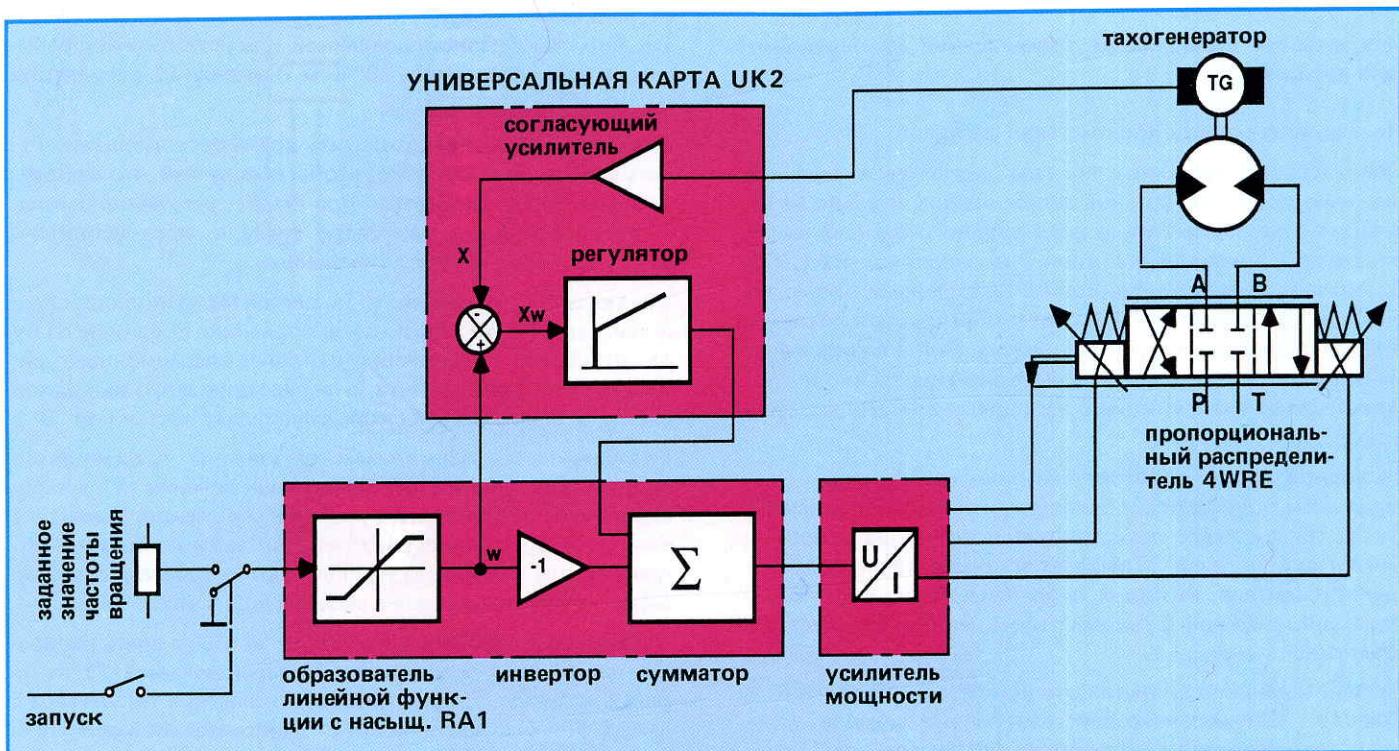


Рис. 54: Пример контура регулирования частоты вращения

Посредством пускового сигнала подключается к образователю линейной функции с насыщением установленное значение числа оборотов.

Заданное значение на выходе образователя линейной функции с насыщением повышается в соответствии с установленным временем линейной функции с насыщением.

Такой сигнал поступает, во-первых, через инвертор и сумматор непосредственно к усилителю мощности, благодаря этому клапан будет включаться в действие непосредственно с помощью такого заданного значения. Одновременно сравнивается заданное значение с регулируемой величиной (мгновенное действительное число оборотов) и разность подается собственно регулятору.

Устанавливющий сигнал регулятора поступает к сумматору и оказывает там воздействие на устанавливающий сигнал, который направляется к усилителю мощности, а вследствие этого на сервоклапан.

Благодаря такой схеме переключения контур регулирования может развить более высокие динамические свойства, поскольку собственно регулятор становится активным только при разности заданной и действительной величин.

Регулирование скорости

Посредством контура регулирования, изображенного на рисунке 56, предоставляется возможность для регулирования только скорости.

Исключается возможность перемещения на определенную позицию.

Последовательность прохождения сигналов

Посредством пускового сигнала включается заданное значение скорости, установленное предварительно на за дающем потенциометре, в виде входного сигнала на образователе линейной функции с насыщением RA1. Образователь линейной функции с насыщением повышает свой выходной сигнал в соответствии с установленным временем линейной функции с насыщением с нуля вольт на имеющееся в наличии заданное значение на входе. Время линейной функции с насыщением — это мера для ускорения.

Выходной сигнал образователя линейной функции с насыщением подводится к сервоусилителю (SR-усилитель). Скорость цилиндра регистрируется датчиком скорости. Сигнал скорости согласовывается посредством согласующего усилителя, который также имеется на карте образователя линейной функции с насыщением, сигналом заданного значения.

Сигнал заданного значения составляет, как правило, 0 – 10 вольт. Согласование действительного значения означает, таким образом, что сигнал действительного значения при максимально желаемой скорости путем определенной регулировки будет составлять также 10 вольт.

Такой согласованный сигнал действительного значения подводится также к сервоусилителю.

В сервоусилителе происходит сравнение заданной и действительной величин. Отклонение регулируемой величины от заданного значения XW подводится к PI-регулятору. PI-регулятор образует устанавливающий сигнал Y, который приводит действие сервоклапан непосредст-

венно, так что вследствие этого согласовывается действительная скорость с заданной скоростью.

PI-регулятор изменяет свое выходное напряжение до тех пор, пока разность заданной и действительной величин не будет составлять "0" (см. описание PI-регулятора на стр. H 16).

Для того, чтобы предотвратить дрейфовое смещение PI-регулятора, или для того, чтобы обеспечить, что конденсатор не будет заряжаться при старте, регулятор отключается с помощью пускового сигнала через усилитель схемы переключения с заземлением.

Если реле d1 притянуто, то PI-регулятор выполняет свою нормальную функцию по регулированию. Если реле d1 будет отпущено, то тогда обратная связь операционного усилителя короткозамкнута, а вследствие этого выходной сигнал у равен "0" (поскольку усиление составляет "0").

Отключение с заземлением регулятора производится посредством усилителя схемы переключения (1) в зависимости от поступившего заданного значения. Усилитель схемы переключения регулируется таким образом, что при сигнале заданного значения около 100 мв регулятор берет на себя выполнение заданий по регулированию.

В качестве дополнительной схемы монтажа здесь изображается второй усилитель схемы переключения (2), который оказывает воздействие на отключение регулятора с заземлением в зависимости от действительной величины скорости.

Если, например, заданное значение скорости скачкообразно уменьшится до нуля, будет отпущен соединенный с заданным значением усилитель схемы переключения.

Функцию регулятора возьмет теперь на себя, однако, еще второй усилитель схемы переключения, соединенный с действительным значением, так что движение цилиндра, согласно характеристике регулятора, может быть доведено до "0".

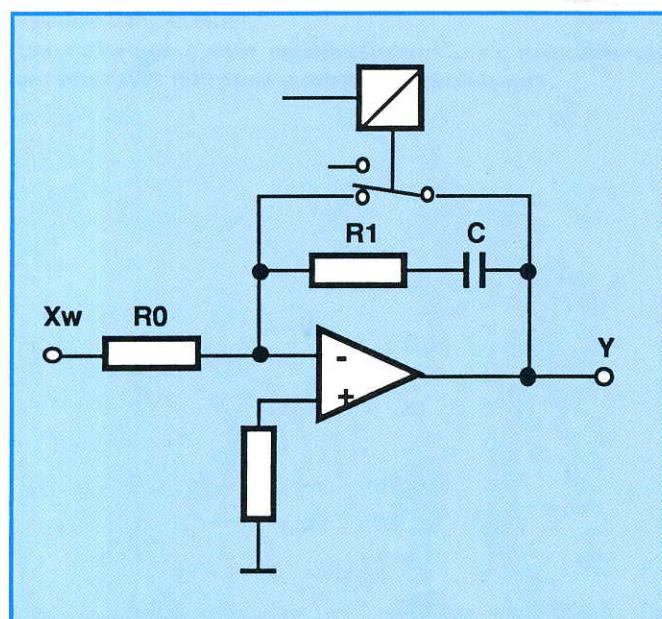


Рис. 55: Отключение с заземлением для PI-регулятора

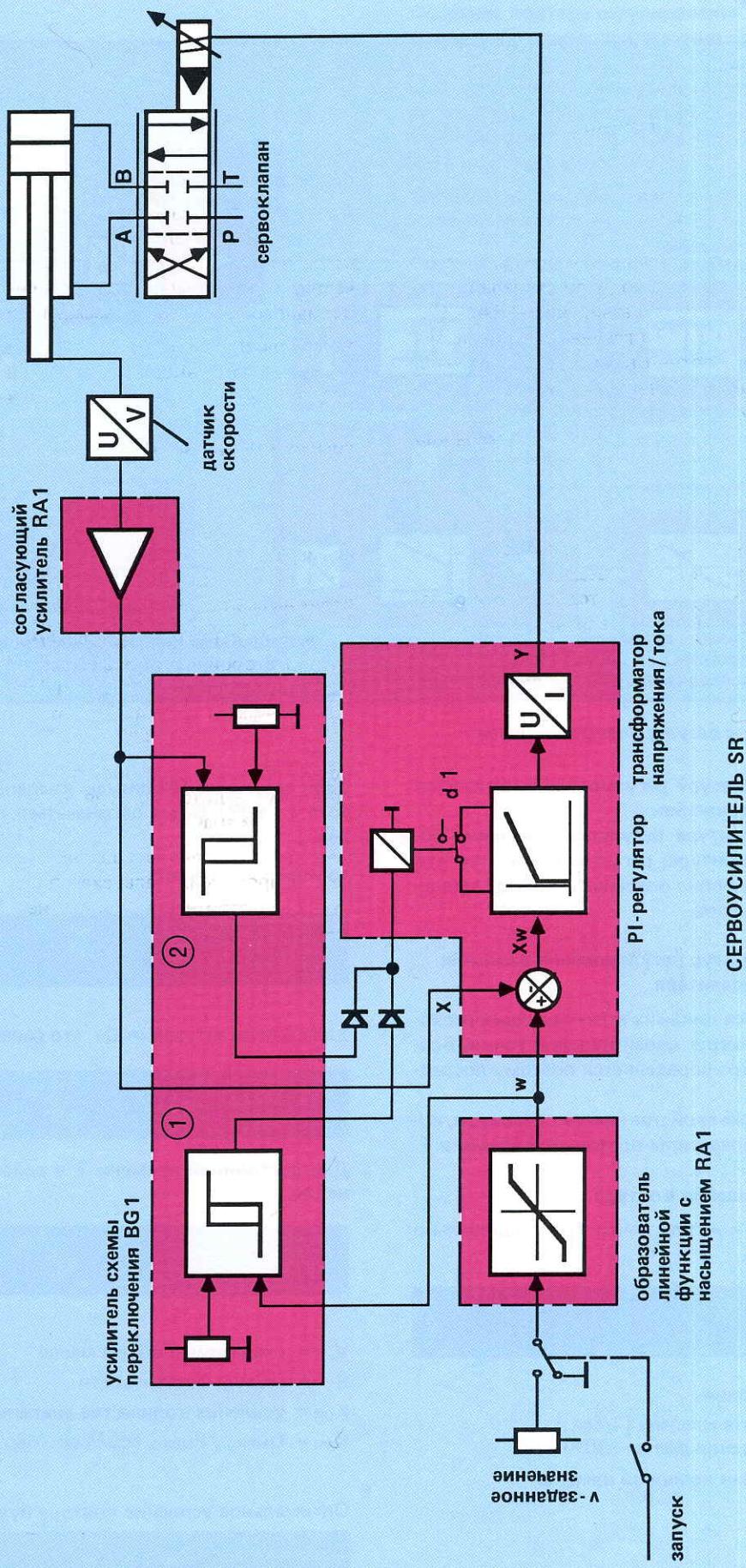


Рис. 56: Пример контура регулирования скорости

Регулирование давление

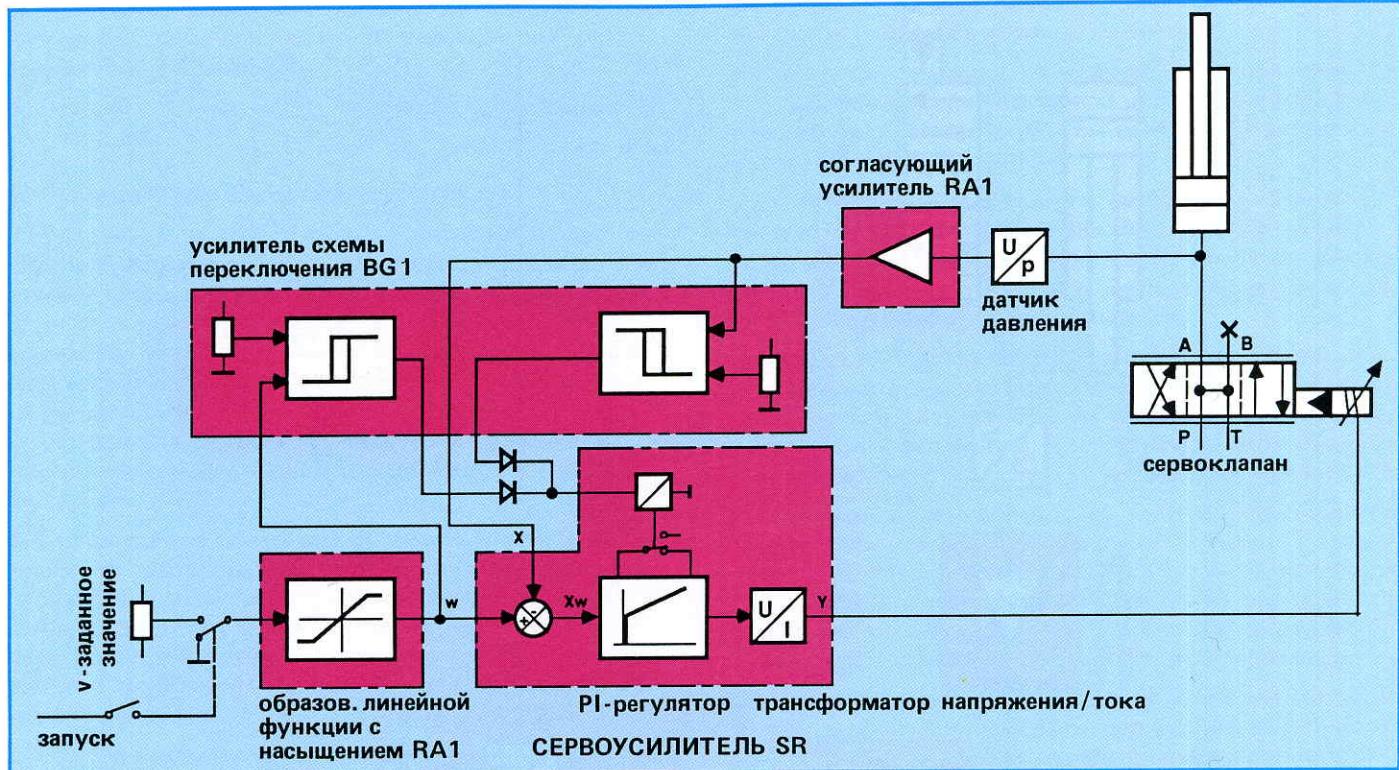


Рис. 57: Пример контура регулирования давления

К третьему важному контуру регулирования относится контур регулирования давления.

Блок-схема данного контура регулирования очень похожа на предыдущие контуры регулирования, так что отпадает надобность подробно описывать последовательность прохождения сигналов.

Общий обзор на тему контур регулирования давления с помощью сервораспределителя

Если не будет требоваться никаких возмущающих расходов, клапан работает вокруг своей нулевой точки. Возможное усиление контура определяется поэтому посредством сервоклапана.

Влияние оказывают также свойства напорной камеры, которые учитываются посредством постоянной времени T .

Оценка возможного усиления контура

Критическое усиление контура почти пропорционально продукту

$$V_{\text{крит.}} = 2 D_V \cdot \omega_V \cdot T$$

D_V = постоянная затухания

ω_V = собственная частота клапана [1/сек.]
(частота при смещении фаз в -90°)

T = постоянная времени напорной камеры

Если затухание амплитуды клапана при собственной частоте (-90°) будет обозначаться как A_V в дб (децибелах),

то отсюда вытекает:

$$A_V = 20 \cdot \log [1 / (2 \cdot D_V)]$$

для степени затухания D_V это означает, что

$$D_V = 10 \cdot (A_V / 20) / 2$$

Для постоянной времени T в действии следующее уравнение:

$$T = V / E / K_{pq}$$

V = сжимаемый объем масла

E = модуль эластичности

K_{pq} = усиление количества давления клапана

$K_{pq} = Q_{\text{макс.}} / P_{\text{макс.}} [\text{см}^3/\text{сек.}/\text{бар}]$

Оптимальное усиление контура будет составлять:

$$V_{\text{опт.}} \approx 1/3 V_{\text{крит.}}$$

Создание контура регулирования с помощью приборной техники

Для того, чтобы относительно простым способом можно было реализовать на практике самые разнообразные контуры регулирования, были разработаны универсальные электронные карты.

Посредством напряжения таких карт можно создавать каждый аналоговый контур регулирования.

Об этом уже упоминалось, когда приводились примеры контуров регулирования в отдельности на блок-схемах:

рис. 52: Контур регулирования по положению

рис. 54: Контур регулирования частоты вращения

рис. 56: Контур регулирования скорости

рис. 57: Контур регулирования давления

1. Сервоусилитель

Сервоусилители служат для приведения в действие сервоклапанов или пропорциональных клапанов с пилотным управлением сервоклапаном.

Их главная задача заключается в усилении аналогового входного сигнала (заданное значение, регулируемая величина) таким образом, чтобы возможным было посредством выходного сигнала вводить в действие сервоклапан (усиление составляет, например: 1 мА : 60 мА).



Рис. 58: Сервоусилитель типа SR1

В зависимости от применения следует различать:

Сервоусилитель SR1

для сервоклапанов или пропорциональных клапанов с сервоклапаном в качестве пилота и с электрической путевой обратной связью главной ступени. Выходной ток составляет $I_{\max} \pm 60$ мА.

Сервоусилитель SR2

для сервоклапанов без электрической обратной связи. Выходной ток составляет $I_{\max} \pm 60$ мА. В соответствии с макс. выходным током, в каждом случае составляющим ± 60 мА, приводятся в действие клапаны системы типа "сопло-заслонка".

Сервоусилитель SR3

для сервоклапанов или пропорциональных клапанов с сервоклапаном в качестве пилота и путевой обратной связью главной ступени. Выходной ток составляет $I_{\max} \pm 700$ мА.

Сервоусилитель SR4

для сервоклапанов без электрической обратной связи. Выходной ток составляет $I_{\max} \pm 700$ мА.

Эти оба усилителя предусматриваются с макс. выходным током I_{\max} , составляющим ± 700 мА для приведения в действие регулирующего клапана, в одноступенчатом исполнении с серводвигателем – для перестановки продольного золотника.

Конструкция сервоусилителя изображается на блок-схеме (рис. 60).

Для энергоснабжения требуется сглаженное напряжение (1), составляющее $\pm(20$ до $28)$ в.

Для этого можно будет, например, применять блок питания от сети NE1S30. Выходное напряжение составляет ± 22 до 30 в сглаженного напряжения, напряжение питания: 220 в/ 50 – 60 гц или 110 в/ 50 – 60 гц.

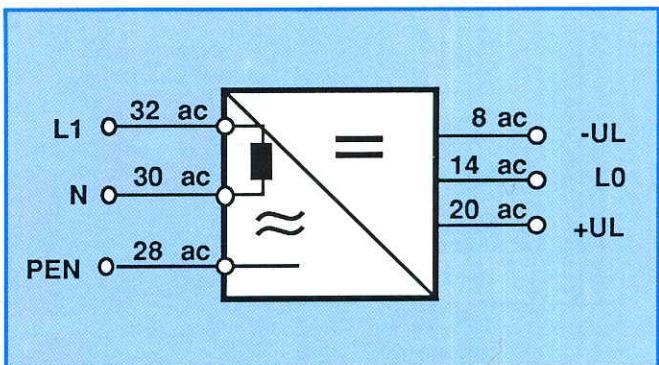


Рис. 59: Блок питания от сети типа NE1S30

На карте усилителя тогда вырабатывается из напряжения питания стабилизированное напряжение (2) в ± 15 в.

Оно предусматривается для

- снабжения внешних потребителей, как, например, потенциометров (с возможностью съема на 12 с ($+15$ в) и на 22 с (-15 в), а также для
- снабжения внутренних операционных усилителей.

Кроме того, следует принципиально различать 2 функциональные группы:

- a) управление для сервоклапана с оконечным каскадом (4) и PI-регулятором (3).

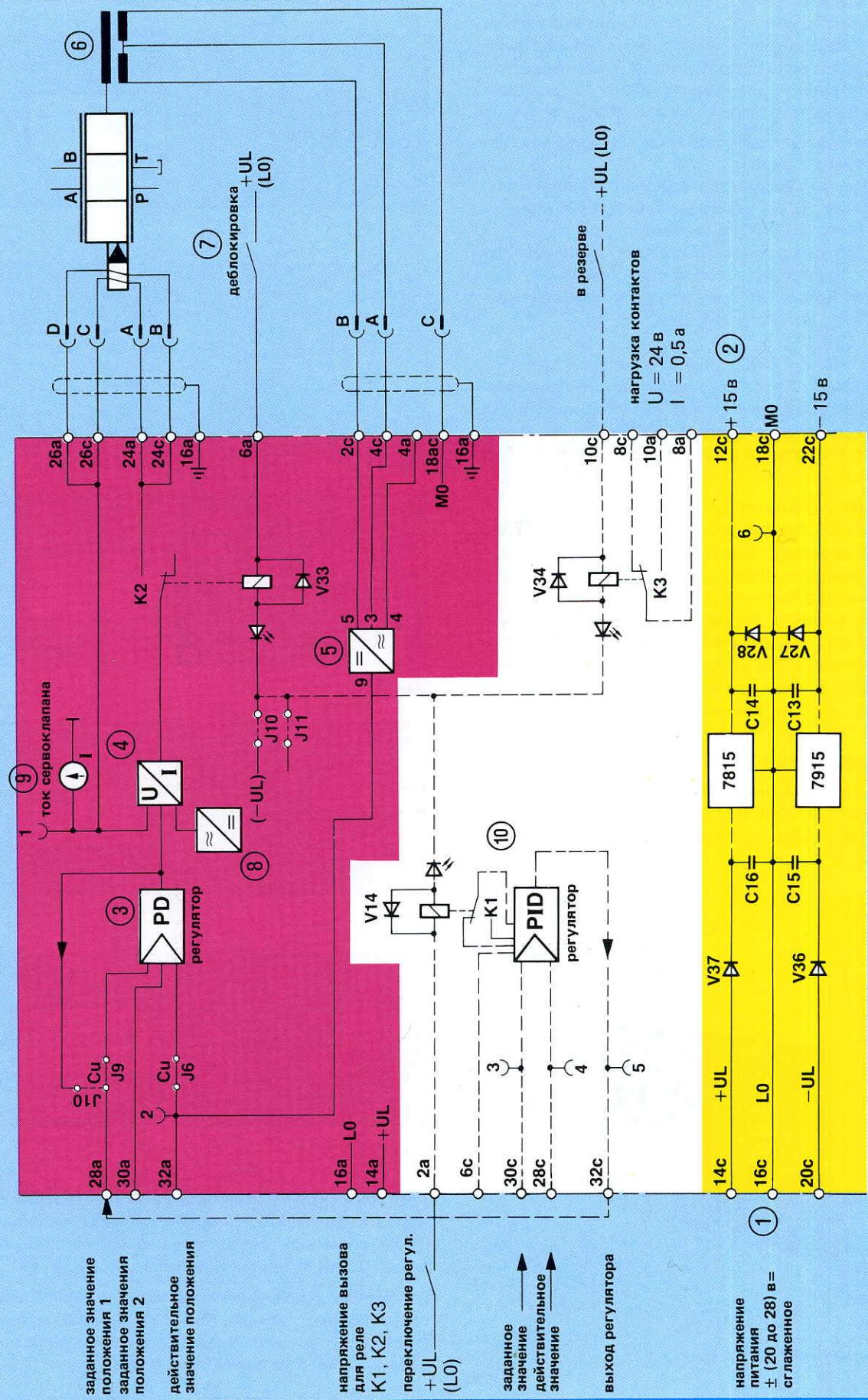
При исполнении без электрической обратной связи (SR2 и SR4) заданное значение подводится непосредственно к PID-регулятору (3).

Если будет применяться карта для клапанов с электрической обратной связью (5), то тогда PD-регулятор будет применяться для самого контура регулирования по положению клапана. Положение золотника сигнализирует индуктивный датчик перемещения, при этом осуществляется снабжение посредством переменного тока, а также преобразование сигнала с помощью осциллятора-демодулятора (5). Датчик перемещения подает в зависимости от положения золотника отличающийся по своей амплитуде сигнал переменного тока. Такой сигнал переменного тока преобразовывает демодулятор (5) в соответствующий сигнал постоянного тока.

(См. к этому также изложения на стр. D 7).

Датчик положения (3) клапана сравнивает теперь заданное значение на 28 а (по выбору на 30 а) с действительным значением золотника (с возможностью измерения в гнезде измерительного прибора (2) или на зажиме 32 а). В зависимости от разности между заданной и действительной величинами получает оконечный каскад (4) от регулятора (3) соответствующий сигнал, который преобразовывает данную разность в пропорциональный ток клапана.

Сигнал от оконечного каскада (4), например, может подключаться в зависимости от давления в системе посредством замыкания контакта на (7) и реле K2. Это является целесообразным для того, чтобы предотвращать разрушение системы "сопло-заслонка" в сервоклапане.



Реле K1 и K3, а также PID-регулятор, представляют собой специальные конструктивные исполнения и при заказах обозначаются посредством номера VT.

Рис. 60: Блок-схема сервоусилителя типа SR1S30

Опасность разрушения или повреждения системы типа "сопло-заслонка" грозит тогда, когда будет приводиться в действие сервоклапан, а в системе не будет в наличии давления. Поэтому целесообразным будет предусматривать деблокировку для сервоклапана посредством реле давления в гидросистеме через вход ба.

С этим входом можно будет связывать еще другие, зависящие от системы условия.

На ток клапана накладывается дополнительно посредством осцилятора (8) пульсирующий ток (20 мАсс) с постоянными частотой (480 Гц) и амплитудой.

Вследствие этого уменьшается гистерезис и повышается устойчивость и порог чувствительности клапана.

Измерительный прибор (9) на передней панели усилителя подает ток клапана в индикации.

б) второй регулятор (PID) (10) для наложенного контура регулирования. Такое оснащение можно предусматривать дополнительно при необходимости. Характеристика регулятора тогда посредством соответствующего монтажа будет достигаться в зависимости от приема сигналов регулятором.

Краткое описание принципа действия:

PID-регулятор (10) сравнивает наложенное на 30с заданное значение (например, заданное значение скорости) с имеющимся в распоряжении на 28с действительным значением (например, действительное значение скорости). В зависимости от разности регулятор подает (на 32а) соответствующий сигнал напряжения. Такой сигнал должен теперь подаваться через 28а управлению для сервоклапана. Реле K 1 служит при этом для отключения с заземлением регулятора (10), с возможностью вызова на зажиме 2а.

2. Универсальная карта (UK2)

Данная карта служит для монтажа любых операционных схем переключений. Она оснащается посредством 3-х двойных операционных усилителей и 5 потенциометров нулевой точки.

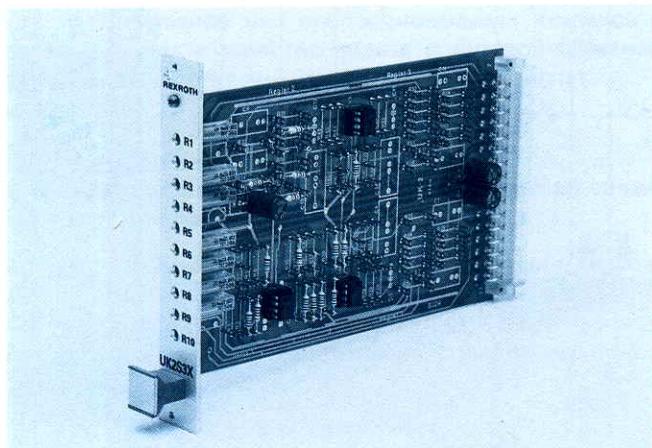


Рис. 61: Универсальная карта UK2

Следующие функции могут предусматриваться:

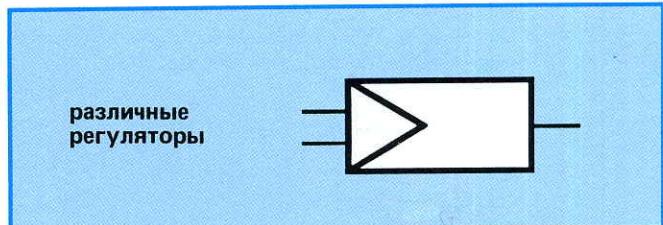


Рис. 62

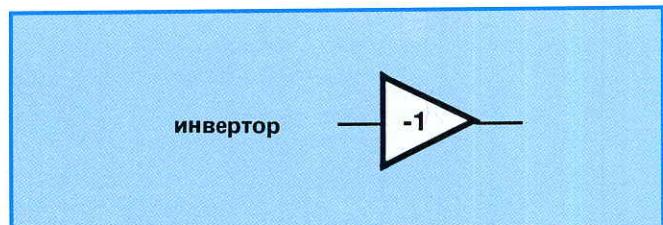


Рис. 63

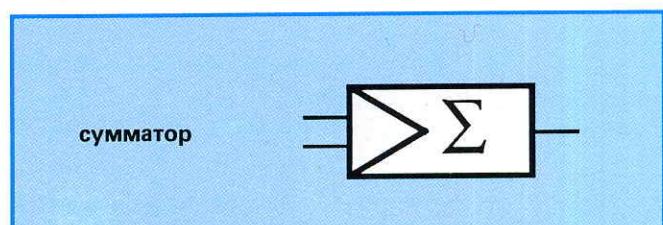


Рис. 64

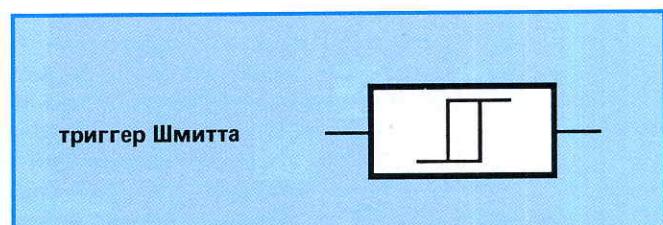


Рис. 65

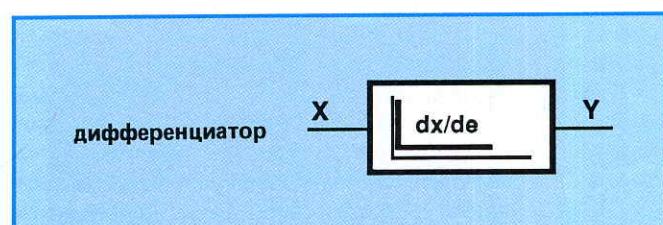
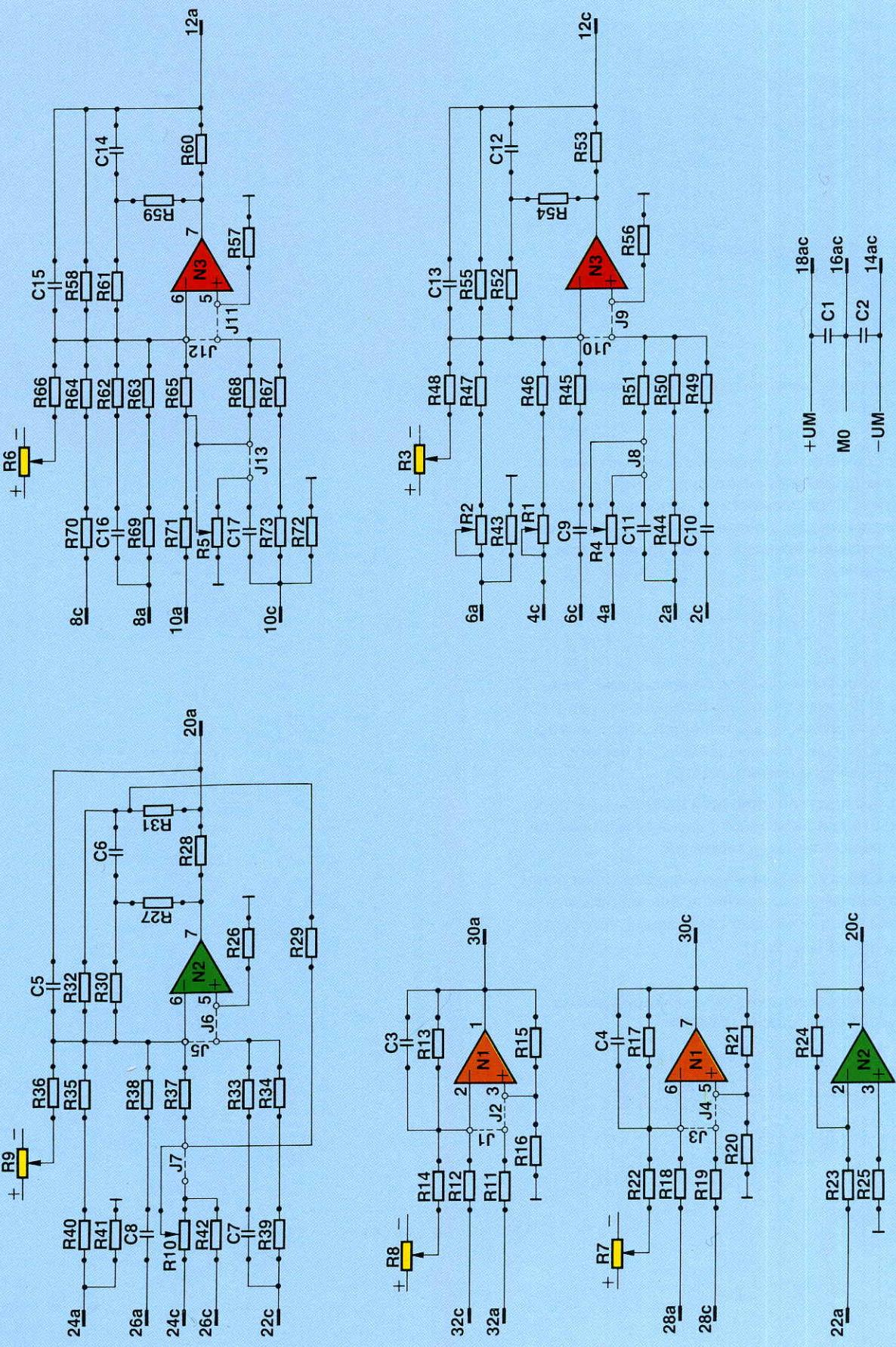


Рис. 66

Электрический монтаж или укомплектование посредством электрических унифицированных узлов посредством монтажных контактов для пайки производится в зависимости от постановки задач.

Снабжение напряжением карты, а вследствие этого и 6 операционных усилителей (3 х двойной операционный усилитель), должно производиться посредством стабилизированного напряжения в ± 15 в.



Основное оснащение: – 3 двойных операционных усилителя N1, N2, N3
– 5 триммеров нулевой точки R3, R6, R7, R8, R9

Рис. 67: Занятость присоединения универсальной карты UK2S30

3. Карта с образователем линейной функции с насыщением RA1

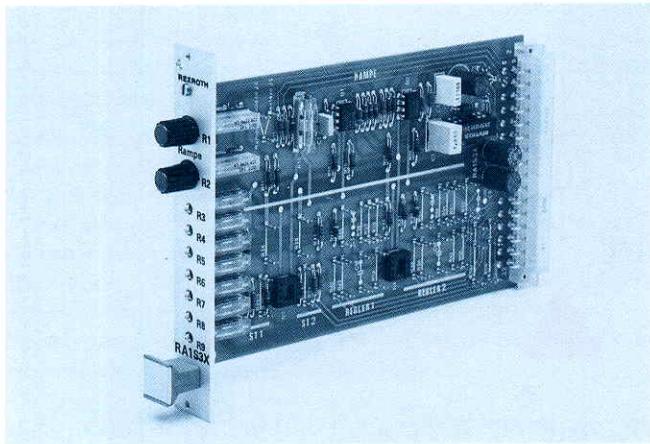


Рис. 68: Образователь линейной функции с насыщением типа RA1S30

В качестве стандартного оснащения предусматривается на этой карте аналоговый образователь линейной функции с насыщением. В зависимости от необходимости может выбираться в каждом случае один из 3-х диапазонов линейной функции времени с насыщением при изменении напряжения в 10 в:

- 0,01 – 0,1 сек.
- 0,1 – 1 сек.
- 1 – 10 сек.

Время функции с насыщением для перемещения "вверх" и "вниз" следует устанавливать на потенциометрах Р1 и Р2 отдельно. Также возможным является установка времени линейной функции с насыщением по выбору посредством периферийного потенциометра.

Кроме такого образователя линейной функции, расположены еще на карте для свободного электрического монтажа 5 других операционных усилителей.

В соответствии с предусматриваемым, возможным оснащением предоставляется возможность для максимально укомплектования с помощью следующих устройств:

- 2 регулятора (Р, PI или PID)
- 1 инвертор
- 2 усилителя схемы переключения с индивидуально регулируемой точкой переключения.

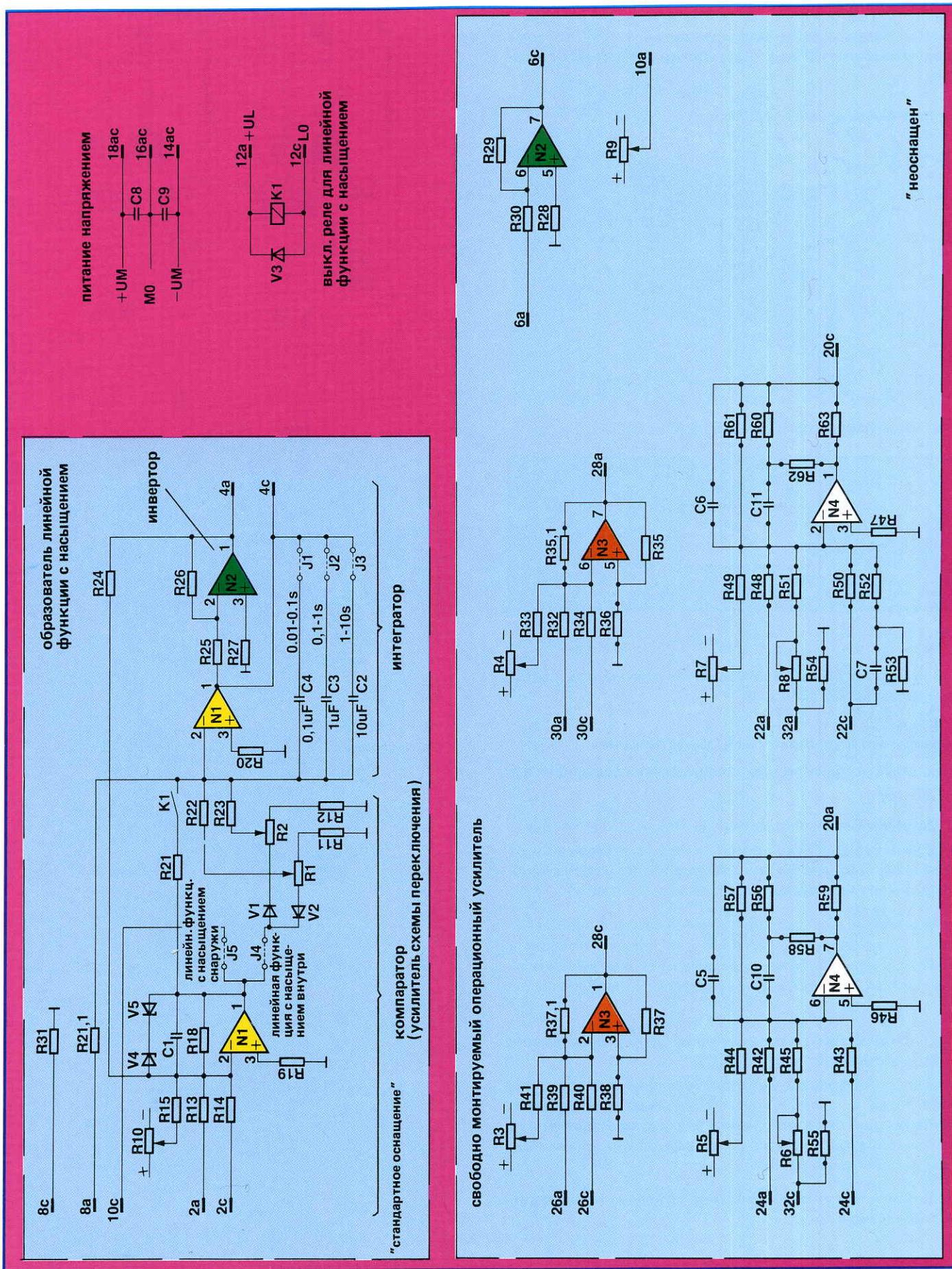


Рис. 69: Занятость присоединения образователя линейной функции с насыщением RA1S30

Наряду с уже описанными картами имеется, естественно, еще большое количество стандартных карт, которые предусматриваются для переработки аналоговых сигналов.

Ограничитель-усилитель BG1

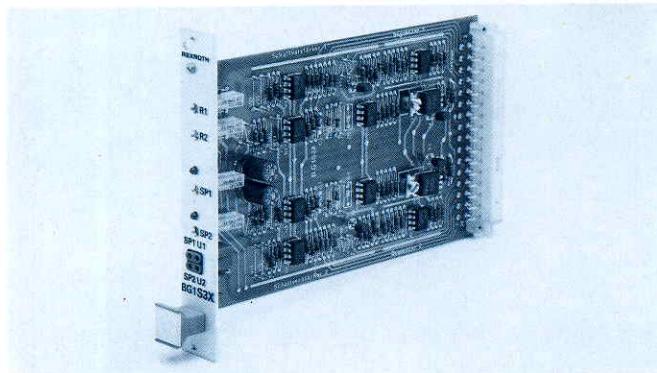


Рис. 70: Ограничитель типа BG1 S30

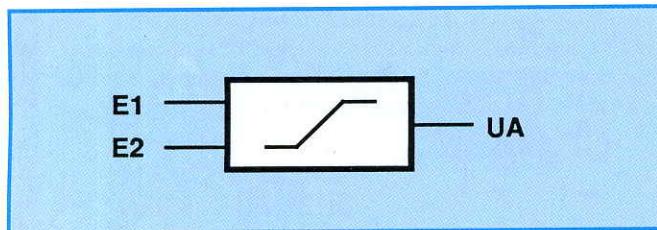


Рис. 71

С помощью ограничителя-усилителя можно, как правило, реализовать 2 функции:

Ограничение и усиление схемы переключения

Отдельные задания можно подразделить следующим образом:

1) Ограничение аналоговых сигналов

При этом можно будет обеспечивать (в зависимости от монтажа) ограничения униполярно (однополюсным образом) или биполярно (двухполюсным образом).

2) Разностные сигналы могут распознаваться при превышении установленных сигналов как помеха, которая в зависимости от монтажа, положительной или отрицательной полярности, побуждает усилитель на выполнение переключений.

3) Усилитель схемы переключения для распознавания абсолютных сигналов.

Входы E1 и E2 действуют суммирующим способом, при этом тогда в каждом случае сравнивается абсолютное значение или инвертированная абсолютная величина (в зависимости от монтажа) с предварительно установленной точкой переключения.

4) Сигналы могут запоминаться; стирание производится посредством Reset.

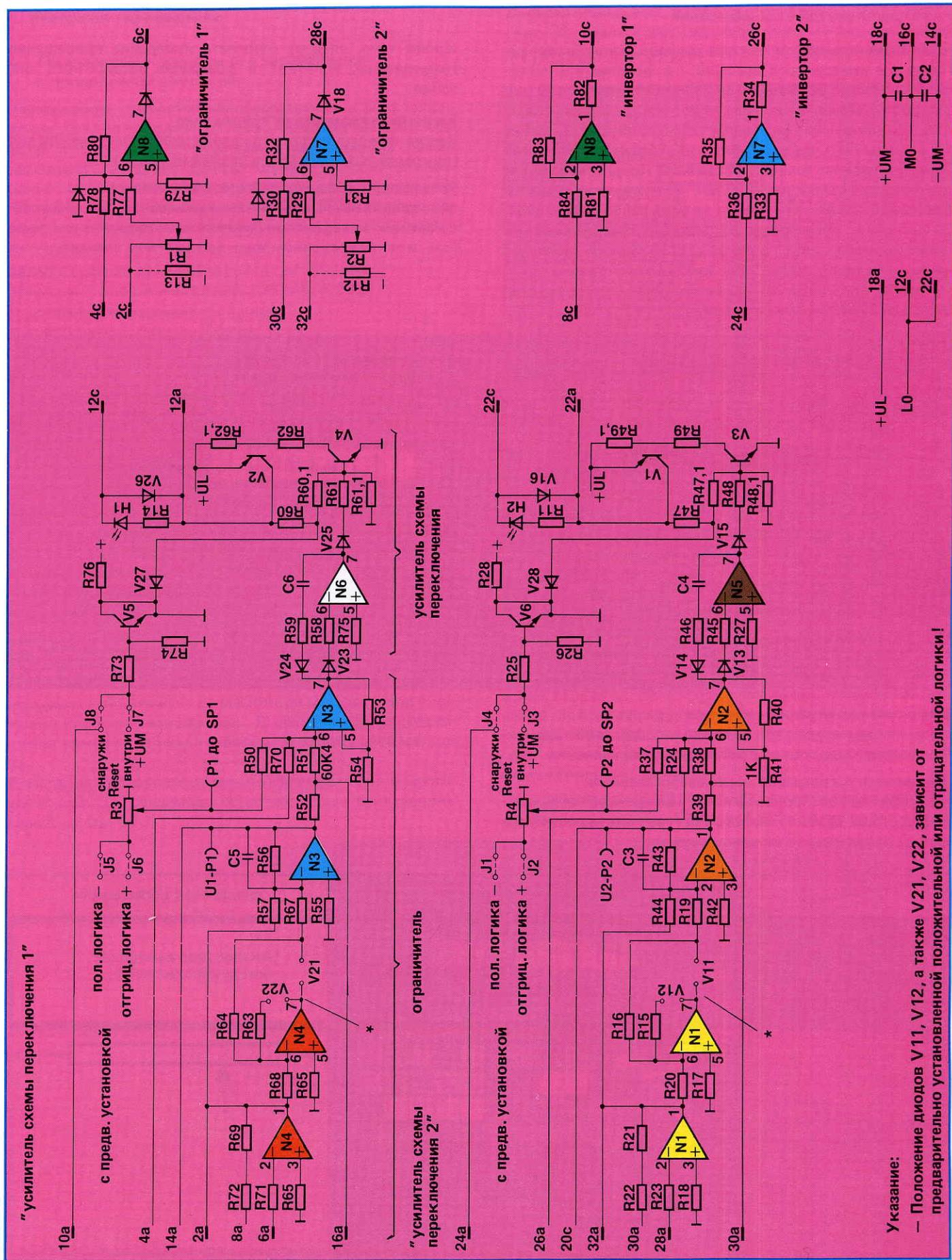


Рис. 72: Занятость присоединения ограничителя типа BG1S30

Регистрация результатов измерений

Немаловажную роль в контуре регулирования играет регистрация измеренного значения, т.е., действительной величины. Нельзя не согласиться с тем обстоятельством, что система не может работать точнее, чем регистрация действительной величины. Измерительные устройства поэтому должны быть по возможности точнее на коэффициент 10, чем желаемая точность установки. Предпосылкой для достижимой точности является, естественно, также характеристика объекта (время запаздывания). Это следует учитывать. Регистрация результатов измерений может производиться либо цифровым способом (с помощью цифр) или аналоговым способом (соответственно).

Объяснения к понятиям подаются ниже с помощью примера для измерения перемещения.

Кроме того, следует различать измерение приращения (измеряемых величин) и измерение абсолютного значения.

Регистрация измерения приращения:

Всегда причисляются к величине величины приращения (инкременты) или вычитываются из нее.

Регистрация измерения абсолютных значений:

непосредственное изображение величины, при цифроабсолютном изображении сначала в кодированном виде (т.е., в закодированном виде посредством знаков).

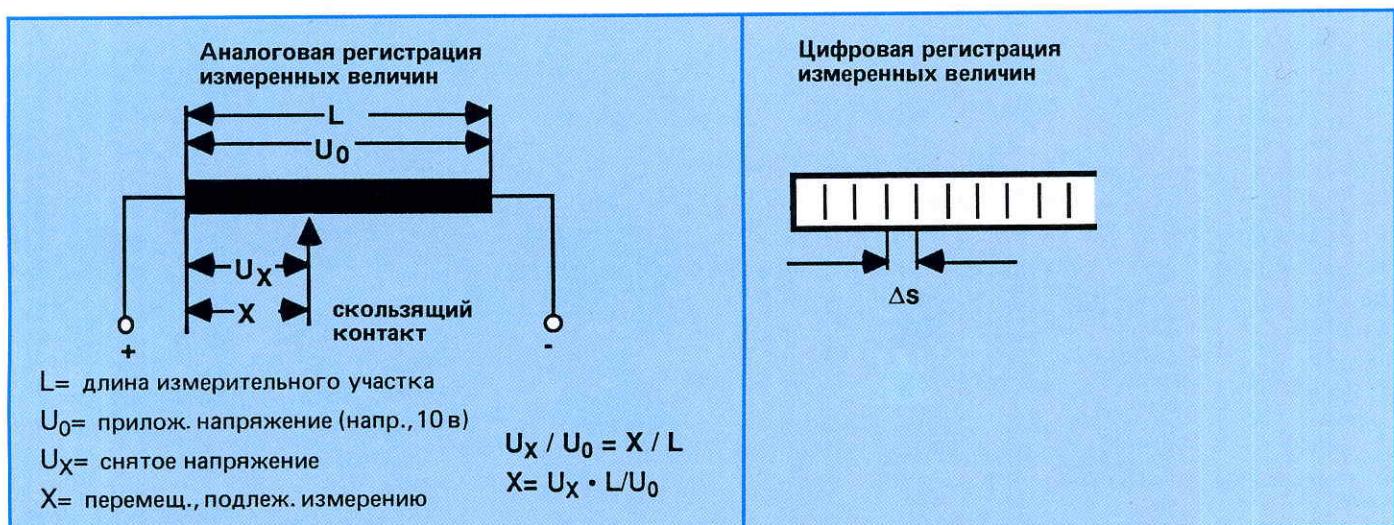


Рис. 73

Цифровая регистрация измеренных величин:
регистрация результатов измерения посредством единичных шагов, поддающихся численному определению.

Аналоговая регистрация измеренных величин:
изображение (воспроизведение) измеренной величины посредством другой, аналоговой (соответствующей) величины (например, в виде напряжения)

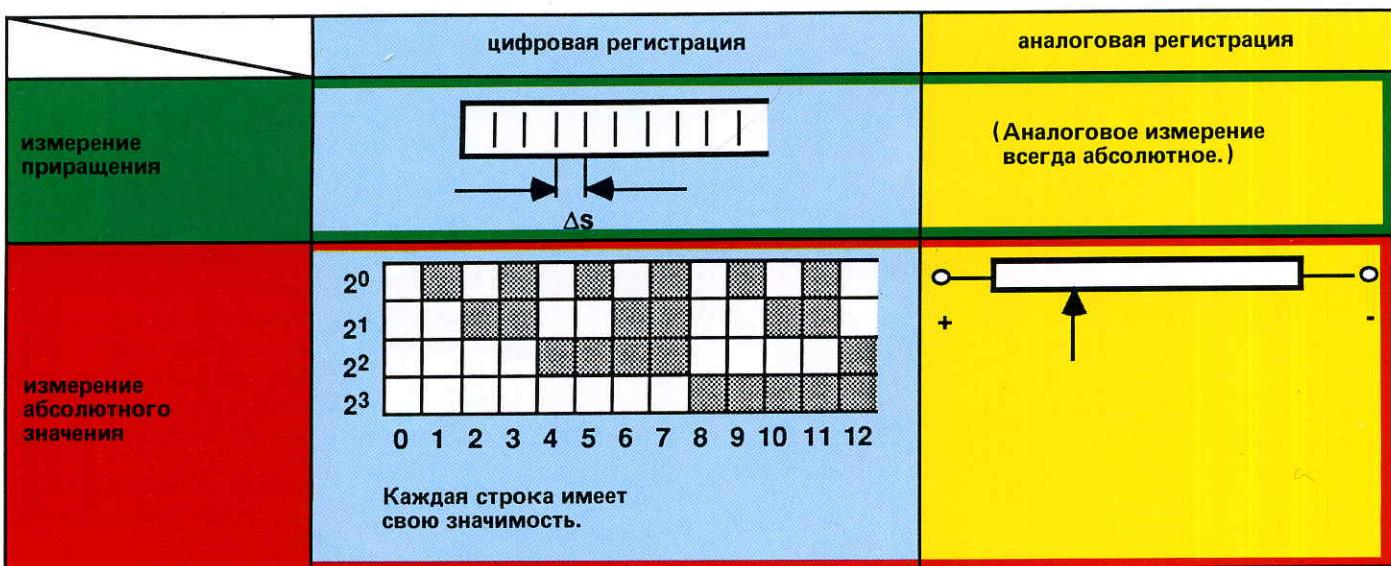


Рис. 74

1. Измерение перемещения

1.1 Потенциометр продольного перемещения с проволочной обмоткой

Перемещение снимается непосредственно в виде напряжения. Сигнал напряжения лежит большей частью в пределах $\pm 10 \text{ в} = 20 \text{ в}$. Наименьший применяемый сигнал составляет 20 мв. Это зависит, однако, от качества снабжения напряжением, т.е., от возникающих колебаний, так что большей частью диапазон 30 ... 50 мв следует положить в основу в качестве могущего быть использованным сигнала.

Целесообразная длина измерения: до 500 мм

Примеры точности измерений: 500 мм = 20 в

→ минимально измеряемая длина

$$X = 500 \text{ (мм)} \cdot 0,02 \text{ (в)}/20 \text{ (в)}$$

$$X = 0,5 \text{ мм}$$

1.2 Потенциометр из токопроводящего пластика

Речь идет здесь о датчике перемещений с сопротивлением цепи коллектора из пластмассы (аналоговое измерение).

Измеряемая длина: примерно до 1000 мм

Разрешающая способность: 0,01 мм

Достигаемая точность также в этом случае зависит от годного к употреблению сигнала, который упоминается в пункте 1.1. Преимущество данного датчика перемещений заключается в незначительном износе и лучшей разрешающей способности сигнала (отсутствие скачков в обмотке).

1.3 Индуктивный датчик перемещений (бесконтактный)

При данной системе измерения передвигается подвижный, круглый стержень из магнитной мягкой стали в катушке или в системе катушек. В зависимости от перемещения изменяется индуктивность измерительной катушки.

Измерение производится при переменном токе и мостовой схеме. (См. описание индуктивного датчика перемещений на стр. D7.).

Дифференциальные катушки с стяжным сердечником (рис. 75) годятся для измерения очень маленьких перемещений. Чувствительность составляет здесь примерно 2 мк.

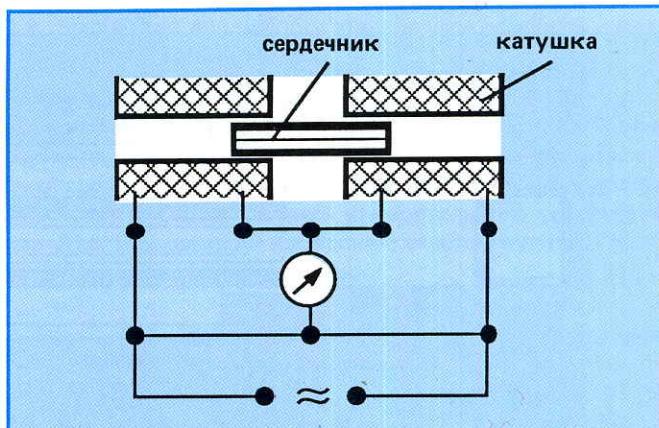


Рис. 75

1.4 Стеклянная шкала (Система измерения длины с ЧПУ, фотоэлектрический метод измерения)

Измерение производится дискретно-инкрементным способом, при этом фотоэлектрически ощупывается нанесенное на масштабной линейке деление решетки (рис. 76). При передвижении масштабной линейки по отношению к опрашивающему устройству фотоэлементы вырабатывают периодические, почти синусоидальные сигналы. После этого производится оценка таких сигналов в электронной системе.

Поскольку после выключения системы измерения или при прекращении подачи тока теряется в общем согласование величины измерения с позицией, масштабная линейка предусматривается дополнительно с одной или несколькими метками отсчета. При перемещении через одну из таких меток вырабатывается дополнительный сигнал (опорный сигнал).

Измеряемая длина: 10 мм до 30 м (в зависим. от системы)
Точность измерения: $\pm 1 \text{ мк}$ до $\pm 10 \text{ мк}$ (в зависим. от сист.)

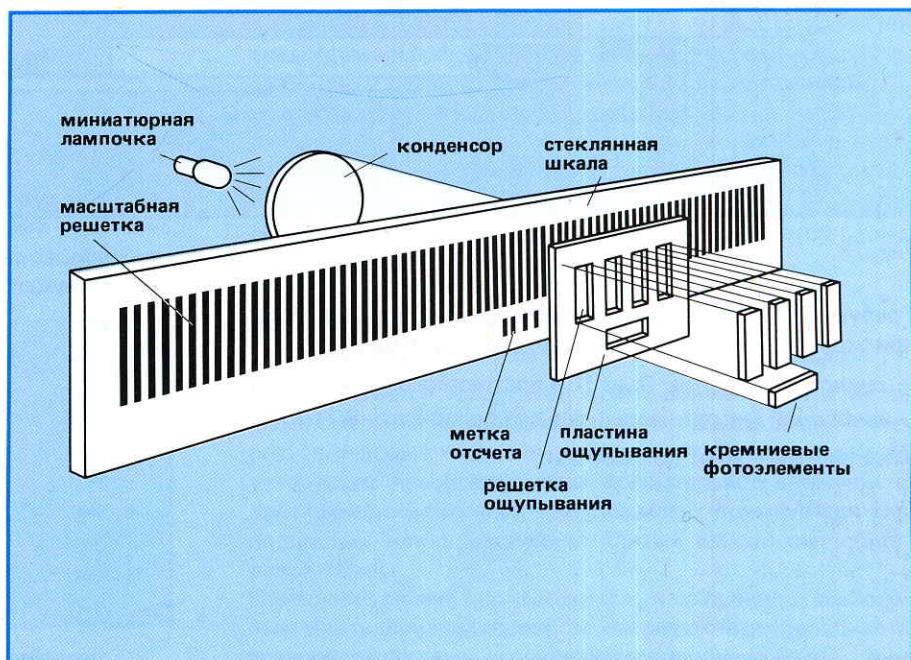


Рис. 76: Стеклянная шкала

**1.5 Индуктивный датчик перемещений,
интегрированный в гидроцилиндре**

Данная система измерения перемещений встраивается в напорную камеру гидроцилиндра.

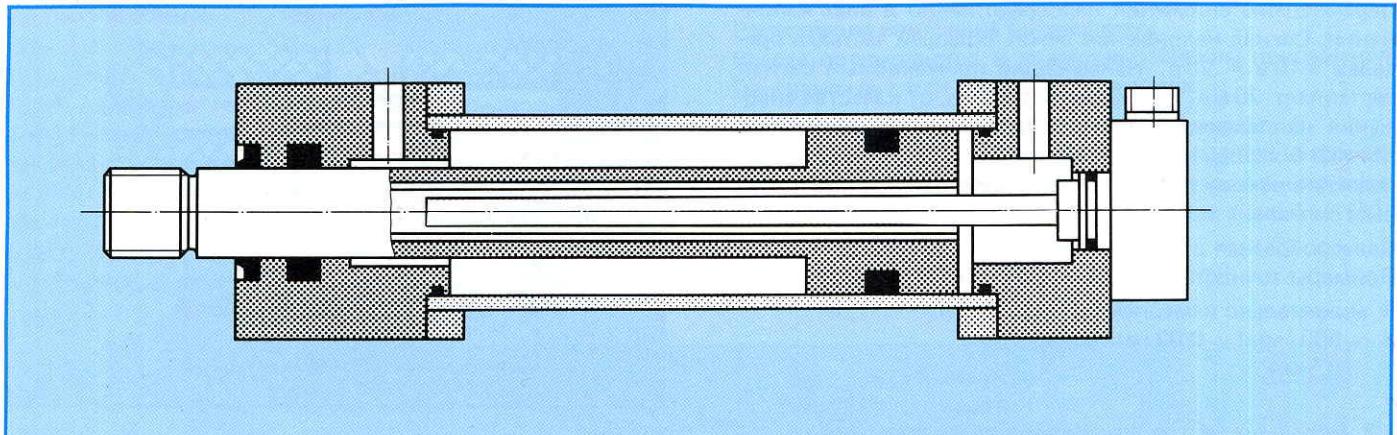


Рис. 77

В зависимости от конструктивного ряда цилиндра и диаметра поршня возможны измерения длины до 1000 мм.
Снабжение напряжением: 2 до 5 в

**1.6 Ультразвуковой датчик перемещений,
интегрированный в гидроцилиндре**

Измеренное, абсолютное значение (перемещение) может вызываться любое число раз, не искажаясь в результате простоев, исчезновения напряжения сети или других помех.

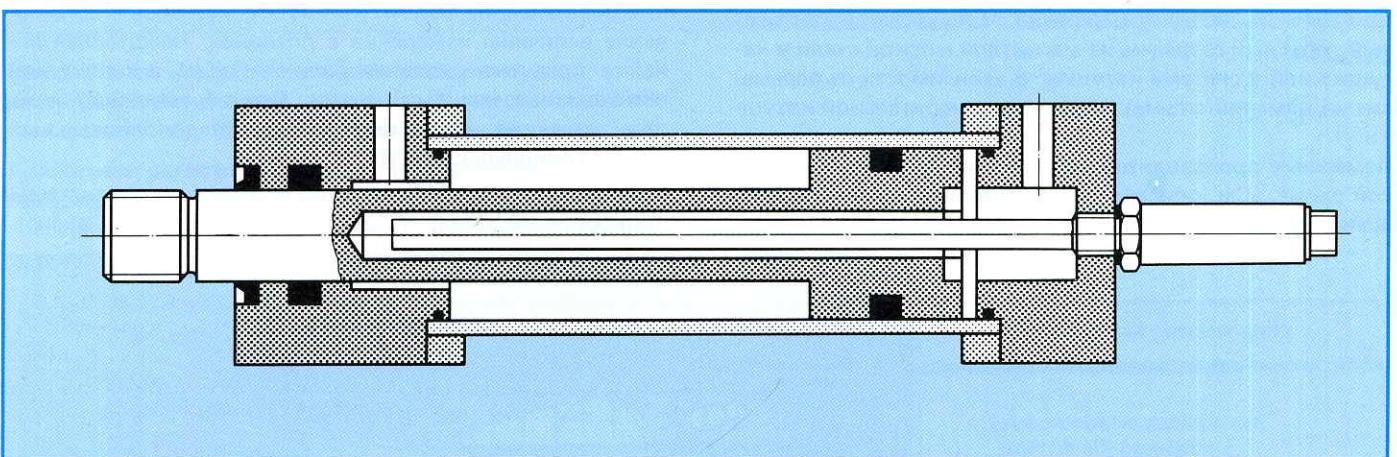


Рис. 78

Требуемая точность позиционирования определяется при этом на основании вида выходного сигнала:

- аналоговый метод: 0 до 10 в постоянного тока
- цифровой метод: разрешающая способность 0,1 мм

Измеряемая длина: до 2500 мм

1.7 Лазерная система измерений

Данная система служит для бесконтактного определения размеров деталей или позиций кромок.

Блок передающего устройства вырабатывает узкую ленту из лазерных лучей, которые концентрируются в блоке приемного устройства на детекторе. Поскольку световая полоса состоит из тонкого, быстро параллельно смещающегося луча, отбрасывает деталь, установленную на измерительном стенде, ограниченную во времени тенью. Приемное устройство определяет временное расстояние боковых сторон такой тени и передает такие данные к микропроцессорному блоку обработки данных, который на основании этих данных определяет, например, габариты деталей.

Примеры для применения системы измерений:

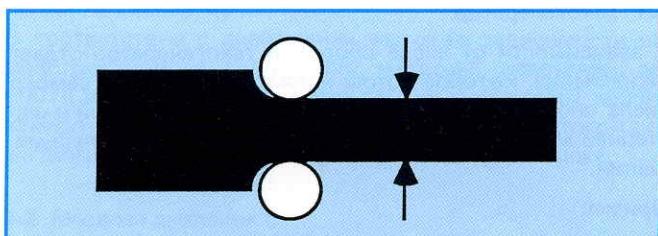


Рис. 79: Измерение расстояний между валками

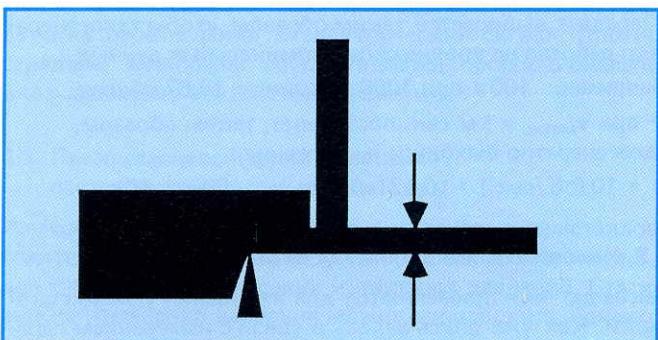


Рис. 80: Определение позиции кромок (позиции инструмента), взятой по отношению к опорной кромке

Точность измерения: начиная с $\pm 0,25 \text{ мк}$

Измеряется абсолютная величина и отклонение от名义ного размера.

1.8 Тензорезисторы (DMS)

Тензорезисторы — это чувствительные элементы, у которых в зависимости от нагрузки, вызывающей удлинение, изменяется длина и поперечное сечение проволоки или фольги. Вследствие этого изменяется также сопротивление.

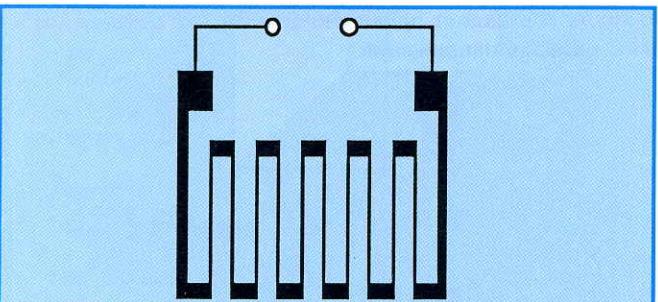


Рис. 81: Тензорезисторы из металлической фольги

Общепринятая длина тензорезисторов составляет 3 ... 60 мм. С помощью таких тензорезисторов можно измерять изменения длины примерно до $\pm 5\%$ от их длины.

1.9 Устройство для преобразования угла поворота в код, датчик угла поворота

Также с помощью устройства для преобразования угла поворота в код предоставляется возможность для измерения перемещения. Перемещение при этом изображается посредством зубчатой рейки и шестерни, шпинделя и гайки или зубчатого колеса измерительного устройства как угла. Подлежащий измерению участок пути при этом не ограничивается теоретически.

2. Измерение угла

2.1 Кольцевой потенциометр

Угол поворота изображается как аналоговая величина (напряжение). Потенциометр может быть с проволочной обмоткой или в виде резистивного элемента из токопроводящего пластика.

Полезный угол может доходить примерно до 350° , макс. скорость перестановки — до 10 000 об./мин.

Потенциометр снабжается питанием (целесообразным будет из выхода операционного усилителя) с помощью $\pm 10 \text{ в}$.

Минимальный угол: $\omega = 350^\circ \cdot 0,02 \text{ в} / 20 \text{ в} = 0,35^\circ$ (при наименьшем,годном для использования сигнале в 20 мв).

2.2 Накопительное устройство для преобразования угла поворота в код

Накопительное устройство для преобразования угла поворота в код выдает на один поворот определенное количество импульсов — это мера для произведенного пути (угла или участка).

На валу закрепляется кодирующий диск. Такой диск подразделяется на отдельные сегменты, которые попаременно являются светопроницаемыми или светонепроницаемыми. Опрашивание сегментов осуществляется посредством инфракрасных фотоэлектрических устройств. Поскольку накопительные устройства для преобразования угла поворота в код непрерывно отдают импульсы, независимо от количества поворота, могут без всяких затруднений регистрироваться также большие перемещения.

Напряжение питания: большей частью + 5 в постоянн. тока
Самый малый шаг: 10 мк

2.3 Цифровое абсолютное устройство для преобразования угла поворота в код (Digitiser)

Вышеуказанное устройство может применяться в системах измерения и управления, в которых должны измеряться угловые и линейные смещения. При этом данное устройство преобразует вращательное движение в электрические сигналы, которые могут применяться для индикации или управления. Самый малый шаг составляет 10 мк.

Измерение может производиться, как правило, аналоговым или цифровым способом. Разрешающая способность аналоговой системы ограничивается в общем до 10^{-3} или

10^{-4} диапазона измерения, по сравнению с такой системой цифровая система измерения может достигать намного более высокой точности измерения. Кроме того здесь однозначные показания и предоставляется возможность легко производить дальнейшую обработку.

В связи с этим следует различать 2 вида цифровых устройств для преобразования угла поворота в код: инкрементные (накопительные) и абсолютные. Инкрементные или накопительные устройства (импульсный датчик) вырабатывают периодические сигналы и требуют для образования величины измерения запоминающее устройство (реверсивный счетчик), емкость которого определяет диапазон измерения. Ошибки измерения, мешающие импульсы и подобные этому воздействия вызывают искажения величины измерения и не могут исправляться. При прекращении работы или исчезновении напряжения в сети стирается запоминающее устройство и теряется величина измерения.

По сравнению с накопительными системами, цифровые абсолютные устройства для преобразования угла поворота в код устроены как кодированная система измерения. Здесь каждому угловому шагу назначается абсолютно определенное численное значение, которое считывается посредством опрашивающих элементов и представляет собой численное значение. Это значит, что величина измерения образуется не с помощью вспомогательных приборов, а она изображается в неизменном виде как кодовая конфигурация. Такая абсолютная величина предоставляется в распоряжение без потерь времени для дальнейшей обработки и ее нельзя искажать под воздействием прерывания работы или в результате исчезновения напряжения сети. Здесь, таким образом, обозначается каждая позиция в пространстве (угол поворота) с помощью кодового слова, которое может вызываться

стигаться разрешающая способность до 4000 сигналов (информаций) на оборот.

2.4 Поворотные регуляторы приращения

Такие регуляторы применяются для измерения углов поворота и угловых скоростей.

Исполнение со стеклянной шкалой соответствует системе, описанной при измерении длин в разделе 1.4. В зависимости от выбранного датчика угла поворота предоставляется возможность для минимальной разрешающей способности, доходящей до 100 000 шагов измерения на один поворот.

3. Измерение скорости

3.1 Тахогенератор

В зависимости от числа оборотов тахогенератор отдает напряжение, которое потом является мерой для самого числа оборотов или в сочетании с зубчатой рейкой и шестерней может преобразовываться как скорость перемещения.

Пример:

Скорость перемещения $v_{\max} = 1 \text{ м/сек.}$

Передача тахогенератора к цилиндру:

1 м хода цилиндра = 10 оборотов тахогенератора
(Передача выбирается таким образом, чтобы тахогенератор работал на уровне своих номинальных данных.) .

Например: 100 в при 1000 об./мин. = 16,67 об./сек.

→ при $v_{\max} = 1 \text{ м/сек.}$ поставляет, таким образом, тахогенератор выходное напряжение

$$U = 10(\text{об./сек.}) / 16,67(\text{об./сек.}) \cdot 100 \text{ в} = 60 \text{ в}$$

3.2 Накопительные датчики угла поворота

Такие датчики применяются для измерения угловой скорости. Как уже описывалось в связи с измерением перемещения в разделе 1.9 (см. к этому также разделы 2.4 и 1.4), применяются они также в сочетании с зубчатой рейкой/шестерней, шпинделем/гайкой, ходовым винтом или зубчатым колесом измерительного устройства для измерений скорости. При этом осуществляется обработка приращений на единицу времени.

3.3 Дифференцирование сигнала перемещения

Другой возможностью для преобразования скорости в сигнал является дифференцирование перемещения.

Аналоговый сигнал перемещения выдается посредством дифференцирующего устройства (D-звено) как сигнал скорости.

Точность составляет примерно 2 – 3%, по отношению к макс. размаху напряжения.

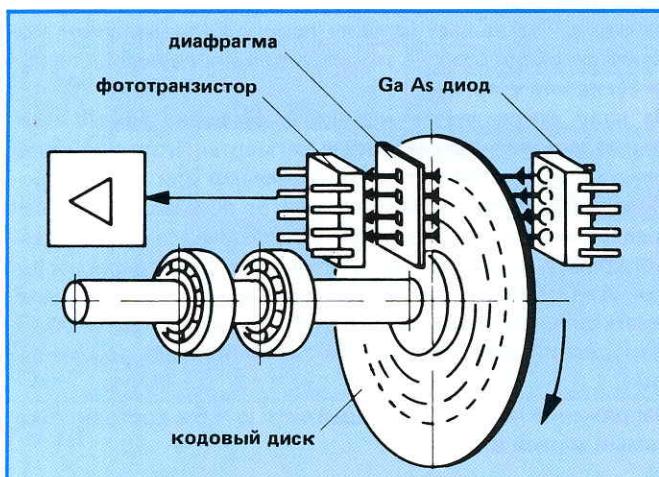


Рис. 82

любое количество раз, не искажая из-за этого информационное содержание.

Принцип действия изображается на рис. 82. Ротационный ведущий вал несет кодовый диск, который расположен напротив диска диафрагмы. На кодовом диске размещаются светлые и темные поля.

Подаваемые диодом в качестве излучателя света сигналы обрабатываются фототранзистором как приемником. В зависимости от конструктивного исполнения может до-

4. Измерение давления, измерение силы

4.1 Датчик давления с месдозой давления (DMS)

При таком принципе происходит преобразование давлений в электрические сигналы с помощью месдоз, которые, например, напыливаются или наклеиваются в виде тонкой пленки на измеряемую деталь (например, на мембрану).

Диапазон измерения лежит в пределах, начиная с 0 и кончая свыше 1000 бар. Точность колеблется в зависимости от конечного значения диапазона измерения в пределах $\pm 0,2\% - \pm 0,5\%$ (по отношению к конечному значению диапазона измерения).

В принципе, естественно, можно производить также косвенное измерение силы с помощью каждого измерения давления, взятого по отношению к эффективной поверхности, например, на цилиндре.

В соответствии с диапазоном частот (в зависимости от конструктивного исполнения месдозы, например, до 500 гц или, например, до нескольких тысяч герц) могут измеряться изменения давлений, а вследствие этого также пики давлений, в диапазоне миллисекунд и ниже.

4.2 Месдоза давления с индуктивным датчиком перемещения

Упругий изгиб мембранны под воздействием давления можно преобразовать также посредством индуктивного датчика перемещения в электрический сигнал. Прогиб середины мембрани осуществляется пропорционально оказывающему воздействию давлению.

4.3 Пьезокварцевый датчик давления, пьезоэлектрические месдозы силы

Измерения давления с помощью кварцевых кристаллов годятся в особенности для динамических процессов, т.е., для регистрации пульсации и пиковых давлений. Статические измерения давления можно производить, однако, только на протяжении нескольких минут.

Принцип действия основан на пьезоэлектрическом эффекте. Если будет действовать сила на кварцевый кри-

сталл в направлении его трех осей, то образуется на поверхности, лежащей вертикально к нагружаемой оси, электрический заряд. Этот заряд прямо пропорционален действующей силе. Таким образом полученное электрическое напряжение усиливается теперь и преобразуется в силу или величину давления. Поскольку напряжение возникает без существенного замедления изменения силы или давления, то указанные в начале изложения датчики измерения в особенности хорошо годятся для динамических измерений.

Диапазон частот расположен в пределах $10 - 2 \cdot 10^5$ гц.

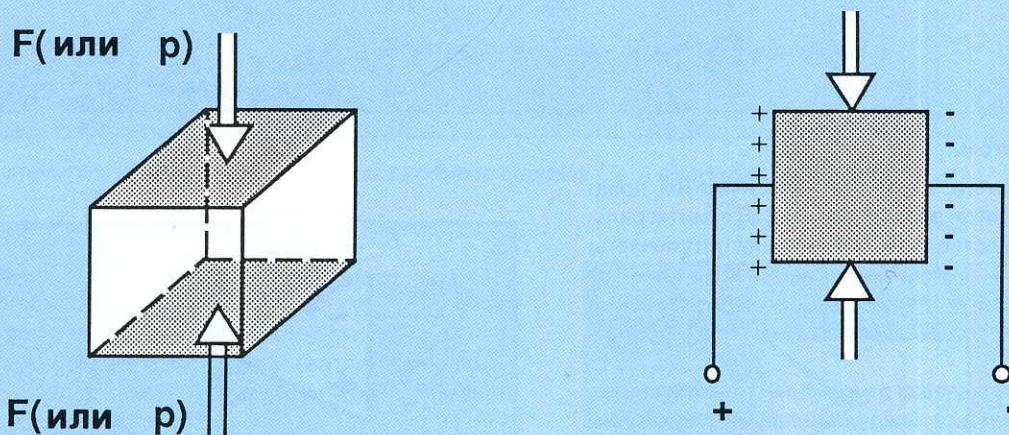


Рис. 83

Приложение

В последующем будет описываться вкратце самые важные электронные функциональные узлы, с которыми часто приходится сталкиваться в связи с управлениями и в особенности в контурах регулирования.

Потенциометр

Потенциометр — это омическое сопротивление с переменным отводом от резистора (скользящий контакт). Если приложить потенциометр его концами, например, к 0 в и к 10 в, то на скользящем контакте можно будет отводить любое промежуточное значение в пределах 0 — 10 в.

Пример:

При перестановке на 60% можно отводить на скользящем контакте напряжение в 6 в.

Потенциометр применяется для

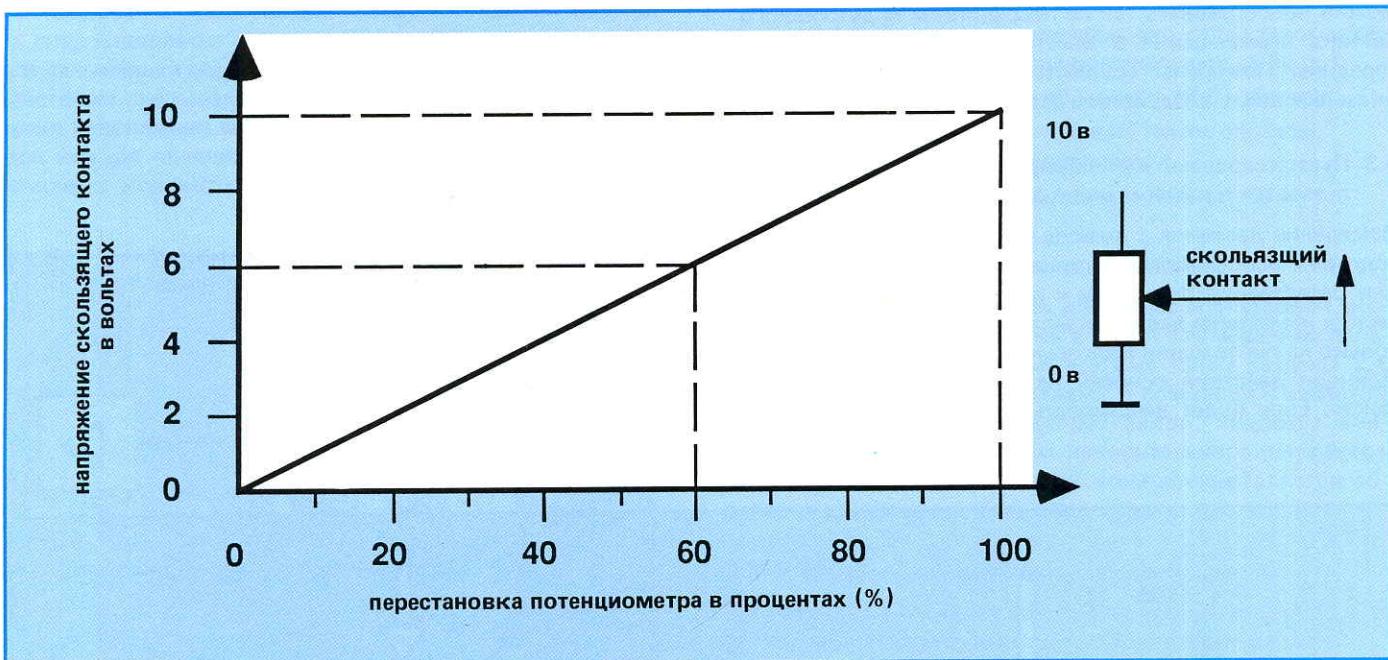
- установки заданного значения

Это значит, что величина отведенного напряжения соответствует желаемому действительному значению как перемещение, сила или, например, давление.

- регистрации действительного значения

Это значит, что отведенное значение напряжения представляет собой перемещение, а вследствие этого позицию.

Рис. 84: Потенциометр



Операционный усилитель

Операционный усилитель является классическим представителем техники интегральных схем (IC = интегральная схема). Он представляет собой многоступенчатый аналоговый усилитель с очень высоким коэффициентом усиления, и посредством наружного укомплектования для него выбираются параметры для самых разнообразных заданий.

Посредством соответствующего укомплектования могут, например, реализоваться следующие функциональные узлы: образователь линейной функции с насыщением, усилитель, инвертирующее устройство, суммирующее устройство, дифференцирующее устройство, ограничитель, различные регуляторы и т.д.

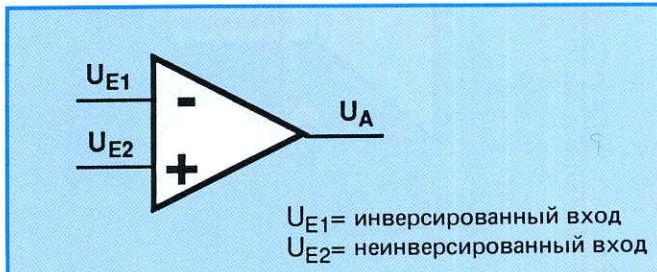


Рис. 85: Символ операционного усилителя

Линейная функция с насыщением, образователь линейной функции с насыщением

Образователь линейной функции с насыщением образует из скачкообразного изменения заданного значения, как входного сигнала, медленно нарастающий или падающий сигнал. Изменение выходного сигнала во времени можно устанавливать посредством потенциометра.

Принцип действия образователя линейной функции с насыщением основан на том, что конденсатор С с запаздыванием заряжается, благодаря этому выходное напряжение медленно и непрерывно изменяется при скачкообразном входном сигнале.

На нарастание выходного напряжения можно оказывать воздействие посредством переменного сопротивления R, а вследствие этого можно определять скорость зарядки конденсатора.

Установленное время линейной функции с насыщением берется всегда по отношению к заданному значению, составляющему 100% (входной скачкообразный сигнал).

Пример:

Установленное время линейной функции с насыщением макс. в 5 сек. при заданном значении в 100%. Если, например, будет установлено заданное значение на 60%, то уже по истечении примерно 3-х секунд будет достигаться заданное значение.

Так можно будет предварительно задавать посредством образователя линейной функции с насыщением, например, в контуре регулирования скорости нарастание скорости (ускорение) или в контуре регулирования положения скорость. Установленное время линейной функции с насыщением соответствует в контуре регулирования положения скорости перемещения цилиндра, поскольку в течение этого времени будет достигаться предварительно заданная позиция.

Ограничитель

Приложенное входное напряжение ограничивается на предварительно заданную величину как выходное напряже-

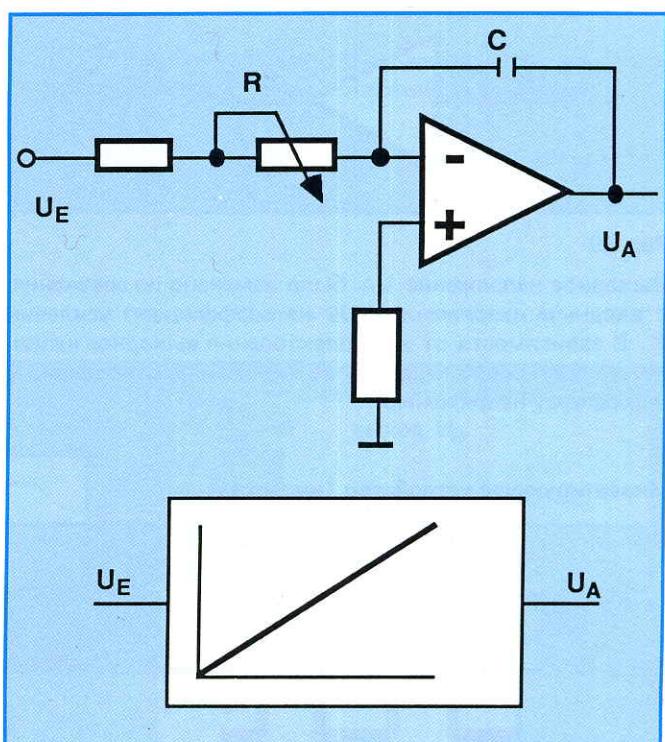


Рис. 86: Образователь линейной функции с насыщением

жение. Ограничение осуществляется посредством обоих присоединений 1 (ограничение напряжений, которые меньше "0") и 2 (ограничение напряжений, которые больше "0").

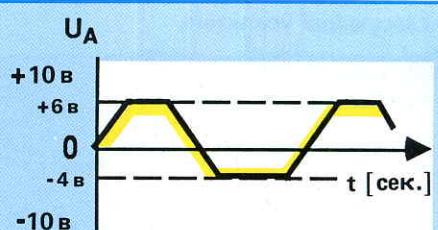
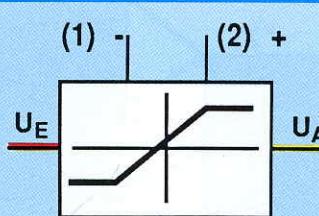
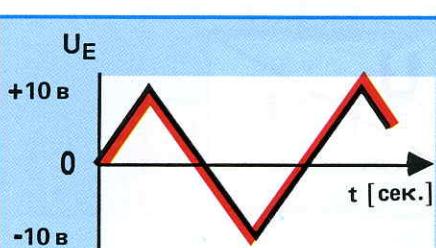


Рис. 87: Ограничитель. Пример прохождения входного сигнала U_E и входного сигнала U_A

Регулятор

Регулятором называется прибор или узел конструкции, который производит основную обработку отклонения от номинального значения. Регулятор, таким образом, сравнивает заданную величину с действительной величиной и подает в зависимости от разности обоих значений соответствующий сигнал.

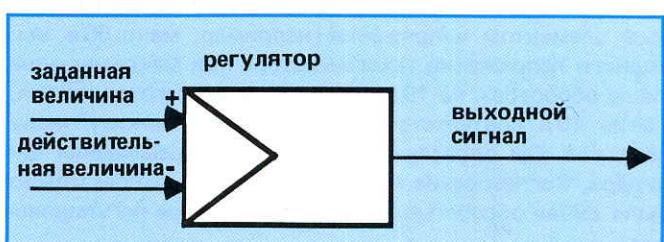


Рис. 88

Усилитель

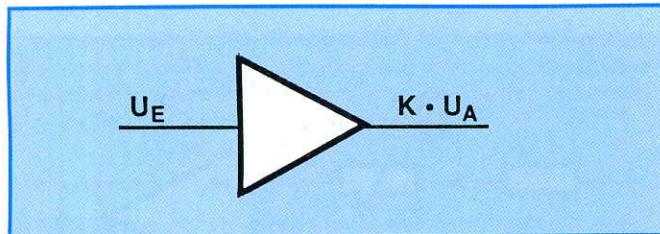


Рис. 89

Выходное напряжение U_A было изменено по сравнению с входным напряжением U_E на коэффициент усиления K . В зависимости от укомплектования выходное напряжение претерпело перемену полярности по отношению к выходному напряжению.

Инвертирующее устройство (инвертор)

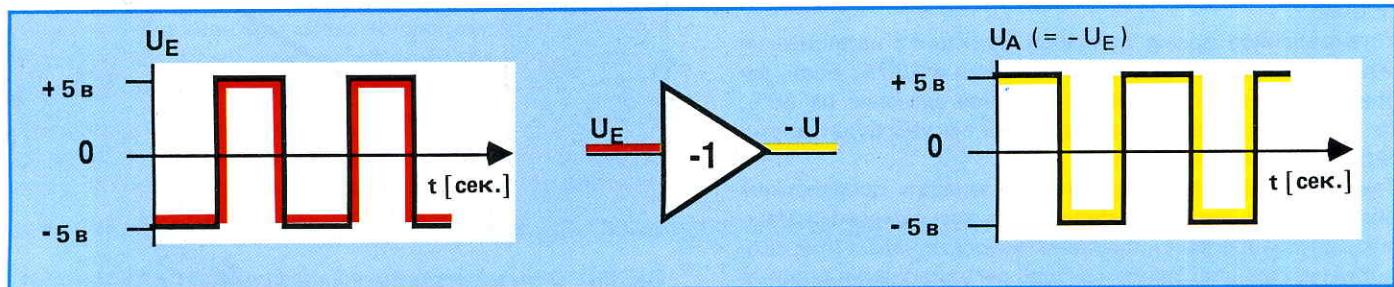


Рис. 90

Инвертирующее устройство вызывает перемену полярности входного напряжения.

Напр.: $U_E = +5$ в, вследст. этого на выходе $U_E = -5$ в, или $U_E = -3$ в, вследст. этого на выходе $U_E = +3$ в

Такое устройство в результате этого представляет собой усилитель с коэффициентом усиления -1 .

Усилитель мощности

Входное напряжение U_E преобразовывается в усилителе мощности в выходной ток, который пропорционален U_E

Например: U_E 0 до 10 в, 1 в мА $\hat{=}$ ток магнита

Согласующий усилитель

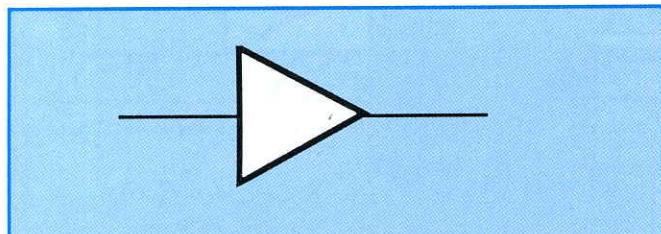


Рис. 91

С помощью согласующего усилителя осуществляется уравновешивание напряжения отдаваемого измерительным элементом напряжения (например, макс. 60 в выходного напряжения тахогенератора при максимальном числе оборотов) на 10 в после согласующего усилителя. Такие 10 в соответствуют тогда определенному числу оборотов или определенной скорости перемещения цилиндра. Согласование требуется для того, чтобы можно было снова обрабатывать сигнал в контуре регулирования.

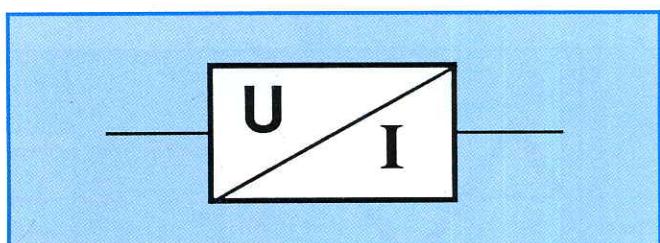


Рис. 92

Триггеры Шмитта (ST)

Триггеры Шмитта применяются как пороговые переключатели. На обеих диаграммах для входного и выходного сигналов наглядно изображается их функция. Если U_E будет превышать определенное значение (U_1), то тогда U_A перескакивает с одного ограничительного значения на другое. Соответственно этому перескакивает выходной сигнал на прежнее значение обратно (например, на "0"), как только U_E будет ниже определенного значения (U_2).

Вследствие этого в распоряжение предоставляются две четко определенные точки переключения и при проме-

жуточных значениях не производится никакого переключения.

Если, например, возникнут в подаче сигналов колебания в одной системе, то такие колебания устраняются.

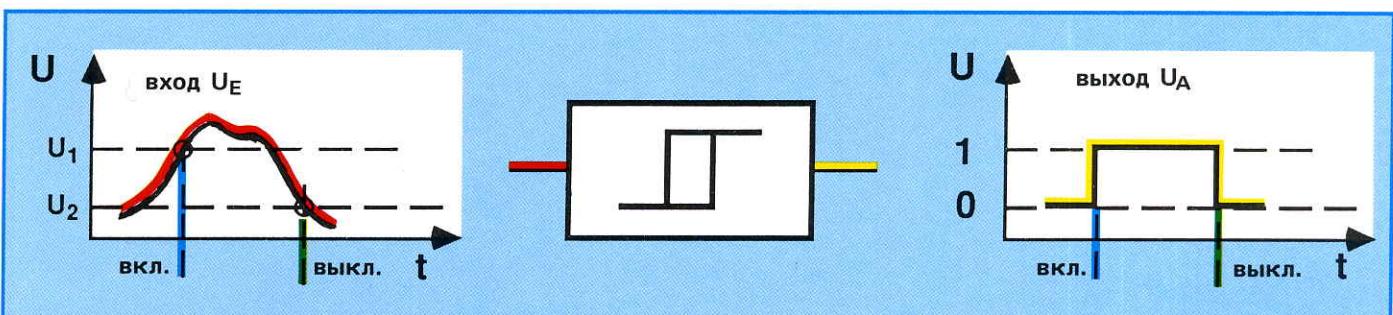


Рис. 93

Суммирующее устройство (сумматор)

Посредством суммирующего устройства можно складывать два сигнала, снабженных знаками. При этом следует

следить за тем, чтобы инвертировался результирующий выходной сигнал.

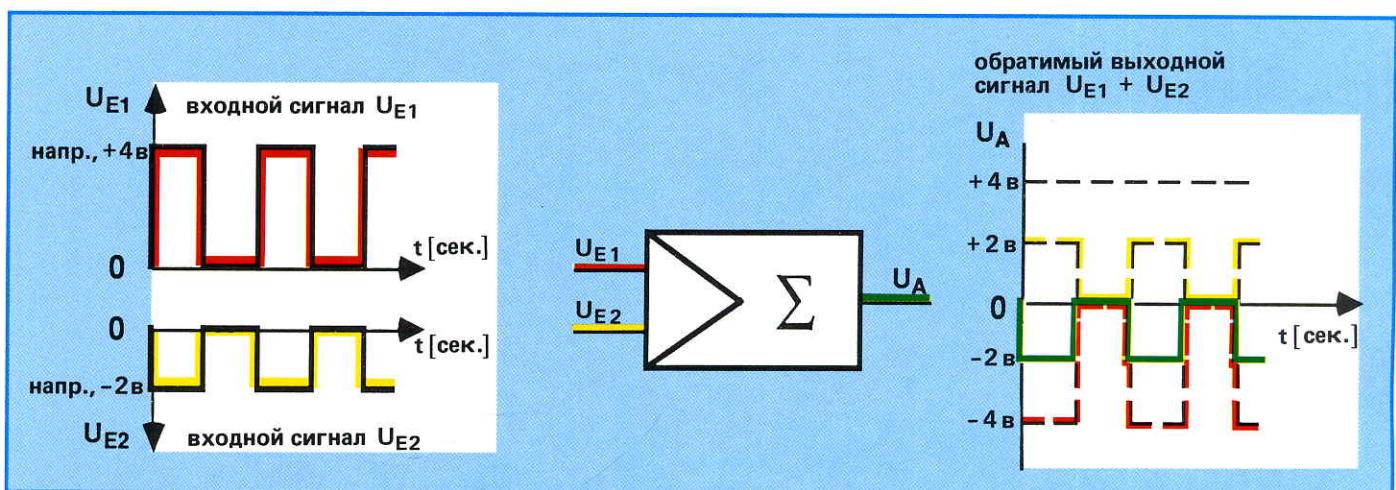


Рис. 94

Для заметок

Глава J

Влияние динамических свойств сервоклапана на контур регулирования

Дитер Кретц

Глава J

Влияние динамических свойств сервоклапана на контур регулирования

Дитер Кретц

Предисловие

Целью последующих изложений по технике регулирования является:
способствовать пониманию взаимодействий в контуре регулирования и помочь давать оценку с некоторой точностью ожидаемым свойствам системы по регулированию.

При этом будут использованы простые мнемонические правила вместо трудоемких способов рассмотрения данного вопроса.

Контур регулирования по положению

Определение полезного усиления контура "Kvort" и его влияние на регулирование.

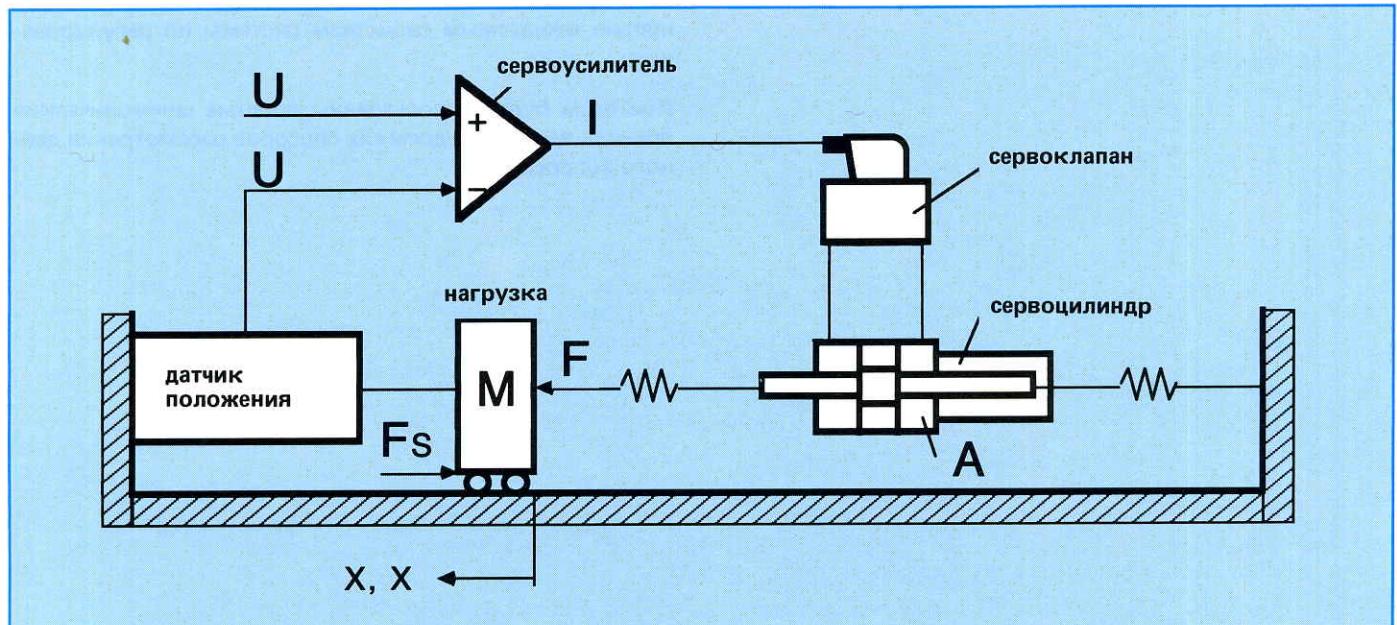


Рис. 1

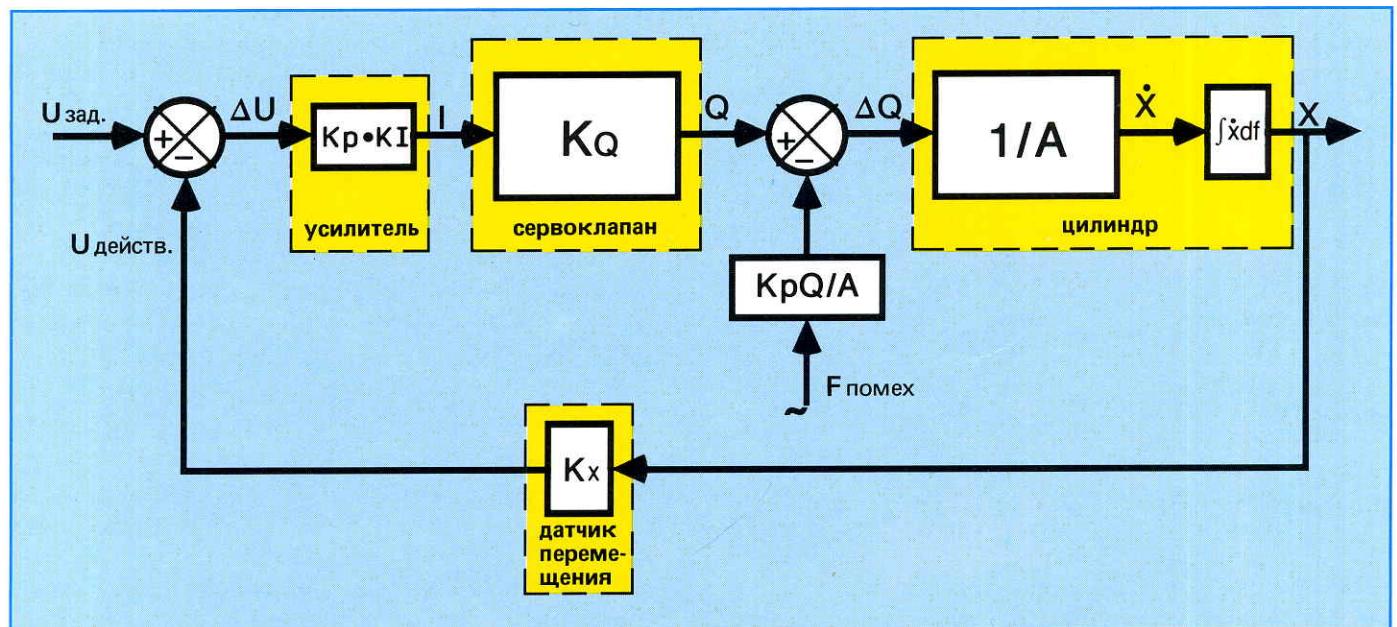


Рис. 2: Упрощенная блок-схема

Усиление контура K_v равно произведению коэффициентов усиления передающих звеньев в контуре регулирования.

$$K_v = K_p \cdot K_i \cdot K_Q \cdot K_x / A \quad [\text{сек.}^{-1}]$$

K_Q	= усиление по скорости	
K_p	= электрическое усиление	
K_i	= пропорциональное усиление	[ма/в]
K_x	= усиление датчика перемещения [ма/в] [в/мм]	
$K_p Q$	= усиление количества в зависимости от давления (см. на стр. Н3)	
A	= площадь цилиндра	

На рис. 3 подробно изображается уравнение частотной характеристики согласно преобразованию Лапласа.

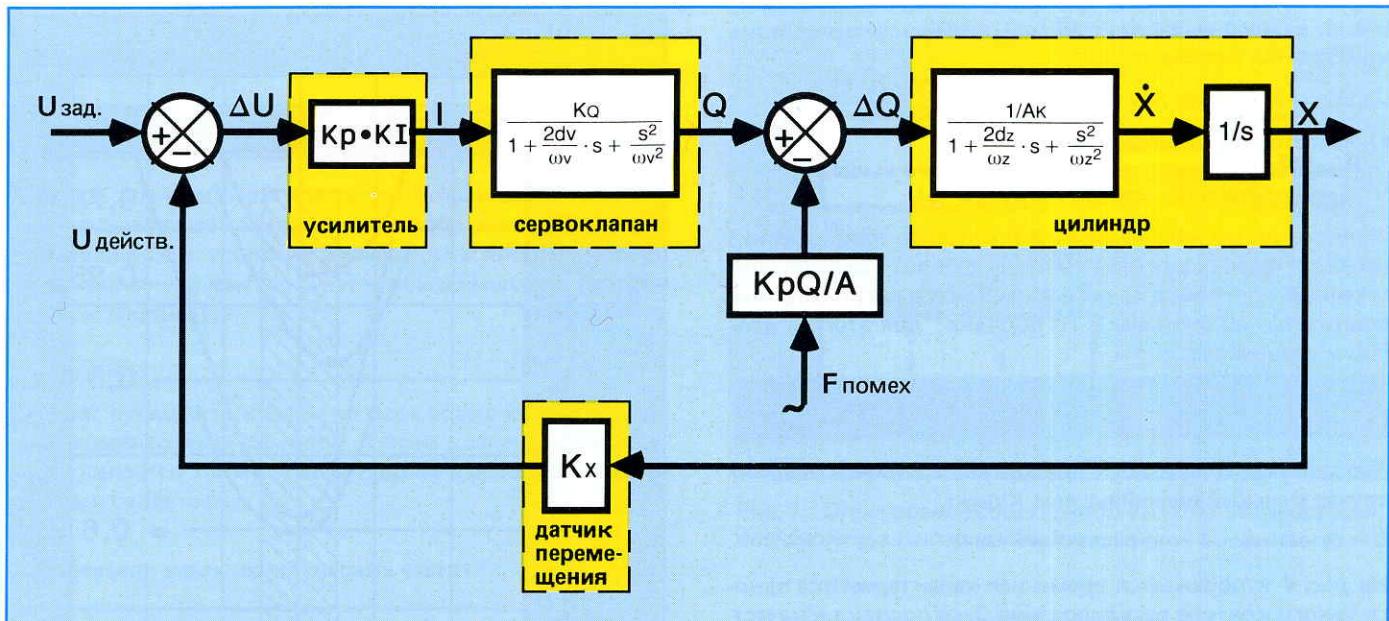


Рис. 3: Подробная блок-схема

Клапан и нагруженный цилиндр рассматриваются как последовательно включаемые системы 2-го порядка. Характерным является для сервопривода (цилиндра) характеристическая частота (масса/масляная пружина). Переход со скорости на установочное перемещение изображается посредством интегрирования ($1/s$).

Постоянная времени контура регулирования

Постоянная времени пропорциональна $1/K_v$

$$T = 1/K_v \quad [\text{сек.}]$$

K_v = усиление контура

Это значит, что чем больше усиление контура K_v , тем быстрее система.

При стационарном режиме действует для жесткости по сравнению с силовыми помехами следующее:

$$C = F_{\text{помех}} / X = K_v \cdot A^2 / K_{pQ}$$

Жесткость поэтому пропорциональна усилию контура и обратно пропорциональна усилию количества давления K_{pQ} .

$$K_{pQ} = V_Q / V_p \quad [\text{см}^3/\text{сек.}/\text{бар}]$$

V_Q = усиление расхода ($\text{см}^3/\text{сек.}$)
 V_p = усиление давления (бар)

Это усиление давления-расхода клапана + зависимая от давления утечка на потребителе. Увеличение поверхности установочного поршня или рабочего объема серводвигателя повышает жесткость пропорционально квадрату увеличения.

Погрешность установки

Обычно требуется меньше 5% тока клапана для того, чтобы в контуре регулирования по положению довести скорость до нуля, т.е., для того, чтобы компенсировать силу помех, поскольку не позже, чем при 5% сигнала, все давление в системе подлежит коррекции (см. усиление давления, стр. F7).

Погрешность установки составляет поэтому

$$\Delta X \leq 0,05 \cdot v_{\max} / K_v \quad [\text{мм}]$$

На основании этого можно установить, что усиление контура должно быть как можно большим.

Чем выше будет выбираться K_v , тем меньше будет погрешность установки и тем жестче будет система по отношению к силам помех.

v_{\max} при этом представляет собой скорость, которая будет устанавливаться, когда сервоклапан будет открываться на 100%.

Отсюда вытекает еще, что номинальный расход сервоклапана $Q = A \cdot v_{\max}$ следует выбирать как можно меньших размеров.

На основании характеристики устойчивости не имеется возможности выбирать усиление контура любой величины.

Если усиление контура K_v будет больше, чем критическая круговая частота $K_{v\text{крит.}}$, то при помехе система будет подвергаться колебаниям, а это значит, что система будет неустойчивой.

Какой величины, таким образом, должно быть усиление контура K_V максимально?

Следует различать два случая:

- a) Частота сервоклапана ω_V
 (частота при смещении фаз значительно выше, чем собственная частота нагрузки ω_L).

В таком случае можно сначала пренебречь динамическими свойствами частичной системы с более высокой собственной частотой, в связи с этим контур регулирования понижается до системы 3-го порядка; для этого в действии уравнение:

$$K_V < K_{V\text{крит.}} = 2D\omega_L$$

Это значит, что частота K_V должна выбираться во всяком случае меньшей величины, чем $K_{V\text{крит.}}$.

D = безразмерный коэффициент затухания

На рис. 4 изображается временная характеристика одного такого контура регулирования 3-го порядка в качественном отношении, при этом в качестве параметров служат относительное затухание и относительное усиление. Относительная величина $K_V\text{опт.}$ выводится обычно из такой временной характеристики, т.е. из переходной характеристики. Если при данном затухании K_V будет поддерживаться малой величины, то в наличии будет довольно монотонно нарастающая переходная характеристика; если же K_V будет очень большой величины, то возникнет сильно наложенное колебание.

Исходя из хода такой переходной характеристики (переходной режим), можно определить критерии качества. Очень часто употребляется ITAE-критерий (Integral of Time multiplied with Absolute Error).

$$\text{ITAE} = \int_0^{\infty} t |X_E - X_A| dt$$

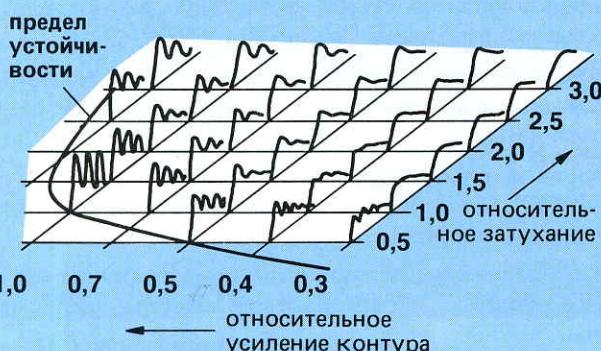


Рис. 4: Временная характеристика контура регулирования 3-го порядка

После этого будет считаться оптимальным то усиление контура, при котором ITAE-значение будет минимальной величины. Если будет видоизменяться K_V при постоянном затухании и будет наноситься ITAE-значение над относительным усилием K_V / ω_L , то в результате получится изображение на рис. 5.

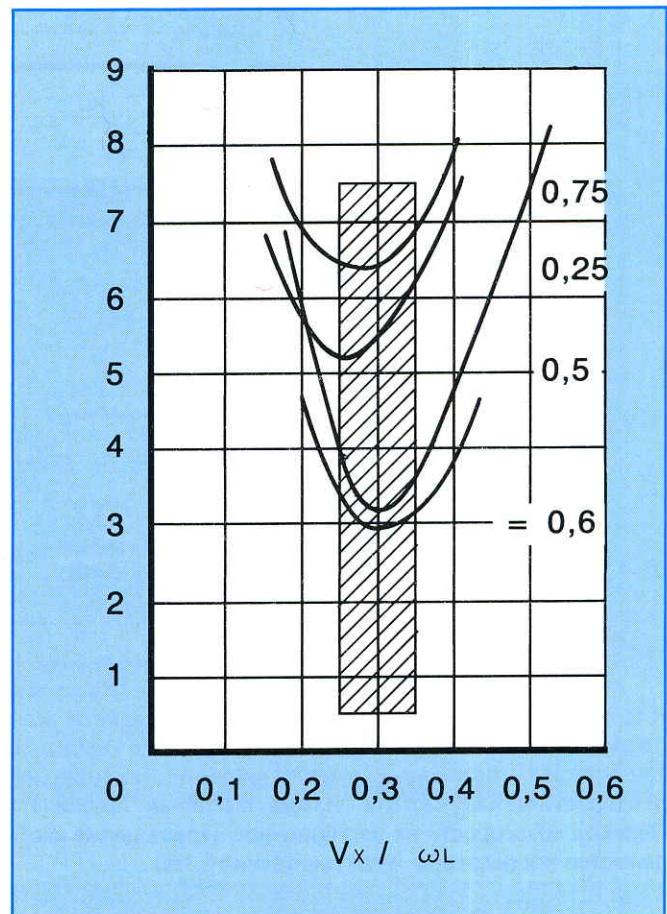


Рис. 5

Можно установить, что для диапазона типичных коэффициентов затухания ($0,2 < D < 0,9$) лежат оптимальные ITAE-значения между $K_V/\omega_L = 0,25$ и $0,35$.

Отсюда вытекает 1-е правило:

$$K_{V\text{опт.}} \approx 1/3 \cdot \omega_L \quad [\text{сек.}^{-1}]$$

Такое усиление, называемое также **ускорением скорости**, представляет собой результат умножения гидравлического усиления на электрическое усиление.

б) Учитываются обе собственные частоты

Вследствие этого возникает система 5-го порядка. Характеристики устойчивости дают в итоге для этого критическую частоту $\omega_{\text{крит.}}$ и критическое усиление контура $K_{V\text{крит.}}$, которые зависят от обеих собственных частот ω_V = собственной частоты клапана и ω_L = собственной частоты нагрузки.

Критическая частота $\omega_{\text{крит.}}$ всегда меньше, чем меньшая из двух частот ω_V и ω_L .

Если пренебречь коэффициентами затухания, вытекает 2-е правило:

$$\omega_{\text{крит.}} = \omega_V \cdot \omega_L / (\omega_V + \omega_L)$$

Оптимальным усилением контура при этом является
3-е правило:

$$K_{\text{Vopt.}} = 1/3 \omega_{\text{крит.}}$$

Точность позиции и жесткость по отношению к силам помех требуют высокого электрического усиления K_p . Гидравлическое усиление должно быть поэтому только такой величины, как это будет необходимым (ср. погрешность установки).

4-е правило:

Следует применять клапан по мере возможности с меньшим номинальным расходом. Таким клапаном, как правило, является также клапан с более высокими динамическими свойствами.

Определение характеристических частот

Сервоклапан

Частотная характеристика сервоклапана подается на графическом изображении.

Цилиндр

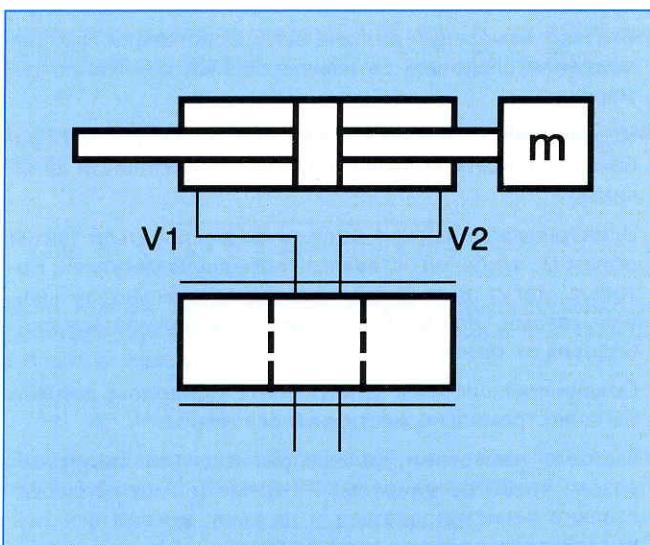


Рис. 6: Определение собственной частоты с цилиндром синхронного хода

E	= модуль эластичности масла	$[\text{кг}/\text{см} \cdot \text{сек.}^2]$
	$1,4 \cdot 10^7$	
A_R	= кольцевая поверхность цилиндра	$[\text{см}^2]$
H	= ход цилиндра	$[\text{см}]$
V	= общий объем масла под давлением	$[\text{см}^3]$
m	= масса	$[\text{кг}]$
V_{LR}	= объем масла под давлением в трубопроводе с кольцевой стороны цилиндра	$[\text{см}^3]$

$$\omega_0 = \sqrt{2 \cdot E \cdot A_R^2 / (V \cdot m)} \quad [\text{сек.}^{-1}]$$

$$V = V_1 = V_2 = A_R \cdot H/2 + V_{LR} \quad [\text{см}^3]$$

Собственная частота минимальной величины, когда цилиндр находится на средней позиции.

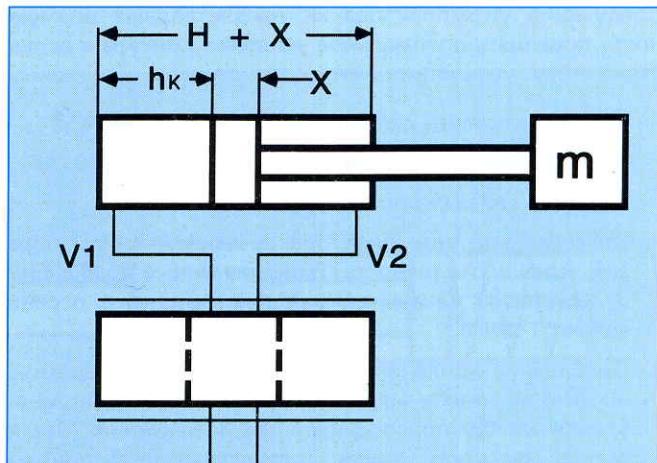


Рис. 7: Определение собственной частоты посредством дифференциального цилиндра

E	= модуль эластичности масла	$[\text{кг}/\text{см} \cdot \text{сек.}^2]$
	$1,4 \cdot 10^7$	
A_R	= кольцевая поверхность цилиндра	$[\text{см}^2]$
A_K	= поверхность поршня цилиндра	$[\text{см}^2]$
V_1	= объем масла со стороны поршня	$[\text{см}^3]$
V_2	= объем масла со стороны кольца	$[\text{см}^3]$
m	= масса	$[\text{кг}]$
H	= ход	$[\text{см}]$
h_K	= ход цилиндра при мин. собственной частоте	$[\text{см}]$
V_{LK}	= объем трубопровода со стороны поршня	$[\text{см}^3]$
V_{LR}	= объем трубопровода с кольцевой стороны	$[\text{см}^3]$
ω_0	$= \sqrt{(C_1 + C_2) / m}$	
ω_0	$= \sqrt{E \cdot A_K^2 / (V_1 \cdot m) + E \cdot A_R^2 / (V_2 \cdot m)}$	
V_1	$= A_K \cdot h_K + V_{LK}$	$[\text{см}^3]$
V_2	$= A_R \cdot (H - h_K) + V_{LR}$	$[\text{см}^3]$
h_K	$= \frac{\left(\frac{A_R \cdot H / 10}{\sqrt{A_R^3}} + \frac{V_{LR}}{\sqrt{A_R^3}} - \frac{V_{LK}}{\sqrt{A_K^3}} \right)}{\left(\frac{1}{\sqrt{A_R}} + \frac{1}{\sqrt{A_K}} \right)} \cdot 10 \quad [\text{мм}]$	

Собственная частота минимальной величины, при позиции цилиндра h_K .

Собственная частота гидродвигателя

ω_0	$= \sqrt{2 \cdot (q/2 \cdot \pi)^2 \cdot E / (V_1 \cdot J)}$	$[\text{см}^3/\text{об.}]$
q	= рабочий объем	$[\text{см}^3]$
V_1	= объем масла под давлением	$[\text{см}^3]$
J	= момент инерции массы	$[\text{кг}/\text{см}^2]$
E	= модуль эластичности масла	$[\text{кг}/\text{см} \cdot \text{сек.}^2]$
	$1,4 \cdot 10^7$	

Если при вычислении привода будет установлено, что не будут достигаться требования точности, то усиление контура может повышаться за счет соответствующего укомплектования регулятора.

Следующие укомплектования предоставляют возможность повышать оптимальное усиление контура и вследствие этого улучшать точность установки.

- укомплектование регулятора как PD-регулятора
- обратная связь давления нагрузки
- обратная связь скорости
- Интегральное укомплектование может любым образом повышать точность, одновременные требования относительно динамических свойств, однако, ограничивают I-долю.
- Повышение усиления предоставляет также возможность увеличивать заглушение посредством байпасной утечки между присоединениями потребителя. Статическая жесткость, однако, вследствие этого понижается.

Выбор системы измерения

Как уже упоминалось выше, для регулирования физической величины требуется система измерения. Такая система должна быть в состоянии преобразовывать соответствующую величину в электрический сигнал — ток или напряжение. Вследствие этого требуются приборы для измерения перемещения, углов, скоростей, чисел оборотов, давлений, сил, вращающих моментов и ускорений. Для каждой такой величины имеется некоторое количество принципов измерения. Они используются в зависимости от диапазона измерения, требований точности, срока службы, условий окружающей среды и т.п. В соответствии с этим существует большое количество элементов измерения, так что в связи с этим невозможно дать общий обзор на эту тему.

В общем в силе остаются следующие принципы:

- Регулирование никогда не может быть точнее, чем метод измерения.
- Система измерения характеризуется посредством своего коэффициента передачи. Такой коэффициент представляет собой отношение выходного напряжения или тока к величине измерения.
- Точность системы измерения должна быть, как минимум, в 5 раз больше, чем желаемая точность регулирования.
- Система измерения должна быть в состоянии без промедления следовать за изменяющейся величиной измерения.
- Коэффициент передачи и нулевая точка при всех рабочих условиях должны оставаться постоянной величины.
- Электрический сигнал должен формироваться таким образом, чтобы он оставался свободным от помех, которые могут вызываться соседними сильноточными элементами, или чтобы он смог поддерживаться свободным от таких помех.
- Соединение системы измерения с приводом должно быть экстремально жестким и без зазора.
- Система измерения должна размещаться таким образом, чтобы регулируемый параметр смог непосредственно регистрироваться и не смог искажаться под воздействием побочных эффектов.

На основании только небольшого количества приведенных пунктов становится ясным, какое большое значение играет техника измерения для техники регулирования вообще и для сервогидравлики в частности.

Вычислительный пример

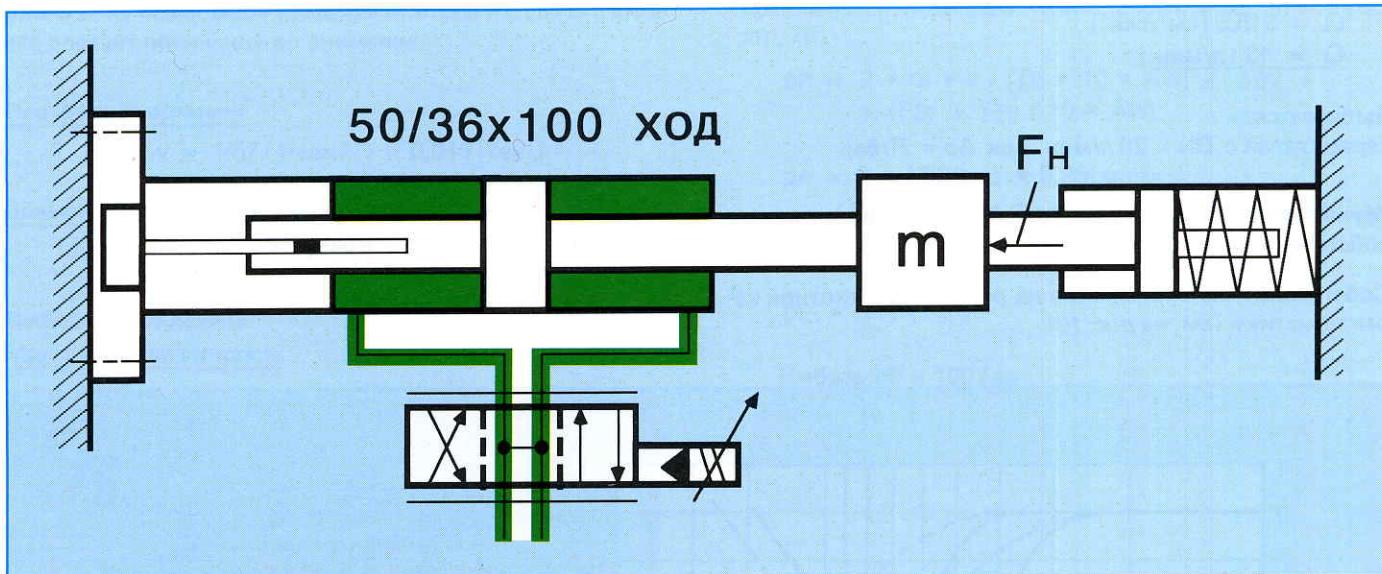


Рис. 8

цилиндр 50/36 x 100 ход

кольцевая поверхность цилиндра

$$AR = 9,45 \text{ см}^2$$

перемещаемая масса

$$m = 500 \text{ кг}$$

время перестановки для хода в 80 мм

$$t = 400 \text{ мсек.}$$

удерживающее усилие

$$F_H = 6000 \text{ н}$$

1-е
правило

$$V_{\text{опт.}} = 1/3 \omega L$$

$$V_{\text{опт.}} = 325/3 = 108 \text{ сек.}^{-1}$$

Постоянная времени

$$T = 1/V = 1/108 \text{ сек.}^{-1} = 0,0092 \text{ сек.}$$

Возможное время ускорения

$$T_B = 5 \cdot T \approx 50 \text{ мсек.}$$

Выбор сервоклапана

Максимальная скорость

$$\omega_0 = \sqrt{2 \cdot E \cdot AR^2 / (v \cdot m)}$$

Если клапан будет монтироваться непосредственно на цилиндре, то для установленного объема в действии будет следующее уравнение:

$$V = H/2 \cdot AR$$

Если подставить в вышеприведенное уравнение для ω_0 его значение, то в результате будет вытекать, что

$$\omega_0 = \sqrt{4 \cdot E \cdot AR / (H \cdot m)}$$

$$\omega_0 = \sqrt{4 \cdot 1,4 \cdot 10^7 (\text{кг/см/сек}^2) \cdot 9,45 (\text{см}^2) / 10 (\text{см}) \cdot 500 (\text{кг})}$$

$$\omega_0 = 325 \text{ сек.}^{-1}$$

$$f_0 = 51 \text{ Гц}$$

Для того случая, когда собственная частота клапана будет значительно выше, чем собственная частота системы цилиндр - масса, в действии для усиления контура K_V будет следующее

$$K_V < K_{V\text{крит.}} = 2D \cdot \omega L \text{ (см. на стр. J 4 , случай а)}$$

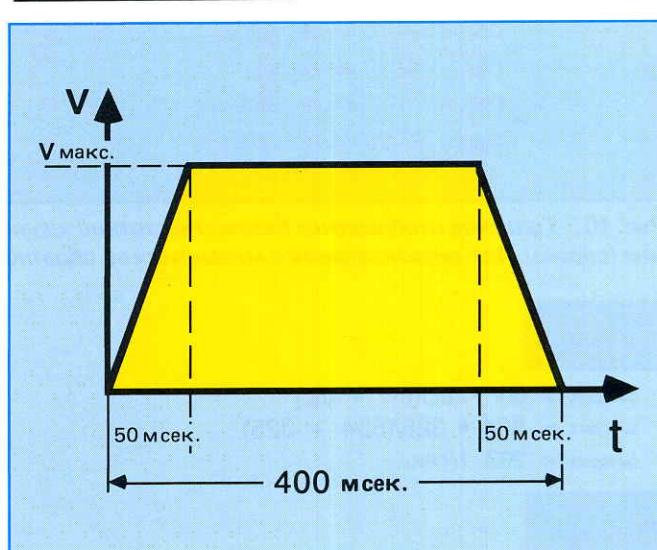


Рис. 9

$$V_{\text{макс.}} = s / (\text{Тобщ.} - T_B) = 80 (\text{мм}) / (0,4 (\text{сек.}) - 0,050 (\text{сек.}))$$

$$V_{\text{макс.}} = 228 (\text{мм/сек.})$$

Требуемый расход

$$Q = A \cdot v = 9,45 (\text{см}^2) \cdot 22,8 (\text{см}/\text{сек.})$$

$$Q = 215,5 (\text{см}^3/\text{сек.})$$

$$Q = 13 (\text{л}/\text{мин.})$$

Выбирается:

сервоклапан с $QN = 20 \text{ л}/\text{мин.}$ при $\Delta p = 70 \text{ бар}$

Вычисление усиления контура, принимая во внимание собственную частоту клапана

Собственная частота клапана на основании частотной характеристики (см. на рис. 10)

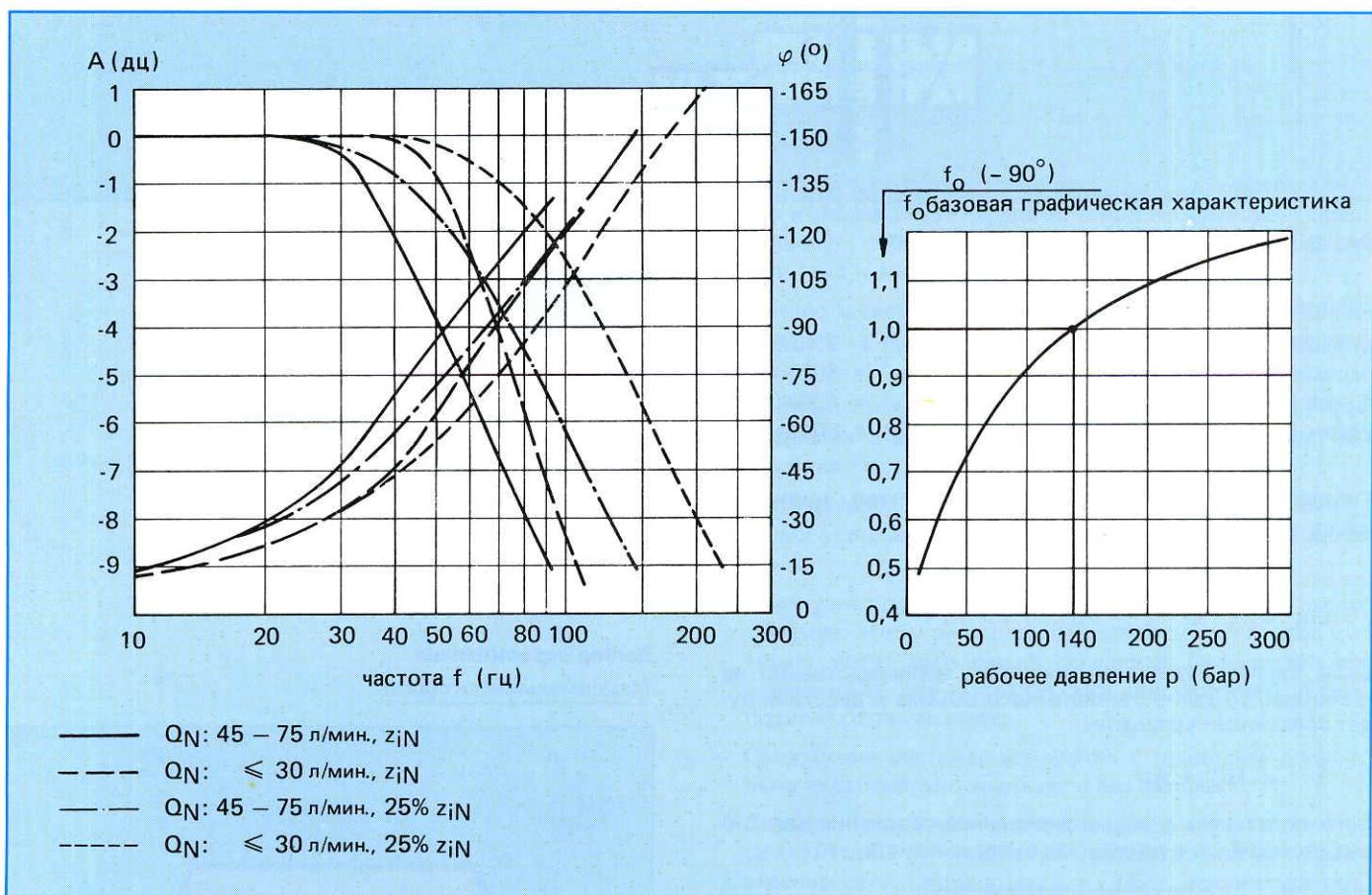


Рис. 10: Типичное изображение базовой частотной характеристики (слева) и зависимость частоты от рабочего давления (справа) для сервоклапанов с механической обратной связью

2-е правило

$$\omega_{\text{крит.}} = \omega_V \cdot \omega_L / (\omega_V + \omega_L)$$

$$\omega_{\text{крит.}} = 534 \cdot 325 / (534 + 325)$$

$$\omega_{\text{крит.}} = 202 \text{ 1/сек.}$$

Определение ω_V на основании частотной характеристики

Для $\leq 30 \text{ л}/\text{мин.}$ и 25% сигнала

$$f - 90^\circ = 85 \text{ кг при } 140 \text{ бар}$$

$$\omega_L = 2 \cdot \pi \cdot 85 = 534 \text{ 1/сек.}$$

3-е правило

$$K_{\text{Vопт.}} = 1/3 \omega_{\text{крит.}} = 202/3 = 67,3 \text{ 1/сек.}$$

Сравнение обоих вычисленных усилений контура показывает, что в данном случае клапан оказывает сильное влияние на возможное усиление контура и в связи с этим его следует принимать во внимание.

Постоянная времени

$$T = 1/Kv = 1/67 \text{ (1/сек.)} = 0,015 \text{ [сек.]}$$

Возможное время ускорения

$$T_B = 5 \cdot T = 0,075 \text{ [сек.]}$$

Выбор сервоклапана

Максимальная скорость

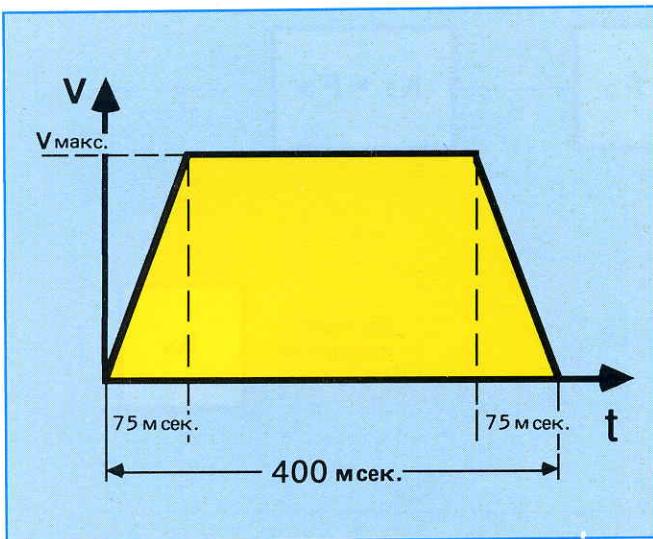


Рис. 11

$$V_{\maxc.} = s / (T_{\text{общ.}} - T_B)$$

$$V_{\maxc.} = 80 \text{ (мм)} / (0,4 \text{ (сек.)} - 0,075 \text{ (сек.)})$$

$$V_{\maxc.} = 246 \text{ (мм/сек.)}$$

Требуемый расход

$$Q = A \cdot v = 9,45 \text{ (см}^2\text{)} \cdot 24,6 \text{ (см/сек.)} = 232,5 \text{ [см}^3\text{/сек.]}$$

$$Q = 13,9 \text{ [л/мин.]}$$

Выбирается:

сервоклапан с $QN = 20$ л/мин. при $\Delta p = 70$ бар

Потеря давления на клапане

$$\Delta p = (Q/QN)^2 \cdot 70 \text{ (бар)} = (14/20)^2 \cdot 70 = 34 \text{ [бара]}$$

Ускорение

$$a_{\maxc.} = V_{\maxc.} / T_B = 0,25 \text{ (м/сек.)} / 0,075 \text{ (сек.)} = 3,3 \text{ [м/сек.}^2\text{]}$$

Ускоряющая сила

$$F_B = m \cdot a_{\maxc.} = 500 \text{ (кг)} \cdot 3,3 \text{ (м/сек.}^2\text{)} = 1650 \text{ [Н]}$$

Требуемое давление ускорения

$$p_{B\maxc.} = F_B / A_R = 1650 \text{ (Н)} / 9,45 \text{ (см}^2\text{)} = 17,4 \text{ [бара]}$$

Потребность в давлении для удерживающего усилия

$$p_H = 6000 \text{ (Н)} / 9,45 \text{ (см}^2\text{)} = 64 \text{ [бар]}$$

Вычисление давления в системе

(см. в разделе "Критерии для выбора параметров для управления с помощью пропорциональных клапанов", стр. 20).

$$p_P = 2 \cdot m \cdot v / (T_B \cdot 10 \cdot A_W) + \Delta p_V + \\ + (F_{St} + F_R) / 10 \cdot A_W$$

$$p_P = 2 \cdot 500 \text{ (кг)} \cdot 0,25 \text{ (м/сек.)} / \\ / (0,075 \text{ (сек.)} \cdot 10 \cdot 9,45 \text{ (см}^2\text{)}) + 10 \text{ (бар)} + \\ + 6000 \text{ (Н)} / (10 \cdot 9,45 \text{ (см}^2\text{)})$$

$$p_P = 109 \text{ [бар]}$$

Выбран p_P в 100 бар

Определение точности установки

Усиление контура

$$K_V = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 67 \text{ [сек.}^{-1}\text{]}$$

K_1 = электрическое усиление (еще неизвестно)

$K_2 = 20 \text{ л/мин.}/10 \text{ вольт} = 33 \text{ (см}^3/\text{сек.}/\text{вольт)}$

$K_3 = 1/9,45 \text{ см}^2 = 0,106 \text{ (1/см}^2\text{)}$

$K_4 = 10 \text{ вольт}/10 \text{ см} = 1 \text{ (вольт/см)}$

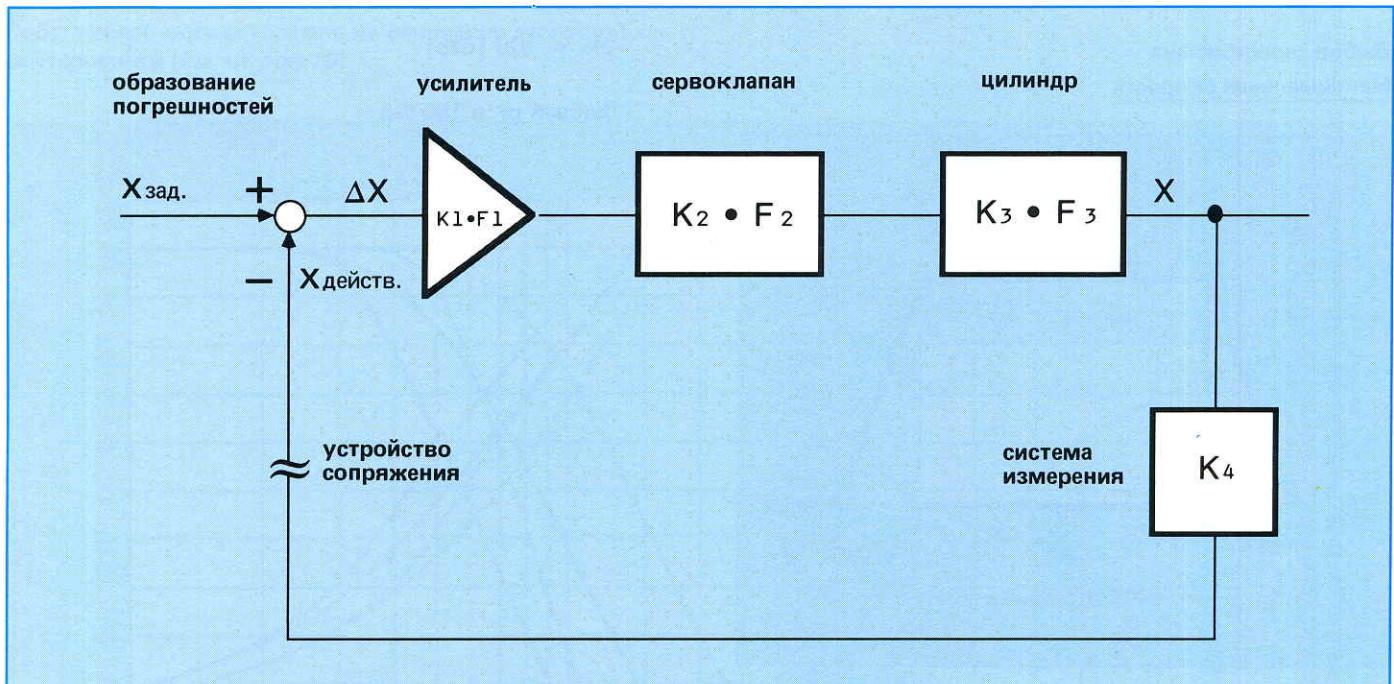


Рис. 12

Вычисление K_1

$$\begin{aligned} K_1 &= K_V / (K_2 \cdot K_3 \cdot K_4) = \\ &= 67 \text{ (см/сек./см) /} \\ &/ (33 \text{ см}^3/\text{сек.}/\text{вольт}) \cdot 0,106(1/\text{см}^2) \cdot 1 \text{ (вольт/см)} \\ K_1 &= 19 \end{aligned}$$

Погрешность слежения

$$S_N = V_{\max} / K_V$$

V_{\max} — это здесь максимально возможная скорость, когда открыт клапан.

$$S_N = 250 \text{ (мм/сек.)} / 67 \text{ (сек.}^{-1}\text{)} = 3,7 \text{ мм}$$

Точность установки

$$\Delta x \leq 5\% \text{ от } S_N$$

$$\Delta x \leq 0,19 \text{ мм}$$

Погрешности в связи с вариацией показаний сервоклапана

Какой величины должна быть погрешность регулирования для того, чтобы сервоклапан смог преодолеть свою вариацию показаний?

Предположим, что $K_U = 0,2\%$ от номинального сигнала

$$\Delta x = K_U / (K_1 \cdot K_4)$$

$$\Delta x = 0,002 \cdot 10 \text{ (V)} / (19 \cdot 1 \text{ (вольт/см)}) = 0,001 \text{ см}$$

$$\underline{\Delta x = 0,01 \text{ мм}}$$

Погрешности в связи с изменением нагрузки

при $\Delta F = + 3000 \text{ н}$

Для того, чтобы можно было компенсировать такое изменение нагрузки, клапан должен открываться на определенную величину, это вызывается из-за погрешности регулирования Δx .

$$\Delta x = \Delta F / (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4)$$

K_2 при этом усиление давления сервоклапана.

При 1% сигнала в распоряжении имеется на потребителе 80% давления.

$$0,8 \cdot 100 / 0,1 \text{ (вольт)} = 800 \text{ бер/вольт}$$

вследствие этого погрешность нагрузки составляет

$$\begin{aligned} \Delta s &= 3000 \text{ (н) /} \\ &/ (18 \cdot 8000 \text{ (н/см}^2/\text{вольт)} \cdot \\ &\cdot 9,45 \text{ (см}^2\text{) } \cdot 1 \text{ (вольт/см)}) \end{aligned}$$

$$\underline{\Delta s = 0,0022 \text{ см} = 0,022 \text{ мм}}$$

Для заметок

Для заметок

Глава К

**Фильтрация на гидравлических установках с
сервоклапанами и пропорциональными клапанами**

Мартин Райк

Зачем фильтровать рабочие жидкости на масляной основе

Требования относительно еще большей экономичности, незначительной подверженности воздействию помех и более высокого срока службы, а также большого удобства при техобслуживании сервоклапанов и пропорциональных клапанов, повели к тому, что производители и потребители стали выдвигать требование и относительно лучшей фильтрации рабочей жидкости для гидравлических установок. В связи с непрерывным ростом производительности гидравлических приборов необходимы стало повысить требования относительно точности переключения клапанов. Это возможно было достичь, между прочим, благодаря тому, что посадки между корпусом и переключающим поршнем стали все больше и больше сужаться.

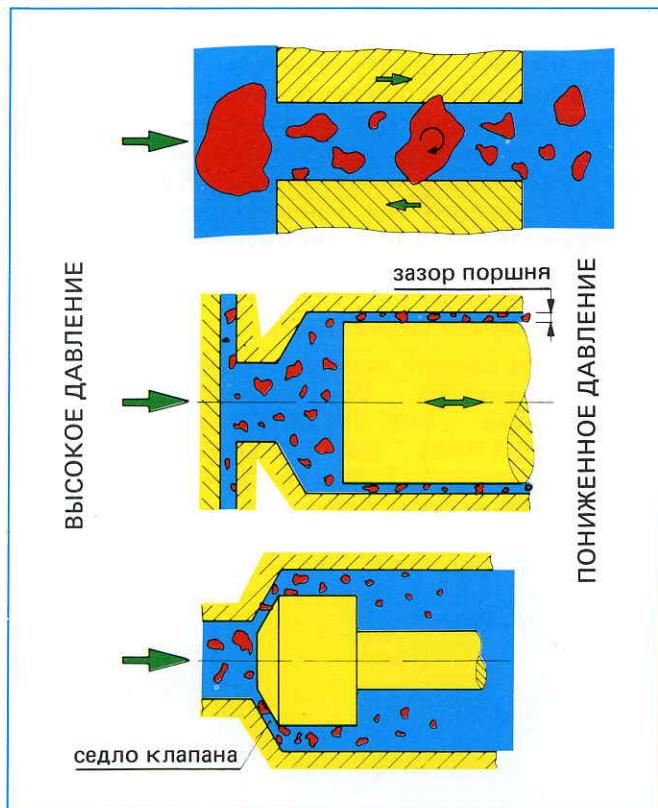


Рис. 1: Процесс изнашивания, влияние частиц загрязнения на седло клапана и зазор поршня

Действие загрязнений в виде твердых веществ

Общий обзор

Частицы загрязнений, которые во много раз больше, чем зазор в сопряжении, не оказывают неблагоприятного воздействия на клапан. Частицы, которые меньше, чем зазор в сопряжении, пропускаются через щель и не оказывают также неблагоприятного воздействия на клапан. Частицы такого же размера как и ширина зазора являются критическими для поверхности клапана и переключающего поршня. Из-за скобления частиц загрязнения во время рабочего режима образуются новые частицы (из материала клапана). Также частицы, которые больше, чем зазор клапана, размельчаются в результате движения переключения поршня или в связи с скоростью течения гидравлической среды.

К следствиям таких явлений относятся: повышение утечки, защемление поршня, изменения времени переключения, выход из строя клапана, изменение характеристики клапана.

Без фильтрации возникает цепная реакция, в результате которой повышается концентрация загрязнений.

При протекании большой длительности могут частицы загрязнений закупорить диафрагму в цепи управления.

Эрозионный износ на кромках управления

Загрязнения повышают нагрузку на материал на чувствительных кромках.

Следствия: Повышенное вымывание, в результате этого неточное переключение сервоклапанов и пропорциональных клапанов и управление ими (износ повышается прогрессивно).

Попадающие снаружи в систему загрязнения могут такой процесс вызывать или ускорять. Посредством использования хороших системных фильтров необходимо уменьшать или даже предотвращать цепную реакцию образования частиц и их скопление.

Правильный выбор параметров для фильтра и выбор фильтров — это означает, что повышается рентабельность всей установки (сокращается длительность отказов в работе) и уменьшаются расходы на техобслуживание.

Избранная система фильтров должна обеспечивать следующее:

- функциональную способность и срок службы клапанов
- чтобы исключалась возможность внезапного выхода из строя клапанов
- чтобы не понижалась производительность в связи с повышением внутренней утечки
- чтобы не изменялись данные настройки клапана сверх продолжительности эксплуатации
- чтобы не изменялась характеристика клапана, например, из-за защемленных частиц загрязнения.

При планировании гидравлической установки очень часто не придается нужного внимания гидравлическому фильтру или даже забывают о нем. Только при монтаже установки вспоминается о фильтре и производится его встраивание.

Из соображений стоимости и занимаемой площади выбирается тогда очень малый или грубый фильтр. Потребитель установки оказывается тогда в большом затруднении из-за слишком короткого срока службы элемента (чрезвычайно малых размеров фильтр) или из-за слишком частых выходов из строя сервоклапанов и пропорциональных клапанов, поскольку это связано с дополнительными расходами.

Образование загрязнений в гидравлических установках из-за частиц твердых тел

Бывают следующие виды загрязнений:

Начальное загрязнение

Такое загрязнение происходит при монтаже и при вводе в эксплуатацию гидравлических установок (пыль, окатина, стружки, грязь, образующиеся при сварке, шишковатости нитей, ржавчина, остатки упаковочного материала, остатки краски и т.п.).

Загрязнения во время рабочего режима

Проникновение загрязнений в гидравлический бак из-за недостаточной вентиляции бака, через проходы труб, уплотнения штока поршня и т.п. Доля проникания пыли в сильной степени зависит от области применения, например, каменные карьеры, дорожное строительство, цементные заводы и т.п.

Загрязнения из-за применения свежего масла

У свежего масла, поставленного поставщиком масла, часто бывают недопустимо высокие загрязнения для сервоклапанов и пропорциональных клапанов в виде твердых тел. Такие загрязнения необходимо отфильтровать с помощью смонтированных на установке фильтров.

При установках, на которых предусматривается только один фильтр в сливной линии, может, однако, такое "заправочное загрязнение" вызвать уже при прополаскивании установки сильное повреждение используемых компонентов.

Поэтому является необходимым производить заправку свежего масла с помощью агрегата для техухода за маслом или влиять масло через встроенный в установку фильтр в сливной линии, такие устройства следует также применять при смене масла. Применяемый там гидравлический фильтр должен иметь такую же тонкость фильтрации, как и фильтр в гидросистеме.

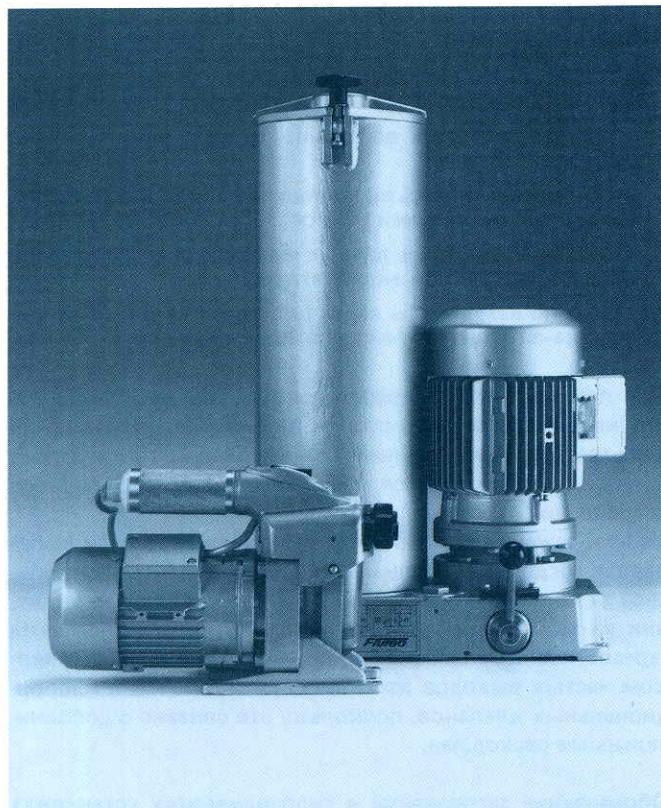


Рис. 2: Агрегат для техухода за маслом

Классы загрязненности для рабочих жидкостей на масляной основе

Классы загрязненности подают сведения о том, сколько частиц определенного размера содержится в 100 миллилитрах рабочей жидкости.

Определение класса загрязненности производится посредством подсчета и упорядочения по величинам частиц загрязнения. Это осуществляется либо с помощью микроскопа, либо с помощью электронного счетчика частиц. По сравнению с подсчетом частиц с помощью микроскопа, подсчет частиц с помощью электронного счетчика частиц не поддается в такой степени эмоциональным влияниям. Начиная с концентрации загрязнения примерно порядка 10 мг на 1 литр или при сильном помутнении жидкости, загрязнение можно устанавливать только посредством определения веса грязи (метод весового анализа). При таком методе, однако, не могут классифицироваться отдельные частицы загрязнения.

Большей частью являются сервоклапаны и пропорциональные клапаны самыми чувствительными по отношению к загрязнениям компонентами на гидравлической установке. Поэтому они определяют класс общего загрязнения рабочей жидкости на масляной основе, а вследствие этого и требуемую тонкость фильтра.

Структура классов загрязненности

В настоящее время в распоряжении имеются 5 систем классификации (ISO — Международная организация по стандартизации — 4406 или CETOP RP 74H, NAS 1638, SAE, Mil.std. 1246A). Как это можно установить с помощью приведенного ниже списка, такие системы могут сравниваться между собой.

ISO4406 или CETOP RP 70H	Частицы 1 мл < 10 мк	ACFTD содержа- ние твердых веществ мг/л	MIL STD 1246 A (1967)	NAS 1638 (1964)	SAE (1963)
26/23	140000	1000			
25/23	85000		1000		
23/20	14000	100	700		
21/18	4500			12	
20/18	2400		500		
20/17	2300			11	
20/16	1400	10			
19/16	1200			10	
18/15	580			9	6
17/14	280		300	8	5
16/13	140	1		7	4
15/12	70			6	3
14/12	40		200		
14/11	35			5	2
13/10	14	0,1		4	1
12/ 9	9			3	0
18/ 8	5			2	
10/ 8	3		100		
10/ 7	2,3			1	
10/ 6	1,4	0,01			
9/ 6	1,2			0	
8/ 5	0,6			00	
7/ 5	0,3		50		
6/ 3	0,14	0,001			
5/ 2	0,04		25		
2/ 8	0,01		10		

Рис. 3: Таблица сравнения классов чистоты

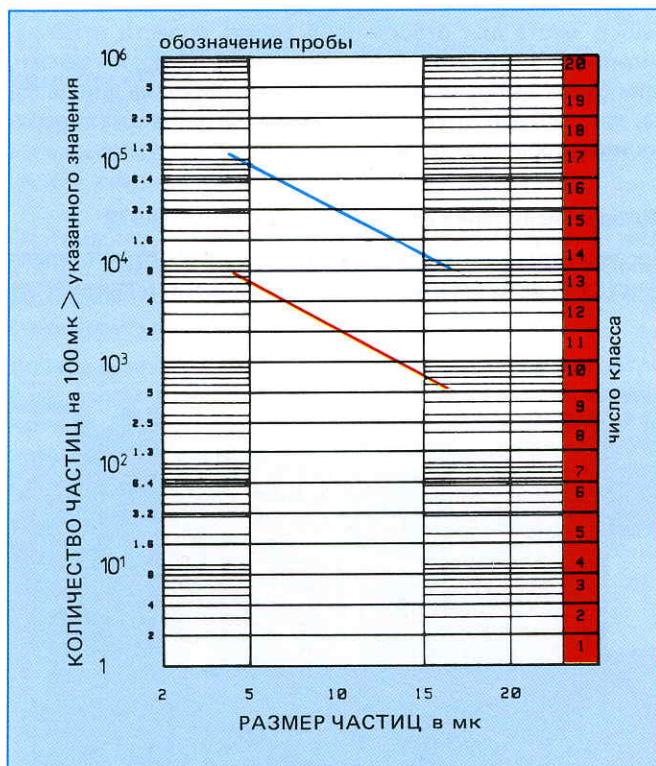
Структура ISO 4406

На диаграмме на оси X подаются размеры частиц. На оси Y приводится количество частиц и частицы подразделяются по числам классов в пределах 1 – 20. Нанесенная на диаграмму прямая описывает распределение частиц в рабочей жидкости на масляной основе. Подъем прямой определяется посредством внесения величины частиц размером в 5 мк и 15 мк. Посредством установки числа класса у частиц в 5 мк и 15 мк описывается прямая распределения частиц (см. на рис. 4).

Для сервоклапанов и пропорциональных клапанов требуется такая чистота масла:

сервоклапаны 13/10 (красная кривая)

пропорциональные клапаны 17/14 (синяя кривая)



Отбор пробы гидравлических жидкостей

Общий обзор

- Перед отбором проб следует тщательно прополоскать измерительное устройство с помощью растворителей.
- Применять следует только бутылки для отбора проб, которые были очищены с помощью очищенного растворителя.
- Перед отбором проб следует удалять остатки растворителей, в случае их наличия.
- Объем отбираемой пробы: как минимум, 250 мл.
- Перед собственным отбором проб следует приспособление для отбора прополоскать посредством, как минимум, 2 л жидкости, применяемой на установке.
- Отобрать 0-пробу (такая пробы не будет использоваться для оценки).
- Жидкость, которую предстоит исследовать, следует влить в новую, очищенную бутылку. При этом следует пробить защитную пленку с помощью прибора для отбора проб (не снимать пленку с бутылки для отбора проб).

Виды отбора проб

- Динамический отбор проб

Место отбора: Установки, находящиеся в эксплуатации (должно быть турбулентное течение). Просим соблюдать указания стандарта ISO 4021.

- Статический отбор проб

Место отбора: Из гидробака (статическая система). Просим соблюдать указания в стандарте CETOP RP 95H, раздел 3.

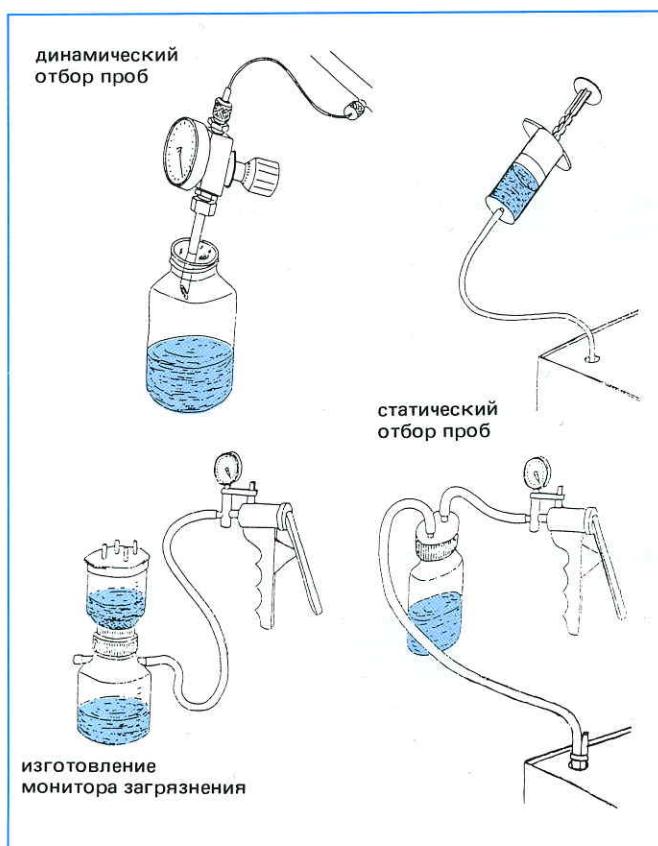


Рис. 6: Виды отбора жидкостей

Преимущества и недостатки отбора проб

- Преимущество динамического отбора проб

Качество масла после фильтра или после клапана можно непосредственно измерять. Благодаря этому можно точно определять, какое количество загрязнений подводится к клапану.

- Недостаток динамического отбора проб

Места для отбора проб должны предусматриваться еще во время проектирования установки или следует изготавливать специальные устройства сопряжения. Сложное устройство для отбора проб.

- Преимущество статического отбора проб

Простой способ отбора проб из гидробака.

- Недостаток статического отбора проб

Определение качества масла только в гидробаке, а не непосредственно на клапане.

Выбор места для отбора проб может повести к неправильному определению чистоты масла. Так, например, если будет выбрано место для отбора проб на днище бака, то там будет другое загрязнение масла, чем на поверхностном слое жидкости.

Multipas - испытание согласно стандарту ISO 4572

Посредством такого испытания определяются степень очистки и поглотительная способность фильтроэлементов.



Рис. 7: Multipas - испытание согласно стандарту ISO 4572

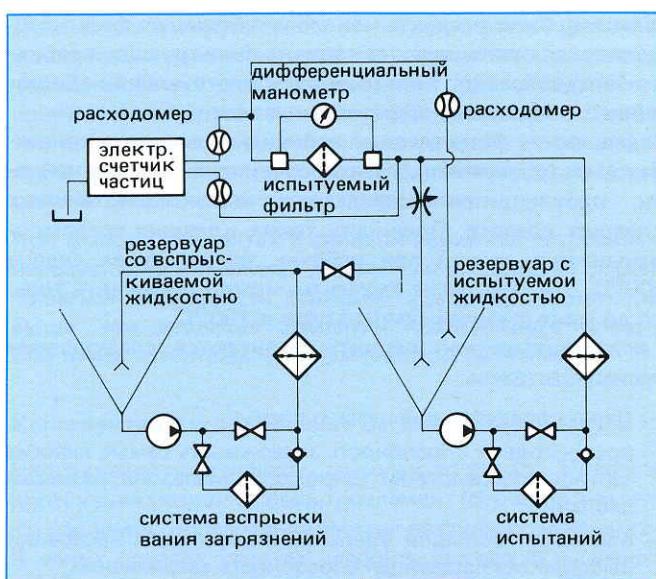


Рис. 8: Схема переключения испытательного стенда согласно ISO 4572

На испытательном стенде предусматриваются 2 гидравлических контура.

Система испытаний с резервуаром, испытуемой жидкостью, насосом, охлаждением/нагревом, расходомером, фильтром с испытуемым элементом и электронным счетчиком частиц.

Контур вспрыскивания с насосом, охлаждением/нагревом, вспрыкивающим соплом и вспрыкиваемой жидкостью. В этом резервуаре жидкость загрязняется посредством контрольной грязи (ACFTD).

Перед испытанием очищаются обе системы посредством ультрафильтров. Испытание начинается лишь только тогда, когда в системах испытаний в наличии будет только предписанное количество частиц загрязнения.

Ход проведения испытаний

Из контура вспрыскивания будет отдаваться непрерывно небольшое количество жидкости в главный контур. Загрязненная вследствие этого испытуемая жидкость подводится к элементу. Отбираются пробы перед испытуемым фильтром и после него, и в счетчике для подсчета частиц загрязнений производится подсчет таких частиц. Одновременно измеряется разность давлений, образовавшаяся в результате загрязнения.

Мерой для способности к удерживанию грязи (тонкости фильтрации) служит показатель β_x .

Общее примечание: Показатель β_x относится всегда к частицам, которые больше, чем рассматриваемая частица X. При изменении разности давлений на фильтроэлементе изменяется также показатель β_x .

Вычисление показателя β_x

Подсчитанные частицы загрязнений перед фильтроэлементом, которые по своей величине больше определенного размера частицы X, делятся на подсчитанные частицы загрязнений после фильтроэлемента (Подсчитывается одинаковая величина частицы X, при одинаковой разности давлений, в одно и то же время.).

Вычисленное безразмерное число представляет собой тогда показатель β_x .

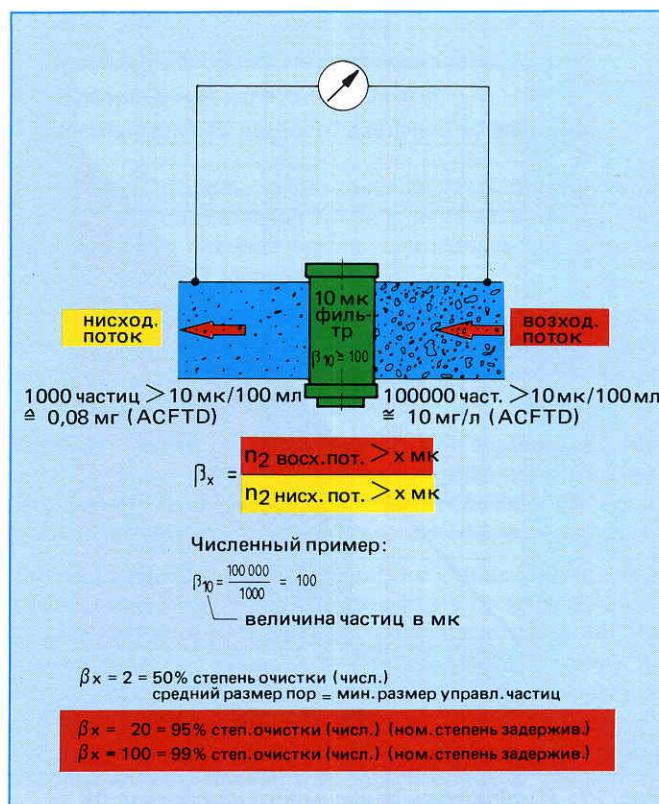


Рис. 9: Изображение отделения частиц загрязнения посредством фильтроэлементов

Численный пример

Измеренное число частиц:

Восходящий поток: 10 000 частиц $> 3 \text{ мк}$ в 100 мл

Нисходящий поток: 100 частиц $> 3 \text{ мк}$ в 100 мл

$$\beta_3 = nZ_{\text{восх. поток}} / nZ_{\text{нисх. поток}} = 10000 / 100$$

$$\beta_3 = 100 = 99\% \text{ отделения}$$

(также обозначается как степень разделения)

Данные о показателе β_x обозначаются как сепарирующая способность (к.п.д.) фильтроэлемента. Преимущество заключается в том, что диапазон между 90% и 100% может широко раздвигать сепарирующую способность.

Безразмерные показатели β_x могут в любое время преобразовываться в процентные данные сепарирующей способности (см. на рис. 10).

Зачем требуются данные о показателе β_x ?

Прежние данные о тонкости фильтрации основаны на различных внутризаводских испытаниях фильтров различных производителей. Только благодаря указанию показателя β_x , учитывая при этом возникающую разность давлений, стало возможным сравнивать данные тонкости фильтрации различных поставщиков фильтров.

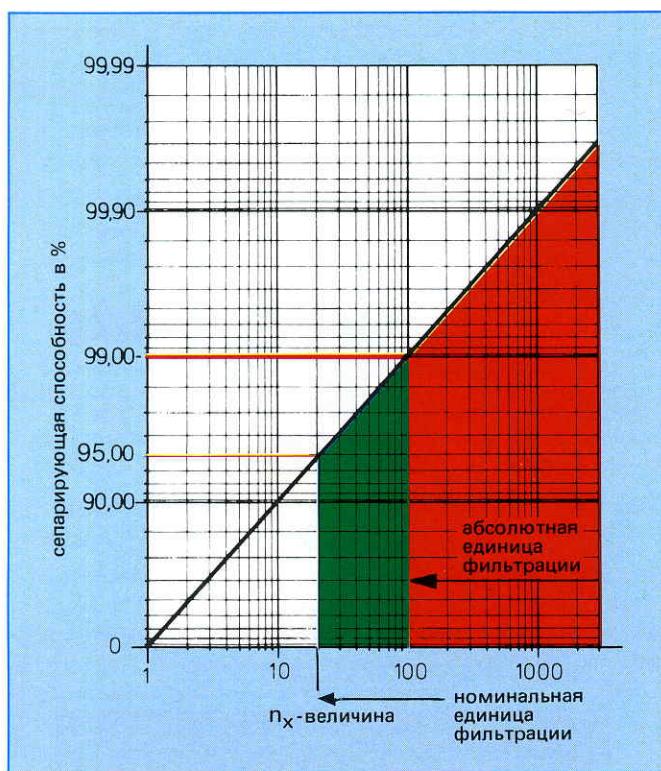


Рис. 10: Изображение зависимости показателя β_x от сепарирующей способности в %

Определение тонкости фильтрации

До установления показателя β_x невозможным является верное высказывания относительно тонкости фильтрации, только посредством показателя β_x возможным является дать определенную характеристику.

Существует два различных определения тонкости фильтрации:

Номинальная тонкость фильтрации – В данном случае не устанавливаются никакие применимые показатели β_x . Это означает для потребителя, что только одна часть фильтруемых загрязнений фильтруется с помощью оптимального фильтра.

Определение: $\beta_x \leq 20$. Это соответствует сепарирующей способности около 95%.

Абсолютная тонкость фильтрации – Начиная с показателя β_x величиной ≥ 100 или с сепарирующей способностью в 99%, обозначается тонкость фильтрации как абсолютная удерживающая способность.

Свойства фильтроэлементов с многослойной набивкой фильтра (например, фильтроэлементы фирм Рексрот и Хидак – Rexroth + Hydac – бетамикрон)

Опыты, накопленные на практике и на испытательном стенде, повели к тому, что были разработаны фильтроэлементы с многослойной набивкой.

Исследования с помощью таких фильтров также показали, что только при этой конструкции с многослойной набивкой может поддерживаться требуемая для сервоклапанов и пропорциональных клапанов чистота масла, которая указывается в инструкциях производителей таких клапанов.

Протекание через фильтроэлементы должно производиться, как правило, в направлении снаружи внутрь. Для того, чтобы в монтажное пространство фильтроэлемен-

та можно было встроить как можно большую фильтрующую поверхность, следует сложить фильтрующую набивку звездообразно. Конструкция фильтрующей набивки зависит от допустимой разности давлений элемента.

Заделывание фильтрующей набивки в концевых колпаках фильтроэлемента, а также соединение концов набивки, производится посредством высококачественных kleящих средств. Прочность таких kleящих средств уменьшается сильно при рабочих температурах выше 100°C, так что такие элементы можно применять только до макс. рабочей температуры в 100°C.

Такие бетамикрон-элементы отличаются следующими преимуществами:

- точно определенный размер пор;
- превосходная способность задерживать самые мелкие частицы посредством широкого диапазона разности давлений;
- благодаря большой удельной поверхности наслоения высокая поглощающая способность загрязнений;
- хорошая химическая стойкость;
- защита от повреждений элемента, благодаря высокому сопротивлению продавливанию, например, при пуске в холодном состоянии, при пиках давления переключения и пиках разности давлений;
- вода и доли воды в гидравлической жидкости не вызывают понижения фильтрующей способности.

β_x - стабильность

Для таких элементов могут указываться показатели β_x при высоких разностях давлений. Как демонстрируется на рис. 11, поддерживают бетамикрон-элементы конструктивного исполнения ВН постоянные показатели β_x вплоть до высоких разностей давлений на фильтроэлементе.

Такая стабильность показателя β_x требуется для того, чтобы обеспечивать бесперебойный режим работы сервоклапанов и пропорциональных клапанов.

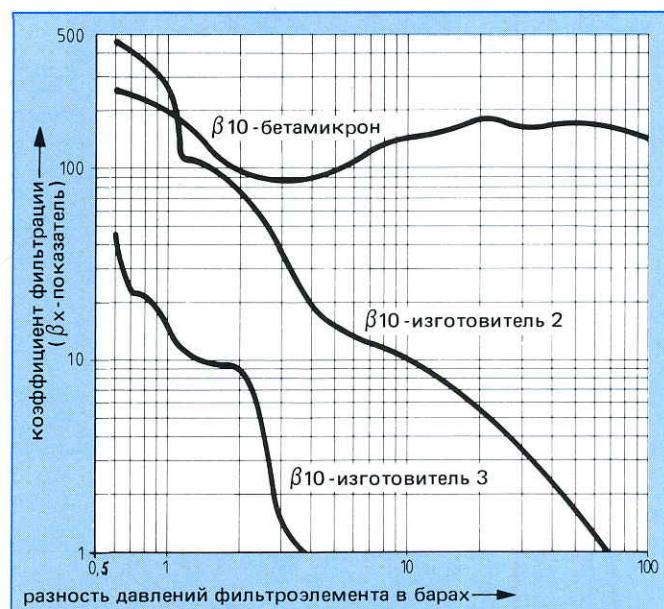


Рис. 11: Характеристика β_{10} -показателей в зависимости от повышения разности давлений элементов различных изготовителей

Динамически гидравлические нагрузки, пики давлений в связи с быстро выполняемыми операциями по переключению, молниеносно изменяющиеся потоки и отличающиеся друг от друга температурные диапазоны, непринятие во внимание индикации загрязнений — все это не оказывает неблагоприятного воздействия на задерживающие способности таких элементов.

При фильтроэлементах в сливной линии (со встроенным перепускным клапаном) показатели β_X должны поддерживаться до разности давлений, которая во много раз выше, чем давление открытия перепускного клапана или точки срабатывания индикации загрязнений.

Конструктивные особенности бетамикрон-элементов

Направление протекания: снаружи во внутрь. Инверсия протекания разрушит фильтроэлемент (отрицательные пики давления, образование вмятин на фильтроэлементах). В таких случаях следует встроить быстрозакрывающиеся обратные клапаны после фильтроэлемента. Прекрасно оправдал себя монтаж корпуса фильтра со встроенными клапанами (например, конструктивный ряд фильтров DFF) в таких случаях.

Звездообразное складывание: Для обеспечения большей фильтрующей поверхности, а вследствие этого длинного срока службы, предусматривается для фильтроэлемента звездообразно сложенная набивка фильтра (матрица).

Срок службы фильтроэлементов: Срок службы или интервалы между сменой фильтроэлементов устанавливаются в зависимости от поглотительной способности фильтров удерживать грязь. Такая способность может чрезвычайно отличаться при одинаковом элементе, но при различных рабочих режимах.

К влияющим физическим величинам относятся:

- нагрузка со стороны загрязнения системы,
- гидравлическая нагрузка элемента,
- полезный спектр разности давлений на элементе.

Нагрузка со стороны загрязнения системы определяется посредством образования грязи в системе, доли проникновения грязи, размера частиц и их количества, а также посредством вида загрязнений.

К влияющим физическим величинам для гидравлической нагрузки относятся: поверхность фильтрующего элемента, поток, рабочая вязкость, а также рабочее давление и рабочая среда.

Влияющие физические величины для элементов определяются посредством эффективного улавливаемого размера частиц, высокой поглотительной способности фильтров удерживать грязь и конструкции набивки фильтра.

Для того, чтобы для поглотительной способности удерживать грязь можно было обеспечивать по мере возможности больший полезный спектр разности давлений, рекомендуется при определении типоразмера исходить по мере возможности из незначительной потери давления при чистом элементе. Это изображается наглядно на рис. 12. Здесь подается разность давлений на элементе при повышении загрязнения и рабочего времени. Можно ясно распознать, что при незначительной начальной разности давлений Δp возможной является более высокая реальная поглотительная способность удерживать грязь, чем при высокой начальной разности давлений Δp . В обоих случаях составляют перепускной клапан, индикатор загрязнений или постоянство разности давлений элемента верхний предел для максимальной нагрузки элемента.

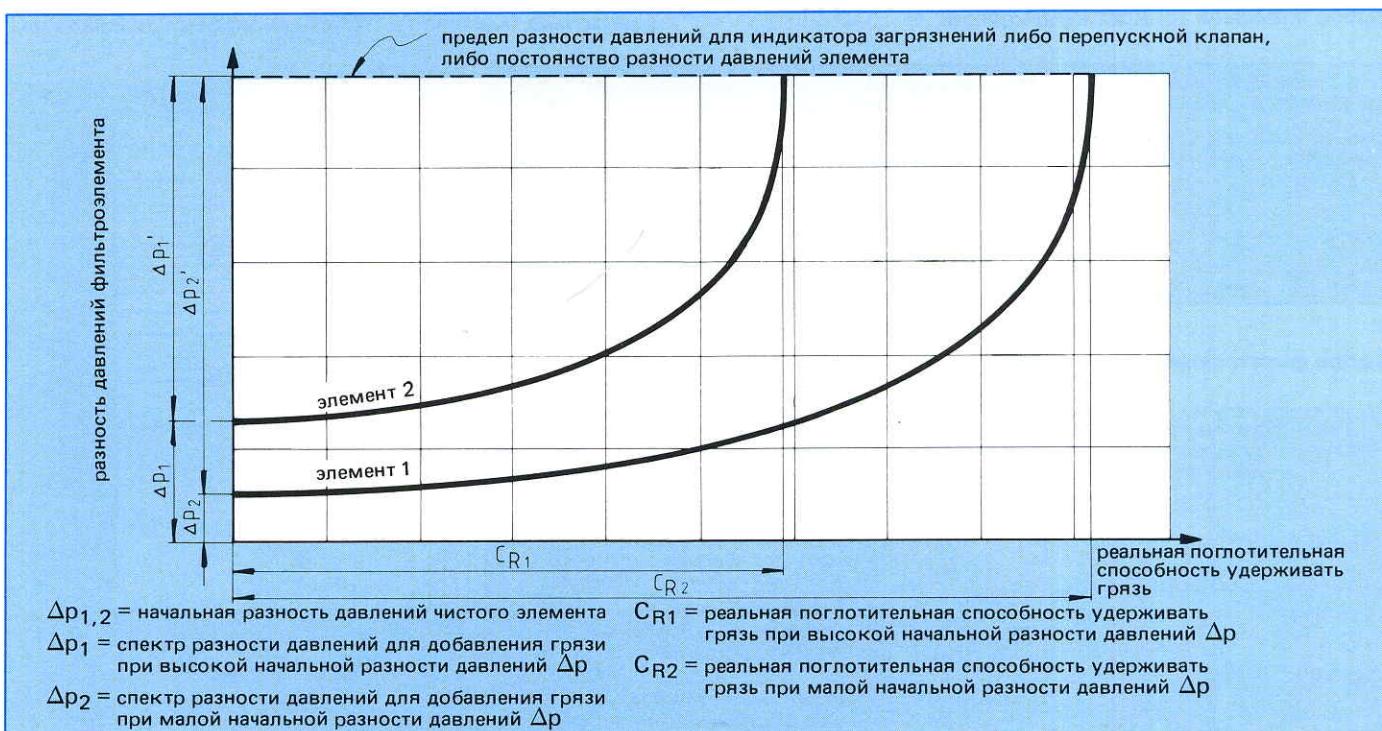


Рис. 12: Отбор грязи в зависимости от начальной разности давлений Δp

Выбор параметров для фильтра

Решающую роль при выборе соответствующего гидравлического фильтра играют, наряду с требованием относительно надежности в эксплуатации и срока службы для сервоклапанов и пропорциональных клапанов, также стоимость установки и эксплуатационные расходы.

Благодаря выбору фильтроэлементов тонкой очистки и высокого качества, предоставляется возможность значительным образом улучшать надежность в эксплуатации и срок службы сервоклапанов и пропорциональных клапанов.

При определении типоразмера фильтра, тонкости фильтрации и конструкции фильтра следует учитывать следующие критерии:

- Чувствительность к загрязнению сервоклапанов и пропорциональных клапанов:

Следует обращать внимание на тонкость фильтрации или требуемый класс чистоты.

- Область применения всей гидравлической установки

При этом следует обращать внимание на возможную нагрузку со стороны загрязнения под воздействием окружающей среды (лабораторная установка или установка на металлургическом заводе).

- Определение расхода

Такой расход может быть временами выше, чем макс. объемная подача насоса (например, при дифференциальных цилиндрах или сливных линиях из нескольких контуров).

- Допустимое падение давления (корпус и элемент) при чистом элементе

При напорных фильтрах:

1,0 бар, при чистом элементе и рабочей вязкости.

При фильтрах в сливной линии:

0,5 бар, при чистом элементе и рабочей вязкости.

Выбор желаемой тонкости фильтрации

Классы загрязнения CETOP RP 70 NAS 1638				Предлагаемые тонкости фильтрации $\beta_x \geq 100$	Применение для
>5 мк	>15 мк	>5 мк	>15 мк	X = 3	сервоклапанов при раб. избыт. давлении >160 бар
13	10	4 и 5	3 и 4	X = 5	сервоклапанов при раб. избыт. давлении <160 бар
15	12	6 и 7	5 и 6	X = 10	пропорциональных клапанов

Выбор фильтроэлементов

Тип элемента	Постоянство разности давлений	Тонкость фильтрации x	Обозначение элементов на фирме Рексрот	Диапазоны применения
BH/HC	210 бар	3	... D 003 BH/HC	напорный фильтр, предохранение функции и длительности службы сервоклапанов и пропорциональных клапанов
		5	... D 005 BH/HC	
		10	... D 010 BH/HC	
BN/HC	30 бар	3	... R 003 BN/HC	фильтр в сливной линии с перепускным клапаном; давление открытия: 3 бара
		5	... R 005 BN/HC	
		10	... R 010 BN/HC	
		3	... D 003 BN/HC	фильтр в ответвлении, фильтроэлемент для промывания установки
		5	... D 005 BN/HC	
		10	... D 010 BN/HC	

— Допустимая разность давлений фильтроэлемента должна соответствовать условиям системы на месте монтажа фильтра

— Должна обеспечиваться совместимость материалов фильтра с напорной жидкостью

— Расчетное давление корпуса фильтра (рабочее давление)

— Определение конструкции фильтра:

Какого вида индикатор загрязнений следует встраивать (с оптической, электрической или электронной индикацией)? При напорном фильтре не следует встраивать никакого перепускного клапана.

— Рабочая температура или расчетная температура

Размещение фильтров в контуре гидросистемы

Тонкость фильтрации, избранная в зависимости от случая применения, должна быть одинаковой у всех применяемых фильтров в контуре гидросистемы (гидросистема — заправочный и вентиляционный фильтры).

На установках с более крупным объемом масла производится большей частью фильтрация основного потока посредством фильтра в сливной линии (тонкость фильтрации 20 мк абс.). Требуемый класс чистоты для рабочей среды достигается для пропорциональных клапанов и сервоклапанов посредством использования напорного фильтра с требуемой тонкостью фильтрации непосредственно перед клапаном.

Дополнительно к такому размещению рекомендуется монтаж установки фильтрования в байпасной линии с тонкостью фильтрации 5 мк абс.

Внимание: При таком размещении фильтров должны выбираться больших размеров параметры для напорного фильтра в связи с ожидаемой высокой нагрузкой загрязнения.

Макс. рабочая температура фильтроэлементов составляет 100°C.

Фильтроэлементы должны подвергаться контролю качества при их изготовлении (ISO 2942).

Выбор корпуса фильтра

Вид фильтра	Определение типоразмера фильтра	Примечания
Напорный фильтр	$\Delta p_{\text{корпуса}} + f \cdot \Delta p_{\text{элемента}} \leq 1,0 \text{ бар}$	без перепускного клапана
Фильтр в сливной линии	$\Delta p_{\text{корпуса}} + f \cdot \Delta p_{\text{элемента}} \leq 0,5 \text{ бара}$	с перепускным клапаном
Фильтр в ответвлении	$\Delta p_{\text{корпуса}} + f \cdot \Delta p_{\text{элемента}} \leq 0,3 \text{ бара}$	объемная подача насоса около 5 – 10% вместимости бака без перепускного клапана

f = коэффициент повышения вязкости

Влияние вязкости на выбор параметров для фильтров

Указываемые в проспектах графические характеристики корпуса фильтров и фильтроэлементов взяты по отношению к вязкости, например, к вязкости в 30 мм²/сек. Если расчетная вязкость (большей частью рабочая вязкость) отличается от такой базовой вязкости, то потеря давления на фильтроэлементе (значение на диаграмме) должна пересчитываться на потерю давления при рабочей вязкости.

Такой пересчет осуществляется посредством коэффициента повышения вязкости "f".

Определение коэффициента повышения вязкости "f"

$$f = \frac{\frac{\text{расчетная вязкость}}{30} + \sqrt{\frac{\text{расчетная вязкость}}{30}}}{2}$$

Расчетная формула по Панцеру - Байтлеру, "Рабочее пособие по проектированию гидравлических установок, работающих на масле, и их эксплуатация", 2-е издание, 1969 г.

Диапазон достоверности для такой формулы пересчета лежит в пределах 30 – 3000 мм²/сек.

Определение коэффициента "f" с помощью диаграммы

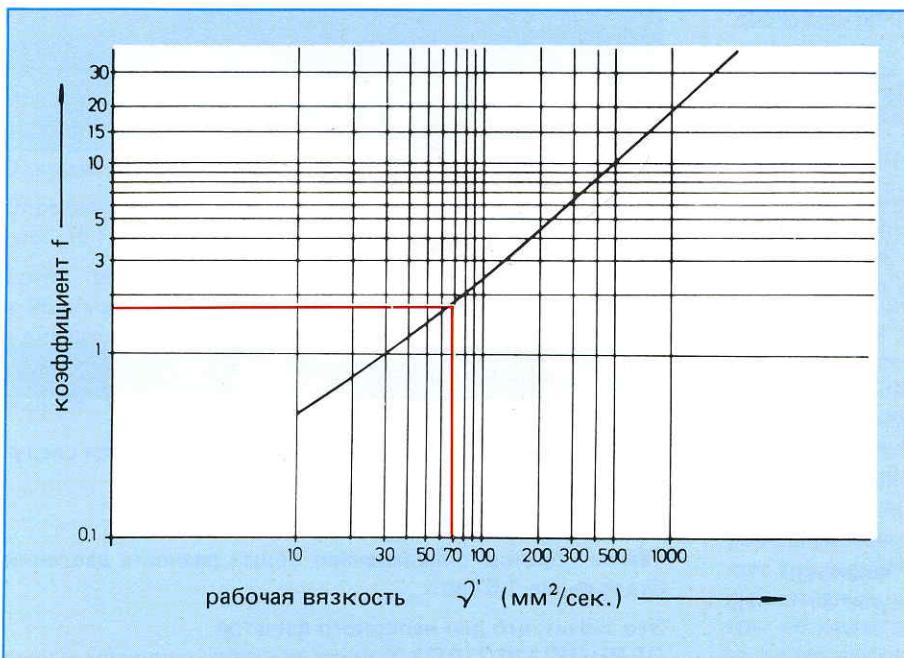


Рис. 13: Графическое изображение коэффициента пересчета вязкости

Пример

Кривые изображаются в проспекте при 30 мм²/сек.
Гидравлическая установка работает с помощью гидравлической жидкости на масляной основе согласно ISO VG 68. Рабочая температура составляет 40°C. Расчеты для гидравлического фильтра должны производиться при указанной рабочей температуре.

1) Вычисление коэффициента f с помощью формулы:

$$f = (68/30 + \sqrt{68/30})/2 = 1,89$$

$f = 1,89$

2) Определение коэффициента f с помощью диаграммы:

С рис. 13 можно непосредственно считывать коэффициент "f" (красная линия).

$f = 1,9$

Влияние плотности жидкости, которую предстоит фильтровать, на типоразмер фильтра

Диаграммы корпуса были определены при плотности в 0,86 кг/дм³ (минеральное масло). Если такая плотность изменится, то установленная разность давлений должна пересчитываться пропорционально к изменению плотности.

Определение общей разности давлений на основании графических характеристик корпуса и графических характеристик элементов

Пример:

- гидравлическая установка с пропорциональными клапанами
- расход: 50 л/мин.
- сорт масло: ISO VG 68
- рабочая температура: 40°C
- рабочее давление: 300 бар
- с электрическим индикатором загрязнения

Способ определения

— Определение тонкости фильтрации

Выбрать на диаграмме "Выбор желаемой тонкости фильтрации" тонкость фильтрации; например:

диапазон применения: пропорциональные клапаны.

Рекомендуемая тонкость фильтрации 10 мк ($\beta_{10} \geq 100$) может считываться.

— Определение конструкции фильтра

Фильтр должен встраиваться непосредственно перед пропорциональным клапаном (предохранение функции и длительности службы). Рабочее давление 300 бар: DF — корпус фильтра должен встраиваться без перепускного клапана.

— Определение конструкции элемента

На диаграмме "Выбор фильтроэлементов" следует выбрать тип элемента и обозначение элемента.; например: диапазон применения: пропорциональные клапаны, предохранение функции и длительности службы.

Требуемый тип элемента: BH/HC

Обозначение элемента: ... D10 BH/HC

— Определение коэффициента повышения вязкости "f"

Установить коэффициент "f" на основании рис. 3: $f = 1,9$

— Определение типоразмера фильтра

Принятый типоразмер: DF ... 110

На основании диаграммы корпуса определить давления при $Q = 50$ л/мин.

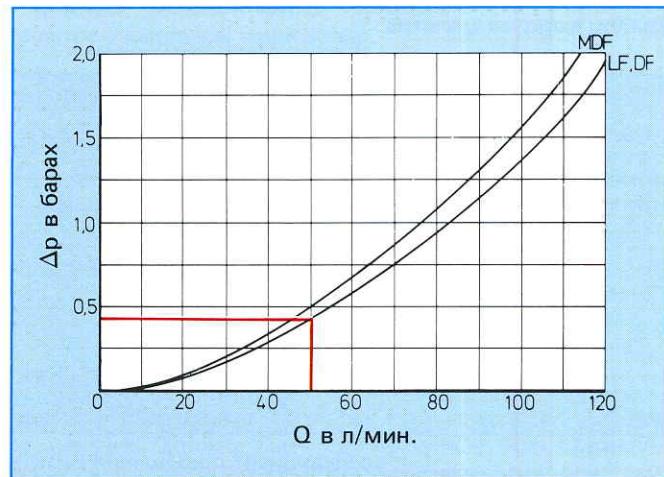


Рис. 14: Диаграмма корпуса из проспекта напор. фильтра

$\Delta p_{корпуса} = 0,4$ бара

Определить на диаграмме элемента потерю давления при $Q = 50$ л/мин.

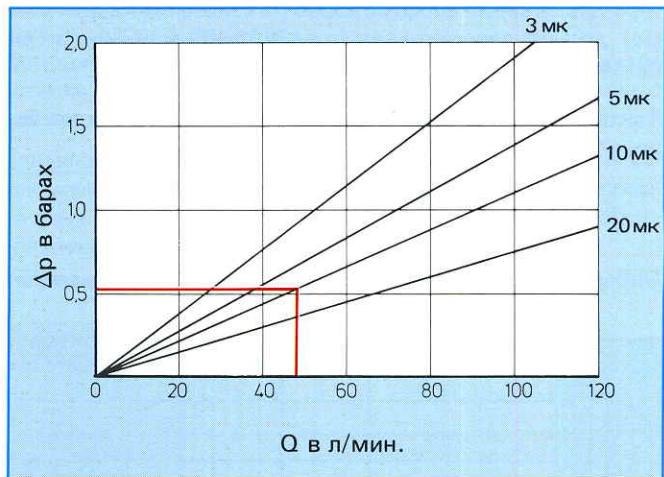


Рис. 15: Диаграмма элемента

$\Delta p_{элемента} = 0,6$ бара

— Определение общей разности давлений

Дробящая = $\Delta p_{корпуса} + f \cdot \Delta p_{элемента}$

Для фильтра DFBH/HC 110 G10 C1.X потребуется следующее вычисление:

Дробящая = 0,4 бара + 1,9 · 0,6 бара = 1,54 бара

Таким образом определенная общая разность давлений будет выше 1,0 бара.

Это значит, что для напорного фильтра DFBH/HC 110 G10 C1.X были выбраны слишком малые параметры.

Теперь следует произвести еще раз вычисления, исходя из большего типоразмера. Если вычисленная общая разность давлений будет ниже макс. начальной заданной разности давлений, то для фильтра были выбраны требуемые параметры.

Для того, чтобы упростить такой относительно сложный метод работы для выбора параметров фильтра, предусматриваются диаграммы для определения типоразмеров фильтра.

Метод работы при использовании диаграмм для определения типоразмеров

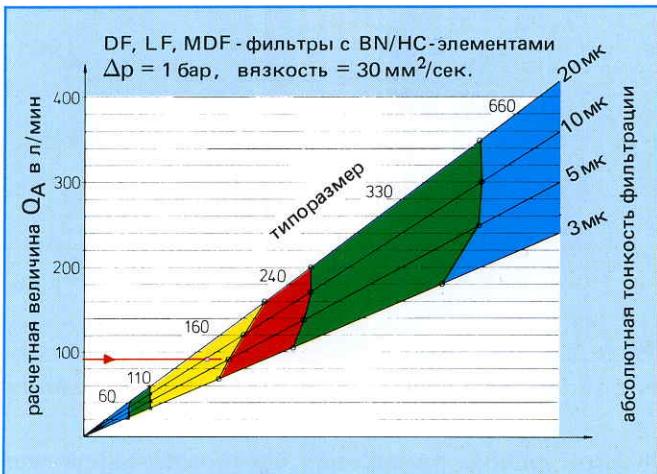


Рис. 16: Диаграмма для определения типоразмеров фильтра при напорных фильтрах

Точка пересечения количества протекающей жидкости (расхода) и тонкости фильтрации определяет типоразмер фильтра.

Если расчетная вязкость отклоняется от лежащей в основе диаграммы вязкости в $30 \text{ мм}^2/\text{сек.}$, то количество протекающей жидкости следует увеличить на коэффициент пересчета вязкости "f".

$$Q_{\text{диаграмма}} = Q_{\text{выбора параметров}} \cdot f$$

Пример:

пропорциональный клапан (предыдущий пример)

$$Q_{\text{диаграммы}} = 50 \text{ л/мин.} \cdot 1,9 = 95 \text{ л/мин.}$$

Определение типоразмеров на основании диаграммы (рис. 16)

Точка пересечения количества протекающей жидкости в 95 л/мин. с тонкостью фильтрации в 10 мк находится в диапазоне для типоразмера 160.

В результате этого применяется должен следующий фильтр: DF BN/HC160 G 10 C 1.X

Для выбора параметров для фильтров в сливной линии (монтаж в баке) следует применять следующие диаграммы (рис. 17 и 18)

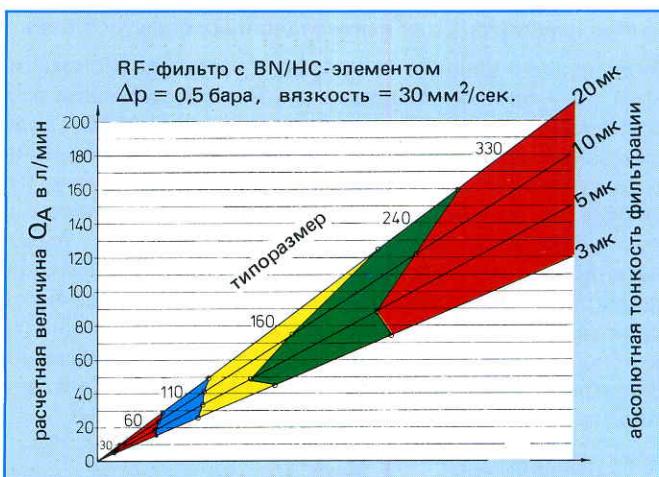


Рис. 17: Диаграмма для определения типоразмера фильтра при фильтрах в сливных линиях с Q до 200 л/мин.

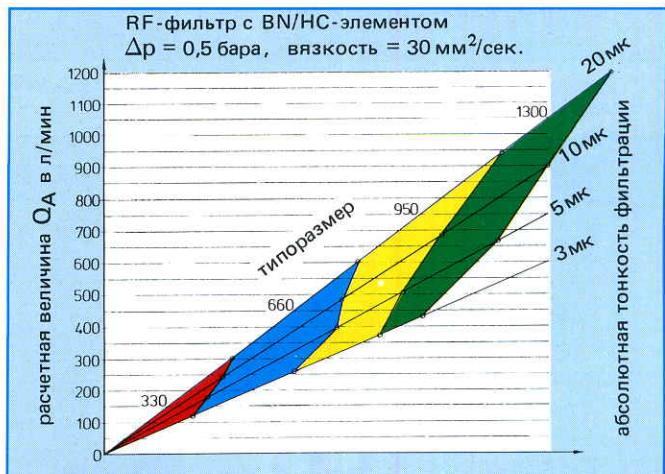


Рис. 18: Диаграмма для определения типоразмера фильтра при фильтрах в сливных линиях с Q до 1200 л/мин.

Выбор параметров для фильтров при фильтрации трудновоспламеняемых жидкостей

При фильтрации трудновоспламеняемых жидкостей в большинстве случаев могут применяться серийные фильтры только условно.

В зависимости от состава жидкости следует производить изменения на корпусе фильтра или его элементе.

При фильтрации таких жидкостей следует уделять особое внимание совместимости с материалом фильтра. В настоящее время у изготовителей фильтров накопилось достаточно опыта для того, чтобы можно было предложить в зависимости от вида жидкости стойкие фильтры. При этом отчасти следует применять другие материалы и предусматривать определенные мероприятия для предохранения поверхности. Это касается также индикаторов загрязнения и других принадлежностей. Кроме того, для трудновоспламеняемых жидкостей по сравнению с минеральными маслами рекомендуется применять фильтры больших размеров. Это является необходимым из-за более высокой характеристики износа компонентов, мыльных остатков, образования микроорганизмов, а

также из-за изменения связывающей способности грязи. При выборе параметров для системы фильтрации рекомендуется посоветоваться с изготовителем фильтров.

Выбор параметров для вентиляционных фильтров бака

Значительное влияние на грязевую нагрузку системы имеет доля проникновения грязи. В этом отновении особое задание должна выполнять вентиляция бака. Такая вентиляция должна предотвращать, чтобы загрязнения в окружающей среде смогли проникать в систему, несмотря на обмен воздуха. Неправильно или небрежно проектированная вентиляция резервуаров может вызывать дополнительную, сильную нагрузку для контура фильтрации, и вследствие этого это будет укорачивать срок службы фильтроэлементов. Значения мощности вентиляционных фильтров должны быть согласованы с фильтрами в системе. При выборе параметров фильтров просим учитывать следующие технические данные:

тонкость фильтрации: $\beta_3 \geq 100$;

расчетная величина для воздушного фильтра: 10-кратное макс. колебания объема в резервуаре для жидкости;

расчетная разность давлений при чистом фильтроэлементе и расчетной величине: 0,02 бара.

Конструктивные особенности гидравлических фильтров

Напорный фильтр (монтаж в линии)

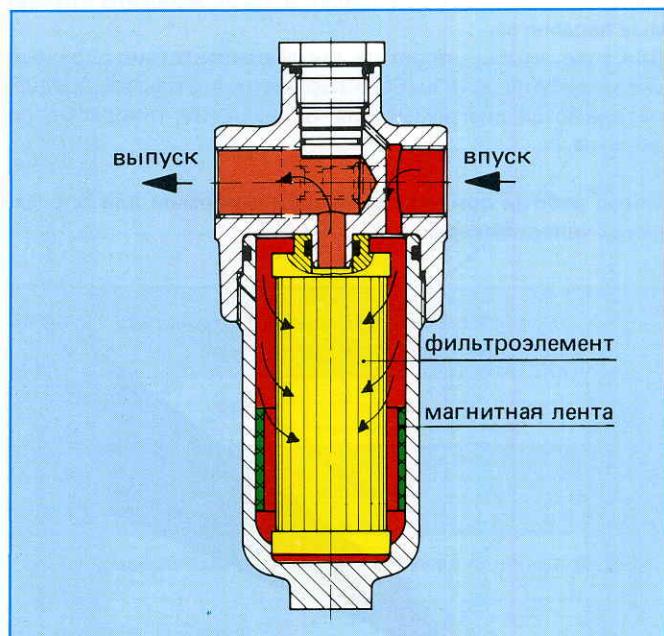


Рис. 19: Напорный фильтр в разрезе (монтаж в линии)

Фильтры должны применяться без перепускных клапанов. Жидкость должна всегда протекать через фильтроэлемент в направлении снаружи во внутрь (Просим учитывать стрелку для указания направления потока на головке фильтра.). Непременно следует встраивать индикатор загрязнения фильтра.

Напорные фильтры для непосредственного пристривания к пропорциональным клапанам и сервоклапанам.

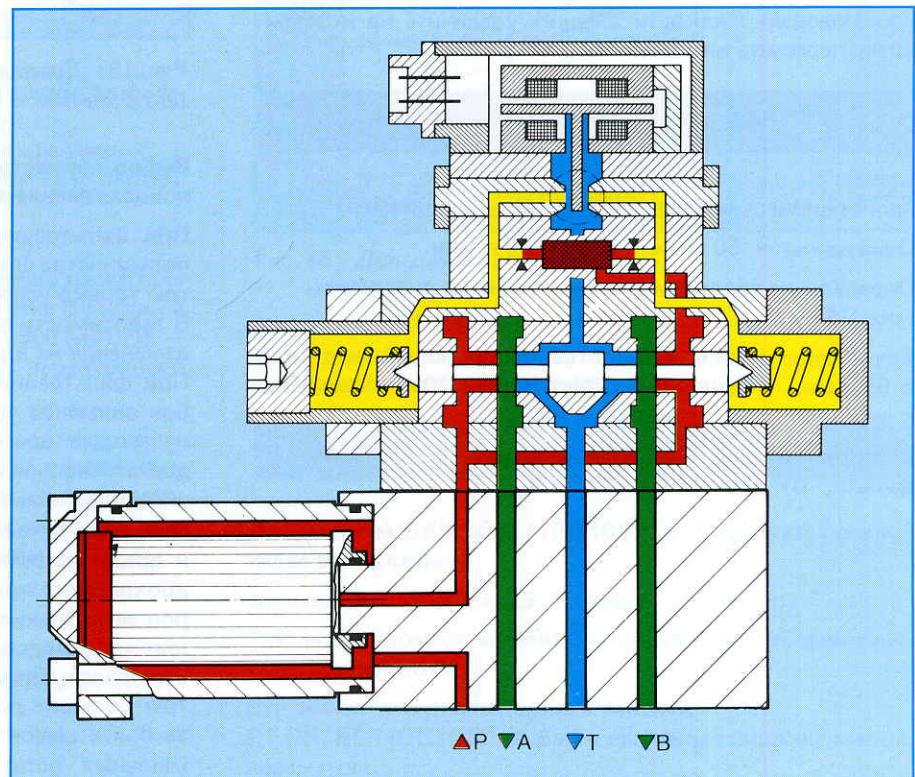


Рис. 20:
Напорный фильтр, размещененный непосредственно под клапаном

Благодаря такому размещению фильтра обеспечивается, чтобы между фильтром и клапаном не могло быть никаких загрязнений и чтобы вместе с функцией клапана смогла осуществляться промывка установки.

Фильтры в сливной линии (монтаж в баке)

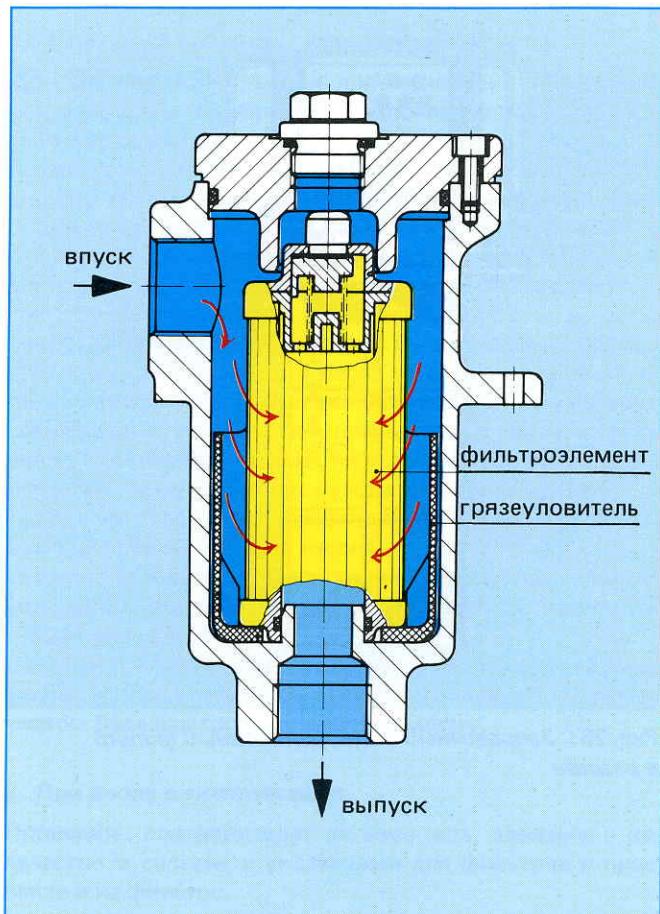


Рис. 21: Фильтр в сливной линии в разрезе (монтаж в баке)

Для того, чтобы исключалась возможность ошибочных включений на клапанах или других гидравлических приборах, фильтры в сливной линии применяются большей частью в сочетании с перепускными клапанами.

Протекание жидкости через фильтроэлемент осуществляется, как правило, всегда в направлении снаружи во внутрь.

Непременно следует предусматривать индикатор загрязнения фильтра, поскольку в противном случае не сможет регистрироваться открывание перепускного клапана. Благодаря монтажу грязеуловителя предотвращается, чтобы при смене элемента смогла попадать сильно загрязненная жидкость в бак.

Указанное рабочее избыточное давление в 25 бар относится к корпусу фильтра при динамической нагрузке.

Индикации загрязненности

Для индикации и контроля точки для смены или очистки фильтроэлементов имеются различные конструктивные исполнения индикаторов загрязненности. При оптической индикации следует следить за тем, чтобы она не закрывалась посредством деталей обшивки, поскольку в таком случае она будет упираться из виду. Электрические индикации могут монтироваться на труднодоступных местах, поскольку индикация момента времени для проведения техухода производится с помощью часто применяемого электрического сигнала.

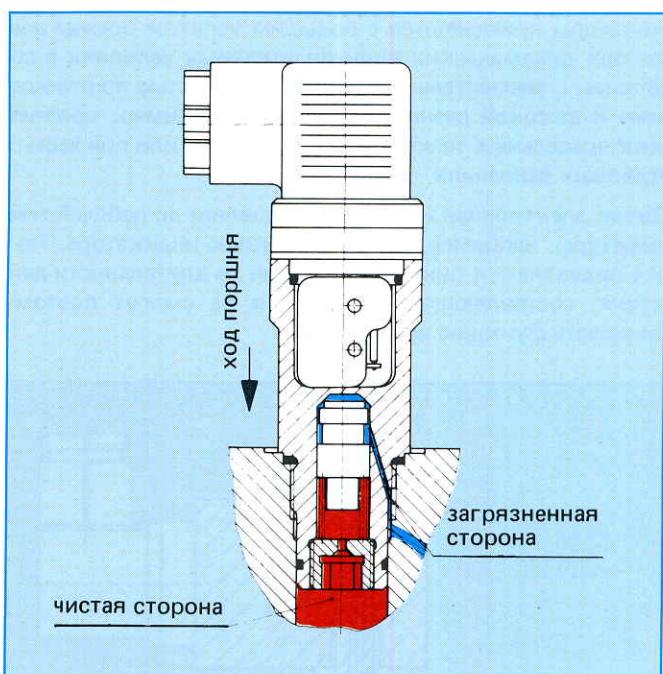


Рис. 22: Электр. индикатор загрязненности фильтра

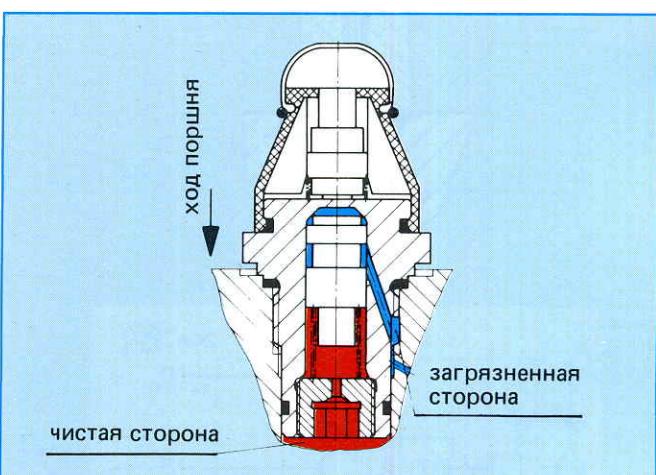


Рис. 23: Оптический индикатор загрязненности фильтра

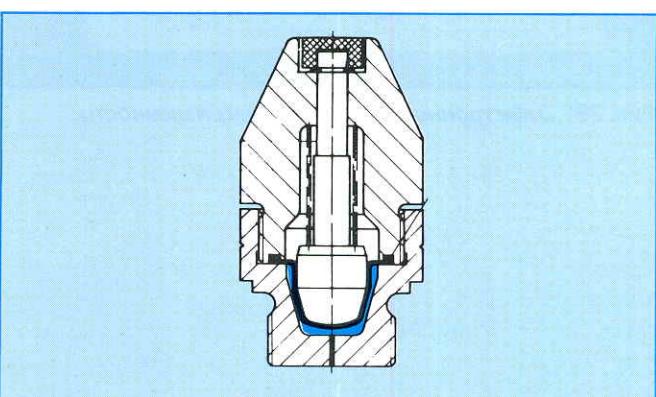


Рис. 24: Оптический индикатор скоростного напора для фильтров в сливной линии

Для особых случаев применения в распоряжении имеют-ся электронные индикаторы загрязненности. Такие индикаторы применяются с большим успехом прежде всего при динамических производственных условиях в сочетании с элементами с высокой стойкостью по отношению к высокой разности давлений. Например: при низких предельных температурах при пуске или при частых пиковых давлениях.

Такая электронная индикация подавляет до рабочей температуры, например, в 32°C функцию индикатора. Также подавляются пиковые давления до длительности действия, составляющей 9 секунд, и не смогут поэтому включать функцию индикатора.

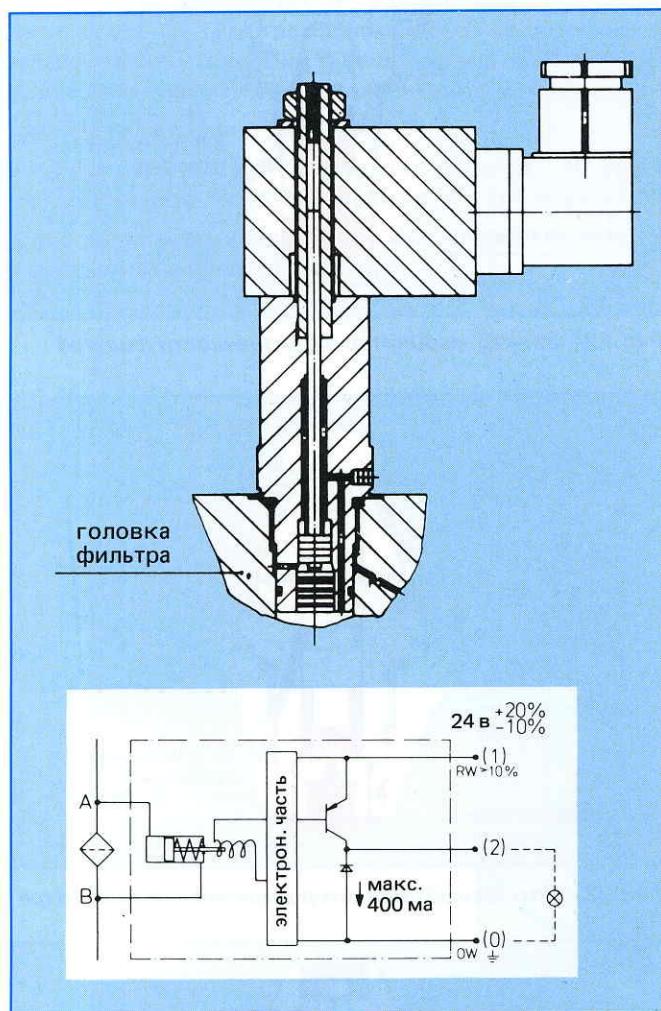


Рис. 25: Электронный индикатор загрязненности

Заправочный и вентиляционный фильтр

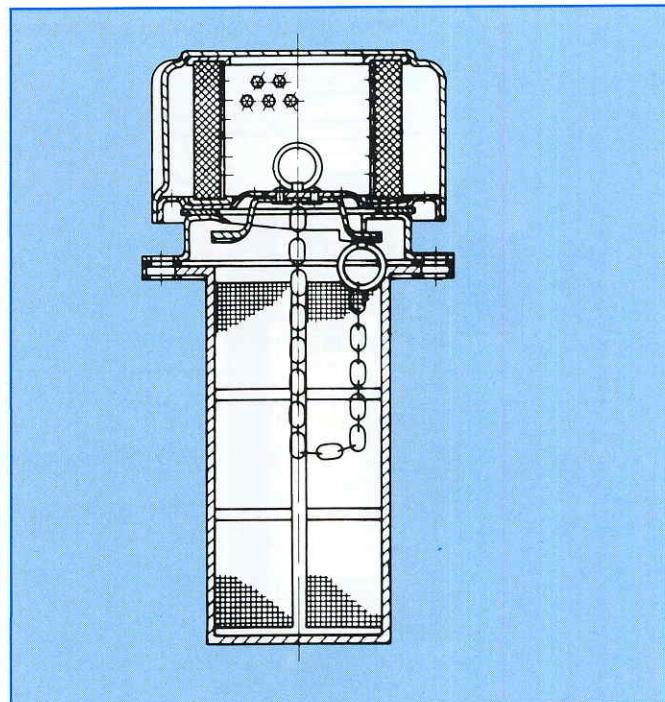


Рис. 26: Заправочный и вентиляционный фильтр в разрезе

Указания для проведения техухода

1. Заправка и промывка гидравлической установки

Другую возможность для проникновения загрязнений снаружи представляет собой заправка установки рабочей жидкостью.

В связи с изготовлением, разливом, транспортом и складированием новая рабочая жидкость может иметь относительно высокую степень загрязненности. Для того, чтобы можно было исключать такую возможность, рекомендуется такую жидкость влиять в систему через один из фильтрующих агрегатов, изображенных на *рис. 2*.

Такие фильтрующие агрегаты также хорошо годятся для промывки установки перед ее вводом в эксплуатацию. В результате промывки поникаются загрязнения, возникшие вследствие монтажных работ, до требуемой для надежного режима работы установки степени загрязненности, не нагружая без нужды фильтры системы.

Размер присоединения для заполнения следует выбирать в соответствии с подачей насоса.

В качестве тонкости фильтрации следует предусматривать, как минимум, такую же тонкость фильтрации, как у фильтров в системе.

Для быстрого управления приборами, изображенными на *рис. 2*, рекомендуется предусматривать на гидравлическом баке быстродействующую муфту.

2. При вводе в эксплуатацию

Проверять, соответствуют ли жидкость, давление и количество в системе с указаниями для фильтров в проспекте и на фильтре.

3. Во время рабочего режима

Открывать корпус фильтра и очищать фильтр при срабатывании индикации.

Если на корпусе будет установлена утечка, то в таком случае следует возобновить соответствующее уплотнение.

Внимание! Перед открыванием снять давление с фильтра.

4. Смена элементов

- а) Все фильтроэлементы следует, как правило, менять по истечении года эксплуатации.
- б) При поступлении сигнала "Фильтр загрязнен" следует менять элемент.
- в) При смене элемента не должна проникать в гидросистему никакая загрязненная среда. Загрязненная среда должна сливаться из корпуса фильтра перед сменой элемента.

Для заметок

Глава L

**Примеры выполненных установок с
использованием пропорциональных клапанов
и сервоклапанов**

Йозеф Хуттер

Предисловие

Все больше и больше возрастают требования, предъявляемые к пропорциональной технике. В такой же степени повышаются требования, предъявляемые к плановикам гидравлических установок, использующих такую технику.

Наряду с хорошими знаниями о функциях приборов, при монтаже переключений следует обратить внимание на некоторые важные критерии, как, например:

- Собственная частота системы.
- Правильный выбор поршня.
Падение давления на кромках управления !
- Диапазон управления — Q_{\min}/Q_{\max} .
- Влияние изменений массы, скорости, давления и вязкости.
Пределы зависимого от времени замедления.
- Требуются ли клапаны постоянной разности давлений ?
Клапан постоянной разности давлений на входе / клапан постоянной разности давлений на выходе.
- Требуются ли тормозные клапаны или подпорные клапаны ?
- Преобразование давления при дифференциальных цилиндрах и клапан постоянной разности давлений на выходе.
Суммарное давление у двигателей !
- Является ли целесообразным и необходимым повышение разности давлений Δp регулирования на клапанах постоянной разности давлений ?
- Является ли вообще возможным регулирование или необходимо будет предусмотреть регулирование ?
- Выбор клапанов с требуемыми динамическими свойствами для соответствующего задания, в особенности при регулировании.

Последующие примеры из различных отраслей промышленности подают общий обзор типичных постановок задач. На основании таких примеров можно ясно установить, что при этом учитывались указанные критерии.

Существенную роль для проектирования управлений и приводов в пропорциональной технике играет точное определение постановки задач. Если будет налицо точно представленная постановка заданий, то — почти без исключений — при первом подходе к решению таких задач возможным является определить оптимальное решение.

Радиоуправление для монорельсовой подвесной дороги на горных разработках

Для транспорта материала и перевозки людей применяются на горных разработках монорельсовые подвесные дороги с канатным управлением.

Благодаря простой перестановке скорости, сохраняя при этом требуемые тяговые усилия во всем диапазоне скорости вращения, хорошо оправдали себя гидростатические передачи для транспортных установок с канатным управлением.

Изменение объема подачи насоса, а вследствие этого скорости дороги, осуществляется в зависимости от давления управления. Угол поворота аксиально-поршневого насоса пропорционален давлению управления датчика..

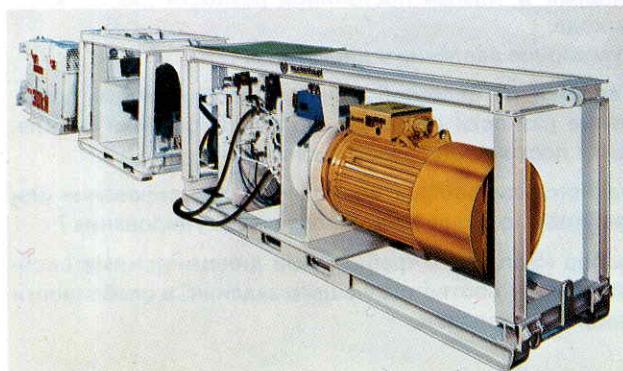
Для того, чтобы обеспечивалась непрерывная готовность к вводу в эксплуатацию, предусматривается для регулирования давления управления, а вследствие этого для перестановки насоса, 2 системы:

- 1) система с трехлинейным пропорциональным регулятором давления 3 DREP6 C (поз. 1)
- 2) система с аппаратом дистанционного управления 2 TH7 (поз. 2), управляемого от руки.

Включение в действие регулятора давления производится через радиосвязь. Для этого у машиниста имеется в распоряжении переносной радиопередатчик. Передача на высокой частоте между передатчиком и приемником производится в диапазоне частот около 30 мГц. Полученные частотномодулированные сигналы основаны на цифровом методе модуляции, так называемой кодово-импульсной модуляции (КИМ), который по сравнению с другими методами обеспечивает максимальную надежность связи.

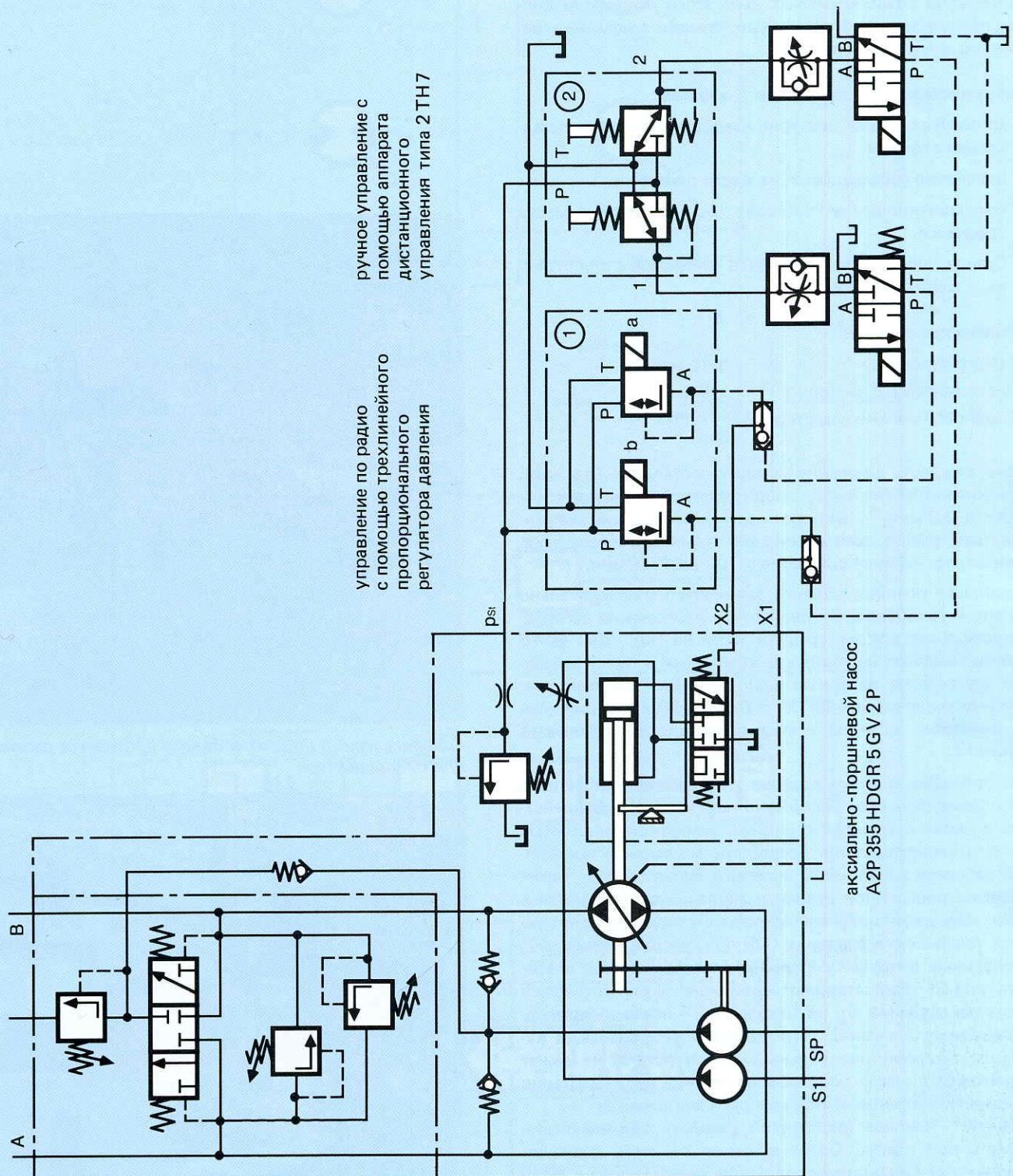
При ручном управлении приводом ходового устройства через аппарат дистанционного управления 2 TH7 с поста управления оператор поддерживает связь с машинистом поезда через радиотелефон. Для передачи радиосигналов служит размещенный вдоль участка пути коаксиальный кабель.

Как пропорциональный регулятор давления 3 DREP6 C, так и аппарат дистанционного управления 2 TH7, были сконструированы и допущены к вводу в эксплуатацию согласно нормам и правилам безопасности на горных разработках BVS.



На фото изображено устройство радиоуправления для монорельсовых подвесных дорог на горных разработках. На переднем плане виден пропорциональный регулятор давления 3 DREP6 C, а за ним - аппарат дистанционного управления 2 TH7. Оба устройства выполнены в компактном металлическом корпусе с окошками для контроля работы механизмов.





Привод ходового устройства для вагонетки для смены цистерн на одном сталеплавильном заводе по производству бессемеровской стали.

Футеровки конвертеров изнашиваются и должны время от времени возобновляться. Для этого конвертер должен перемещаться на различные позиции с помощью вагонетки для смены цистерн.

Смена цистерн производится в 4-х фазах:

- 1) Демонтированная цистерна передвигается на площадку для стоянки.
- 2) Вагонетка перемещается на место доставки.
- 3) Отремонтированная цистерна перемещается к месту продувки.
- 4) Старая цистерна перемещается с площадки для стоянки к месту доставки.

Технические данные:

Диаметр тележки	16 м
Высота тележки с цистерной	9 м
Общий вес тележки с цистерной	1200 т

Макс. скорость движения тележки составляет 15 м/мин. Это соответствует числу оборотов на 4-х ведущих колесах в 3,2 мин.⁻¹. Скорость движения должна регулироваться плавно, совершенно без толчков и высокочувствительно, начиная примерно с "0" до 15 м/мин.

Отдельные позиции должны заниматься с относительно высокой точностью. В одной точке пересечения вагонетка вращается вокруг средней части на 90°. Для этого приподнимается вагонетка в комплекте и после вращения опускается на новую пару рельсов. При этом точность позиционирования составляет ± 30 мм; принимая во внимание размеры и массы, это довольно большая величина.

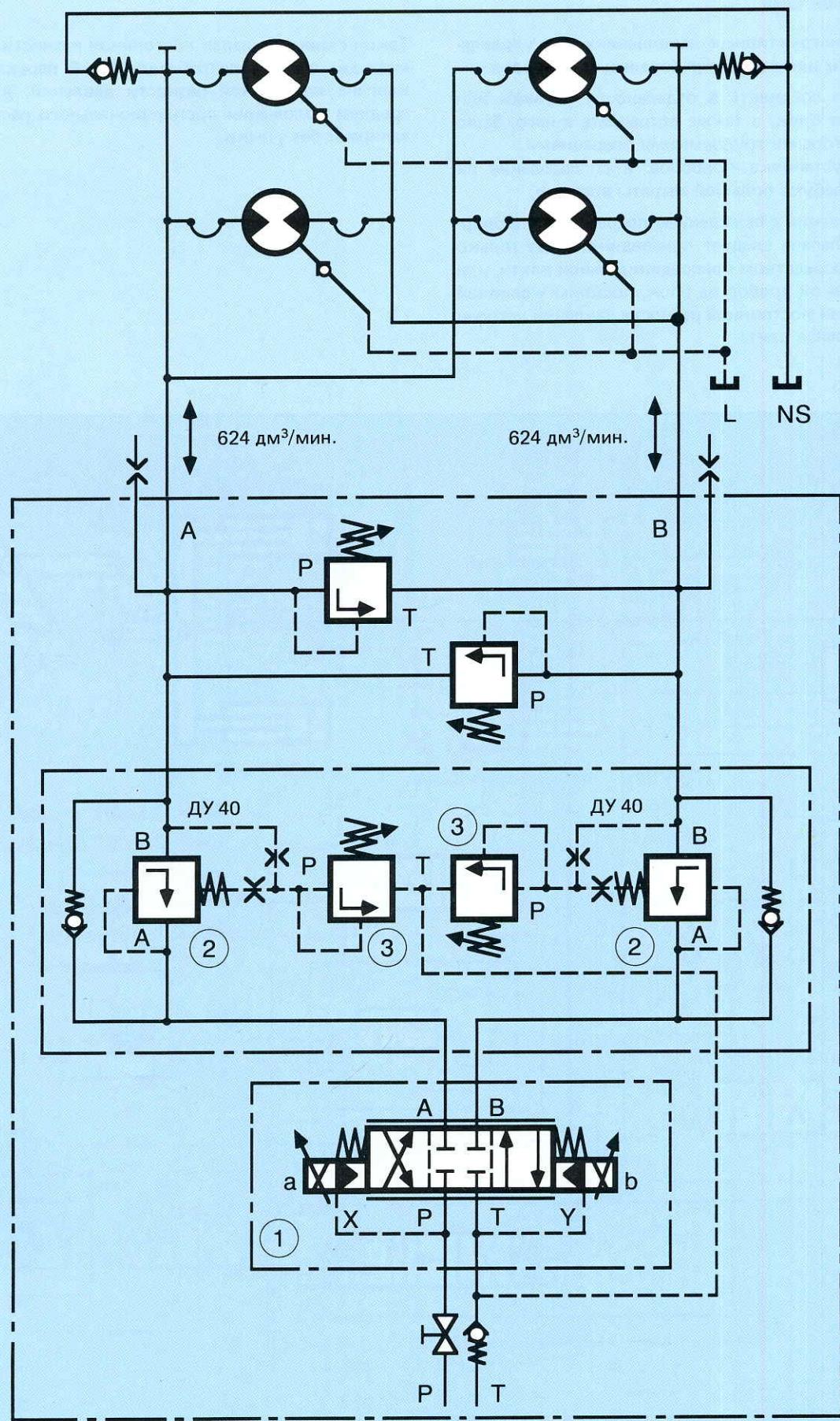
Все операции по перемещению управляются с помощью пропорционального распределителя (поз. 1). Воздействия в связи с трением о рельсы, нагрузкой, вязкостью и т.п. компенсируются посредством клапанов постоянной разности давлений на выходе в линиях А и В. Такие клапаны постоянной разности давлений встраиваются в блок как двухлинейные встроенные клапаны с функцией уменьшения давления (DR-логические элементы). Встроенные в крышку клапаны для ограничения давления (поз. 3) предоставляют возможность для установки разности давлений Δp на диафрагме (= поршень пропорционального клапана). Это является необходимым из-за того, что пропорциональный клапан WRZ 32 не может справиться с макс. расходом величиной в 624 дм³/мин. при жестко установленной разности давлений Δp в 8 дар/см² клапана постоянной разности давлений-промежуточной плиты. Более высокая разность давлений Δp вызовет больший расход. Пропорциональный клапан получает предварительно команду от руки с помощью датчика ручного управления. Для оператора при этом очень важно, чтобы определенный угол отклонения датчика всегда вызывал одинаковую скорость. Такие аналогии всегда обеспечивают сливные клапаны постоянной разности давлений, также тогда, когда будут изменяться вышеуказанные воздействия.



Гидравлический привод ходового устройства вагонетки для смены цистерн



Вагонетка для смены цистерн устанавливается на позицию через пересечение рельсовых путей



**Загрузочный, устанавливаемый вверх,
тягач в прокатном цехе**

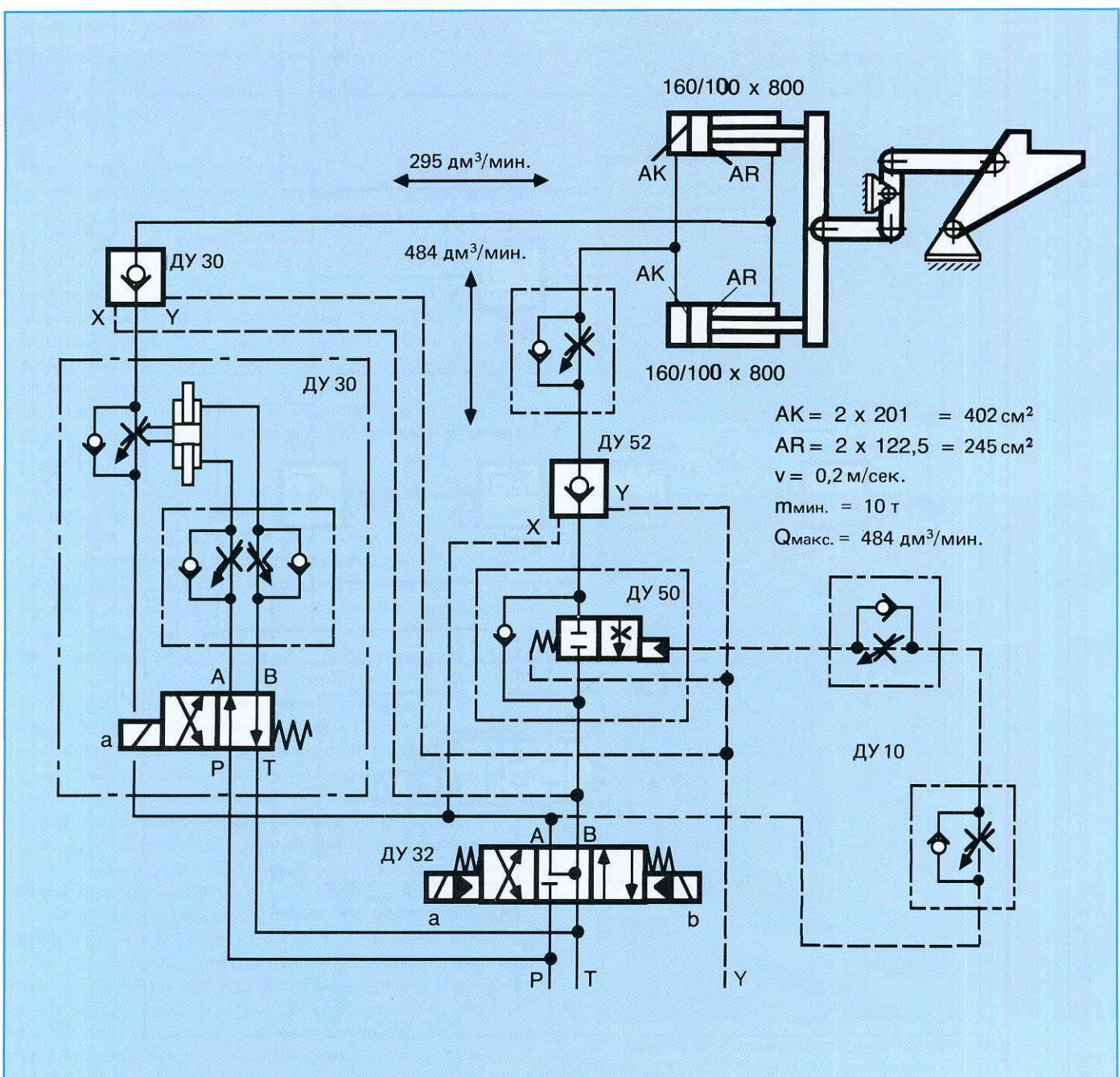
В прежних конструктивных исполнениях для управления поворотным цилиндром требовалось 8 приборов.

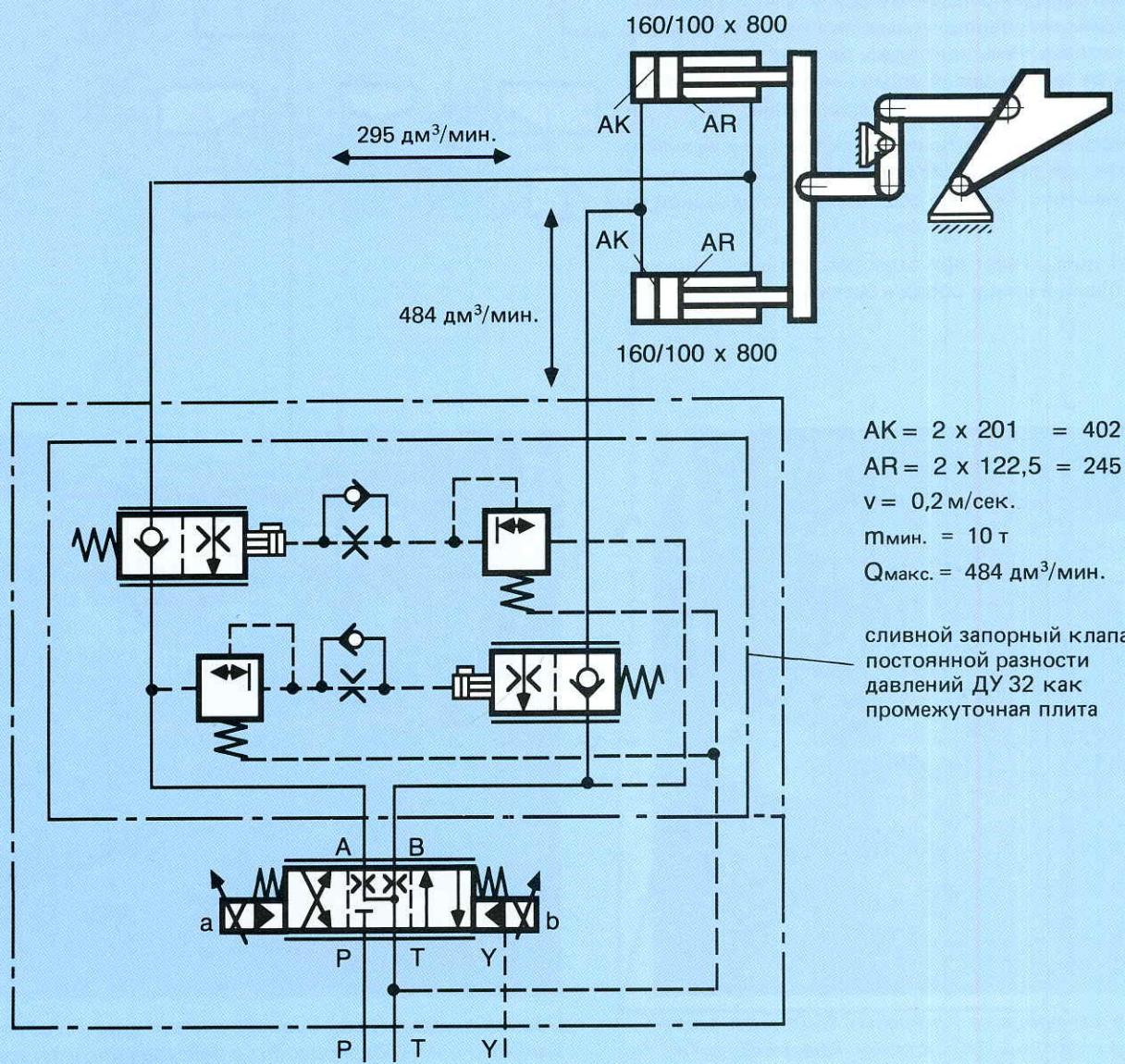
Такие приборы соединять в отдельности трубами или надстраивать на блок, а также встраивать в него, было связано с некоторыми трудоемкими операциями.

Оптимальная установка приборов и согласование их между собой требуют большой затраты времени.

В новом исполнении с оснащением посредством пропорционального клапана следует присоединять еще только один прибор посредством присоединительной плиты, или надстраивать такой прибор на блок, поскольку сливной запорный клапан постоянной разности давлений устроен как промежуточная плита.

Такой сливной клапан постоянной разности давлений имеет два в линии потребителя А и В переключающихся клапана постоянной разности давлений, которые при среднем положении пропорционального распределителя запирают без утечки.





Подъемное устройство на поточной линии сварки

Поточная линия сварки используется для изготовления кузовов легковых автомобилей. Общая длина установки составляет 30 м. Все 12 подъемных позиций вместе поднимаются и опускаются с помощью специального устройства. Посередине подъема производится прием или откладывание материала. Скорость приема не должна превышать 0,15 м/сек. для того, чтобы вложенные детали из листового металла не выбрасывались из устройства. С другой стороны, операции по подъему или опусканию должны производиться по мере возможности быстро.

В данном случае применяется пропорциональный клапан вместе с электронными приборами для зависимого от перемещения замедления.

Электронные выключатели приближения, так называемые аналоговые инициаторы, проводятся вдоль железных кулачков. С приближением инициатора к кулачкам уменьшается аналоговым способом выходное напряжение до 0 вольт. Такое напряжение подводится к специально для этого предусмотренному усилителю и управляет таким образом регулировочными магнитами пропорционального клапана. Речь идет здесь не о регулировке, а о зависимом от перемещения управлении с аналоговой регистрацией перемещения в фазе торможения.

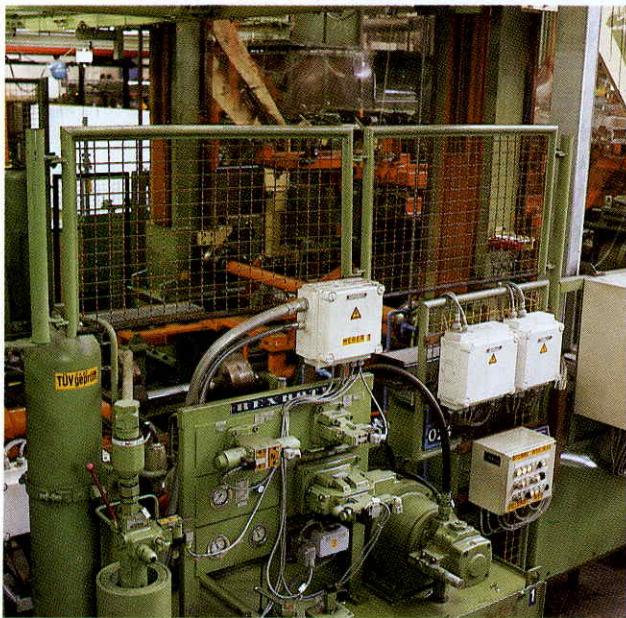
Как демонстрируется на примере, скорость может понижаться на любой позиции подъема посредством кулачка до любой величины и снова повышаться до исходной величины.

Решающую роль играет при этом расстояние X кулачка к соединительной линии обоих конечных кулачков.

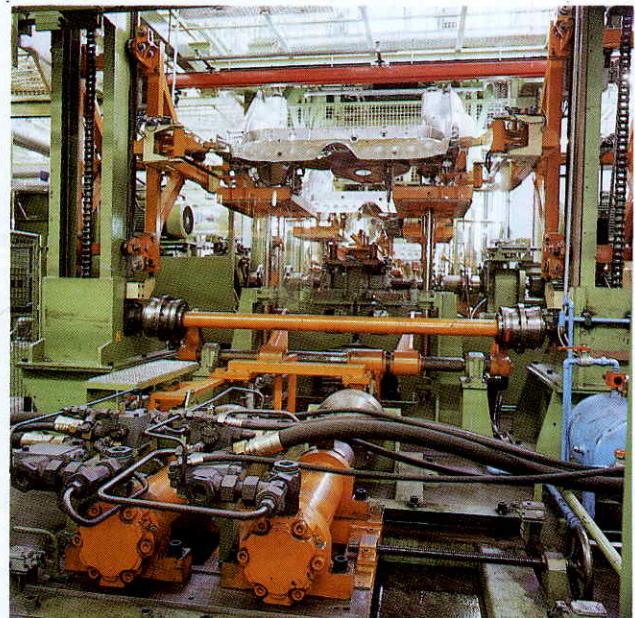
Поскольку аналоговая регистрация перемещения должна быть эффективной в диапазоне тормозного пути, можно оснащаться посредством таких устройств установки любой длины, как, например, приводы ходового устройства.

Такая техника применяется преимущественно в тех случаях, когда с различными кинетическими энергиями одного привода требуется перемещаться на одну позицию с относительной точностью повторения.

Если скорость привода будет примерно выше 1 м/сек., то ей следует принципиально отдать предпочтение перед замедлением, зависимым от времени.

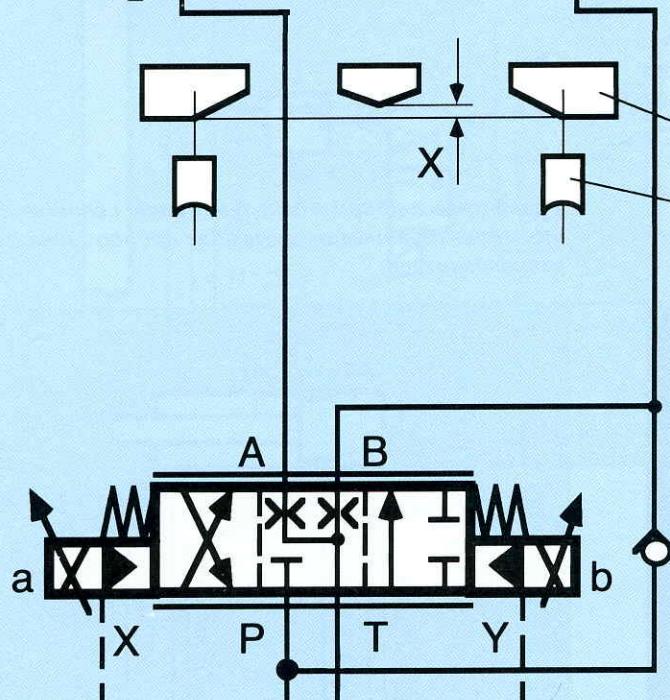
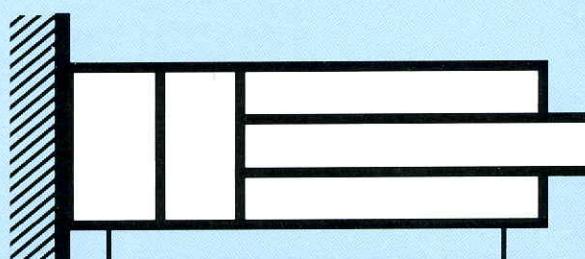
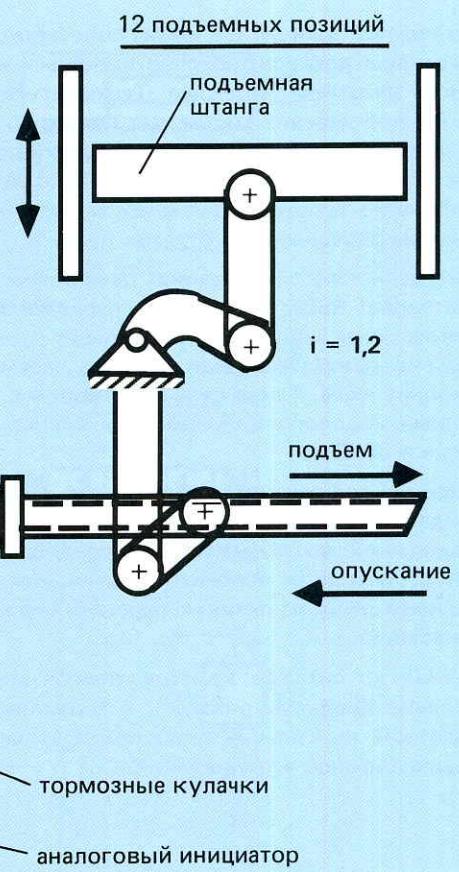


Требуемые для процесса ускорения 460 л/мин. поставляет аккумуляторный блок слева. Пластинчатый насос V4, расположенный справа, заполняет аккумулятор в неподвижных фазах. Справа размещается пропорциональный распределитель 4WRZ 25.



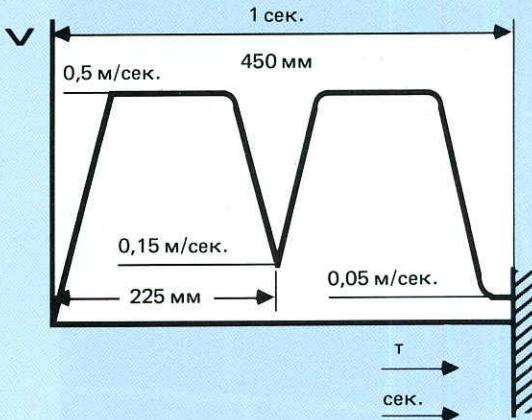
Один цилиндр, второй цилиндр служит в качестве резервного цилиндра, приводит в действие посредством механических устройств все 12 позиций одновременно.

$D = 140 \text{ мм}$
 $d = 100 \text{ мм}$
 $H = 450 \text{ мм}$
 $v_{\text{макс.цил.}} = 0,5 \text{ м/сек.}$
 $v_{\text{макс.под.шт.}} = 0,6 \text{ м/сек.}$
 $m = 8000 \text{ кг}$
 $m_{\text{общ.}} = 11520 \text{ кг}$



4 WRZ 25 W3-325-30

Принципиальная схема гидромеханического привода на поточной линии срыва и протекание его движений на диаграмме.



Ходовой цилиндр цепного конвейера

На стане для горячей прокатки в конце полосового горячепрокатного стана должны транспортироваться катушки с намоткой на открытый склад. Температура катушек на намотанной лебедке составляет примерно 800 – 1000°C. Во время транспортирования катушки должны охлаждаться примерно до 500 – 600°C. Поэтому цепной конвейер часто перемещается снаружи от цеха под открытым небом определенный отрезок пути.

Общая длина цепного конвейера для транспортирования катушек составляет 280 м. На позиции передачи передаются катушки с более короткой, приводимой в действие посредством гидродвигателя цепи на цепь, перемещающуюся на уровне пола. Такая цепь приводится в действие с помощью ходового цилиндра при равномерном тактовом ходе в 3600 мм.

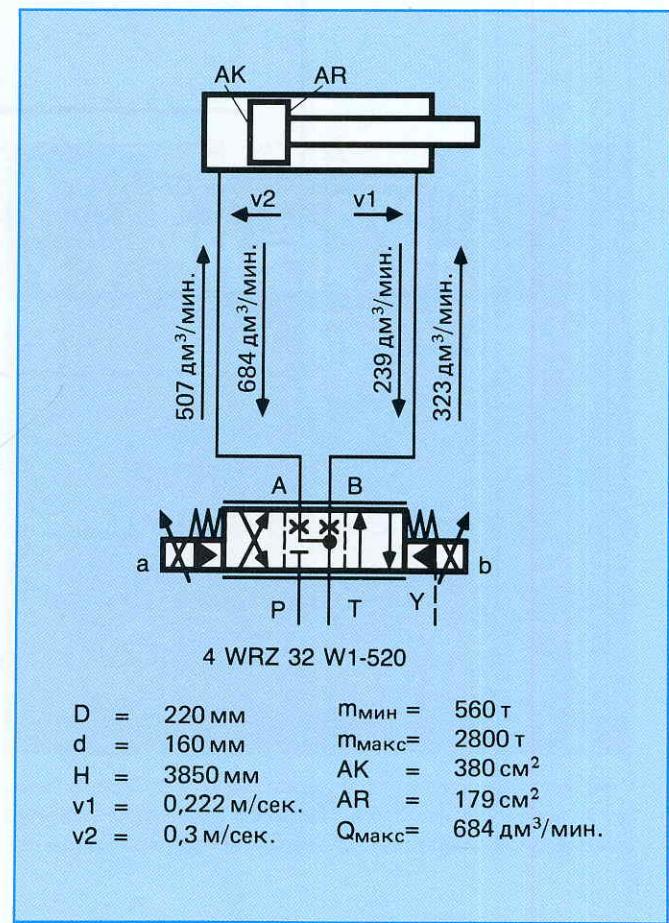
В начале хода привод защелкивается в цепи. После выполнения хода и расцепления защелки привода цепь остается неподвижной во время обратного хода. После возвращения в исходное положение начинается тогда новый такт, как только на позицию передачи будет передана новая катушка.

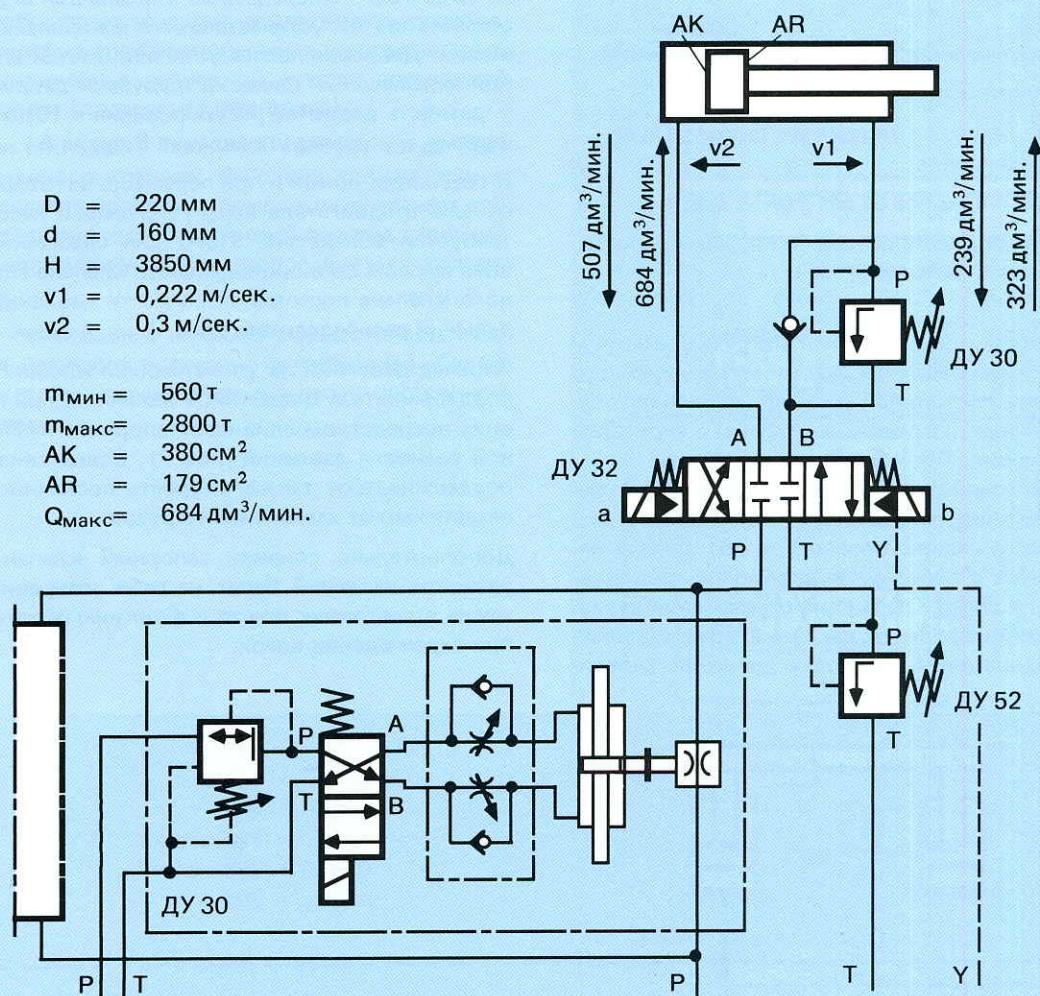
В применяемых до сих пор конструктивных исполнениях управление предусматривалось с укомплектованием посредством нескольких приборов. Оптимальная установка была сложной и трудоемкой.

Новое конструктивное исполнение управления предусматривается только в сочетании с пропорциональным распределителем. Такое исполнение обойдется намного дешевле, а его обслуживание будет во много раз проще. Установка пускового линейно-нарастающего воздействия, линейно-нарастающего воздействия торможения, а также скоростей, осуществляется простым образом на передней панели усилителя.



Управление в новом конструктивном исполнении с укомплектованием посредством пропорционального распределителя.





Управление в прежнем исполнении

Управление для подъемника с платформой для груза, перевозимого по воздуху

К управлению предъявляются следующие требования:

- плавное ускорение и торможение
- независимое от нагрузки управление скоростью во всех фазах перемещения
- запирание в состоянии покоя без утечек масла
- незначительная мощность потерь при режиме работы с нерегулируемым насосом

Постоянная скорость, независимо от нагрузки, достигается при перемещении вверх посредством трехлинейного впускного клапана постоянной разности давлений (поз. 3) как двухлинейные встроенные клапаны с функцией ограничения давления (DB-логические элементы).

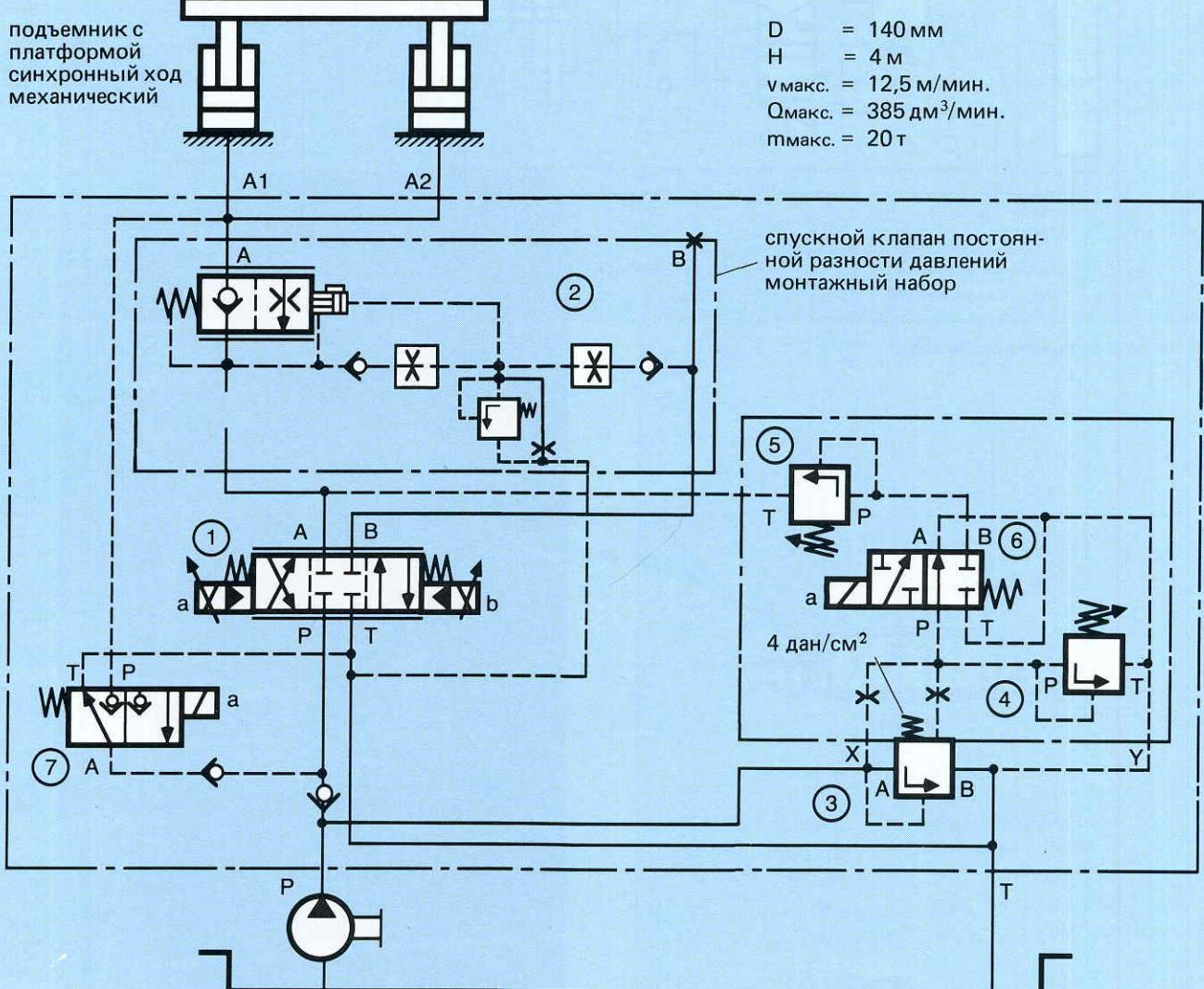
Такой клапан постоянной разности давлений имеет регулировочную пружину в 4 джан/см². В результате разгрузки посредством распределителя (поз. 6) подача насосом производится с небольшим давлением, составляющим 4 джан/см², к баку. Клапан для ограничения давления (поз. 5) в линии давления нагрузки предоставляет возможность видоизменять разность давлений регули-

рования. В данном случае установка была произведена на 10 джан/см². Посредством клапана для ограничения давления (поз. 4) устанавливается максимальное давление насоса. Давление насоса устанавливается автоматически при перемещении вверх на требуемое давление нагрузки + разность давлений регулирования в 10 джан/см² на диафрагме = кромка управления Р после А.

В состоянии покоя и при перемещении вверх отключается электродвигатель нерегулируемого насоса. Поэтому требуется вследствие этого для снабжения управляющим маслом пропорционального клапана (поз. 1) и сливного клапана постоянной разности давлений (поз. 2) седельный распределитель (поз. 7).

Перепад давлений на управляющей кромке А к Т будет поддерживаться постоянной величины при перемещении вниз посредством сливного запорного клапана постоянной разности давлений (поз. 2). Вследствие этого будет поддерживаться также скорость постоянной величины, независимо от изменений нагрузок.

Дополнительно сливной запорный клапан постоянной разности давлений берет на себя запирание без утечек масла в состоянии покоя и функцию обратного клапана при перемещении вверх.

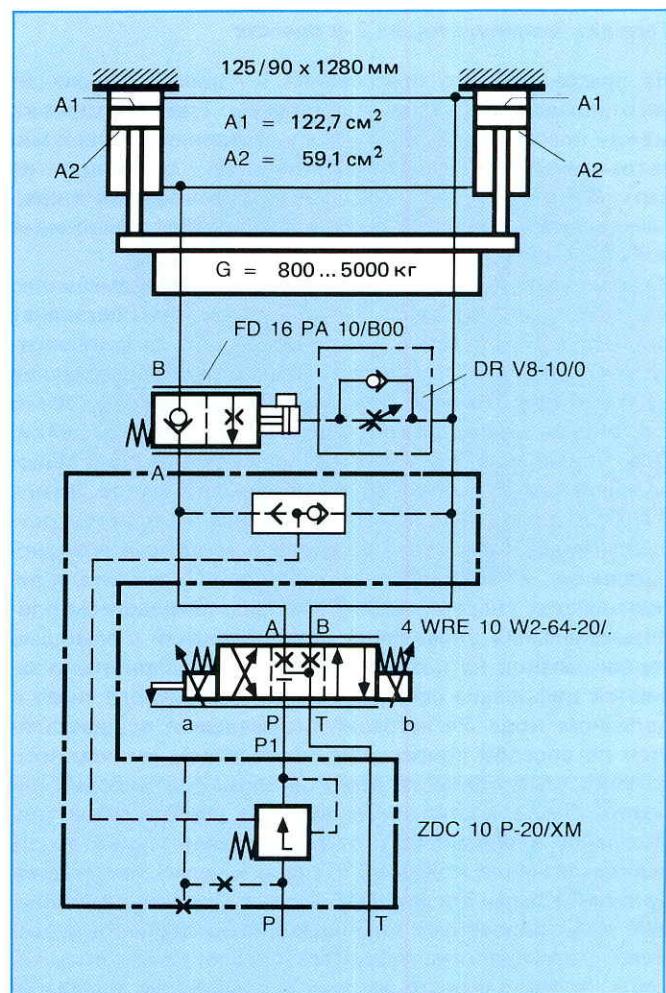


Штабелеукладчик в бумажной промышленности

Для того, чтобы предотвращать возможность преобразования давления на дифференциальных цилиндрах, применяется двухлинейный впускной клапан постоянной разности давлений (промежуточная плита).

Отрицательная (тянущая) нагрузка требует тогда применения тормозного клапана. Нагрузка должна приниматься при перемещении вниз тормозным клапаном для того, чтобы обеспечивался постоянный перепад давлений от Р к В на пропорциональном распределителе, составляющий 8 бар.

Посредством перекидного клапана осуществляется отвод давления нагрузки в линиях потребителей. Такой перекидной клапан встраивается в клапан постоянной разности давлений.

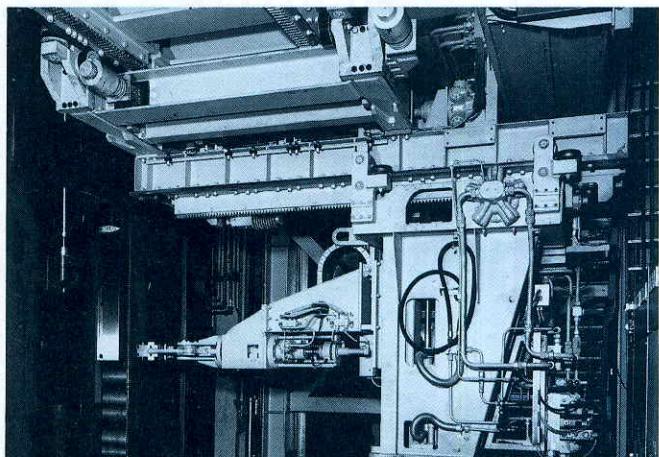
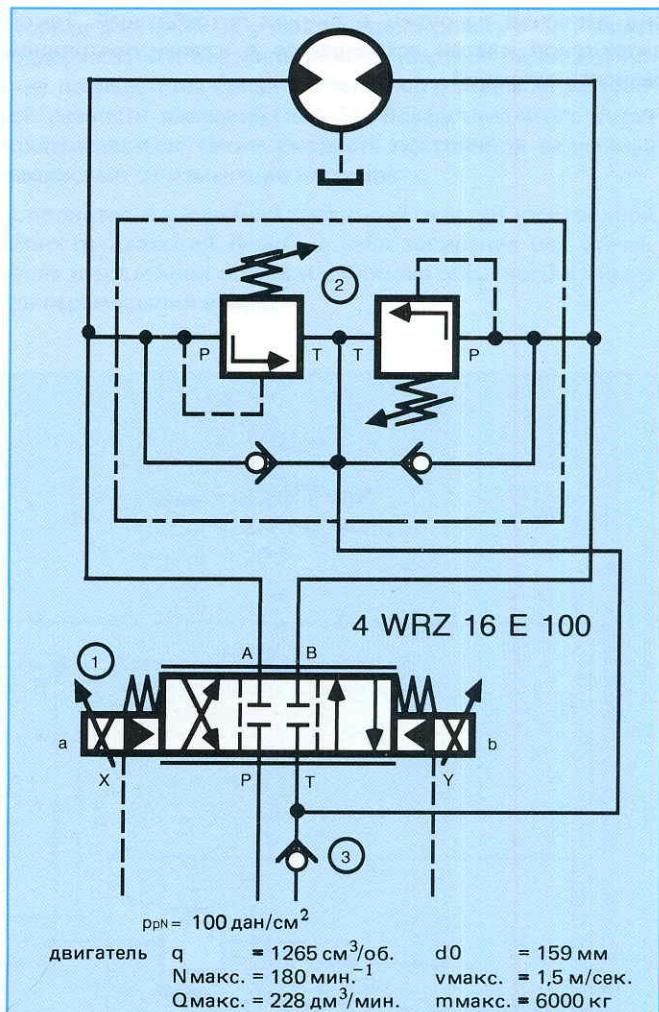


Тележка-манипулятор на 2-х прессах

На прессе горячего прессования и горячего волочения изготавливаются газовые баллоны. Транспортировка между прессами и загрузкой осуществляется полностью автоматически. Тележка-манипулятор, состоящая из верхней тележки для продольного перемещения и нижней тележки для вдвигания и выдвигания, выполняет все движения.

Заслуживают внимания здесь операции по перемещению верхней тележки. Макс. путь перемещения составляет 6 м. На таком отрезке пути должно производиться относительно точно с маршрутом движения перемещение на 5 позиций. Привод осуществляется непосредственно с помощью гидродвигателя, шестерни и зубчатой рейки. Для управления движениями применяется пропорциональный распределитель непрямого действия (поз. 1) типа 4 WRZ 16 E 100. Электрическое управление привода осуществляется с помощью цифрового усилителя позиционирования VT4630. Посредством такого усилителя перемещаются гидравлические приводы посредством пропорциональных управлений или управлений с помощью сервоклапанов на позиции, которые предварительно задаются цифровым способом путем десятичного числа в двоичном коде. Регистрация перемещения осуществляется по способу приращения посредством импульсного датчика угла поворота или стеклянной штриховой линейки. Перед достижением позиции производится торможение в зависимости от перемещения, при этом заданное значение конечной ступени клапана понижается до нуля. Клапан тогда будет закрыт. Процесс перемещения устанавливается с помощью линейной функции времени с насыщением. Усилитель предоставляет возможность производить по выбору позиционную предварительную установку либо внутри с помощью 5-разрядного декадного переключателя, либо также снаружи посредством свободно программируемого управления. Также можно альтернативно предусматривать внутри или снаружи 5-разрядную индикацию местоположения. При предварительной позиционной установке снаружи посредством периферийного управления (PC) число позиций любое. При предварительной установке внутри число позиций ограничивается девятью позициями. Установка скоростей, пусковых линейных функций с насыщением, тормозных линейных функций с насыщением (для стартстопного режима работы) и тормозного пути для зависимого от перемещения торможения осуществляется на передней панели усилителя посредством потенциометров. Позиционная предварительная установка для 5 позиций, которые предстоит занимать, производится снаружи со стороны PC-управления. Перемещение в данном случае регистрируется посредством инкрементального импульсного датчика угла поворота размером в 1250 импульсов на один поворот. При диаметре шестерни $d_0 = 159$ мм составят 2 поворота = 1 м пути перемещения = 2500 импульсов. Такое количество импульсов увеличивается в четыре раза в соответствующем устройстве на усилителе. Таким образом 1 м пути перемещения преобразовывается в 10 000 импульсов (1 импульс = 0,1 мм). Вследствие этого достигается с достоверностью требуемая точность позиционирования, составляющая ± 1 мм. Для процесса торможения имеется на усилителе в распоряжении 10 000 импульсов = 0 ... +10 в. Вычисленный тормозной путь составляет 0,75 м = 7 500 импульсов. Для предохранения гидродвигателя при "ава-

рийном останове" — пропорциональный клапан не закрывается больше под контролем посредством линейной функции времени с насыщением или тормозного устройства, зависимого от перемещения, а при минимальном собственном времени закрывания около 70 мсек. — предусматривается перепускное и подпиточное устройство (поз.2). Для того, чтобы обеспечивалось заполнение стороны подвода, целесообразно будет предусмотреть обратный клапан (поз.3) с давлением открытия в 3 бара в линии бака.



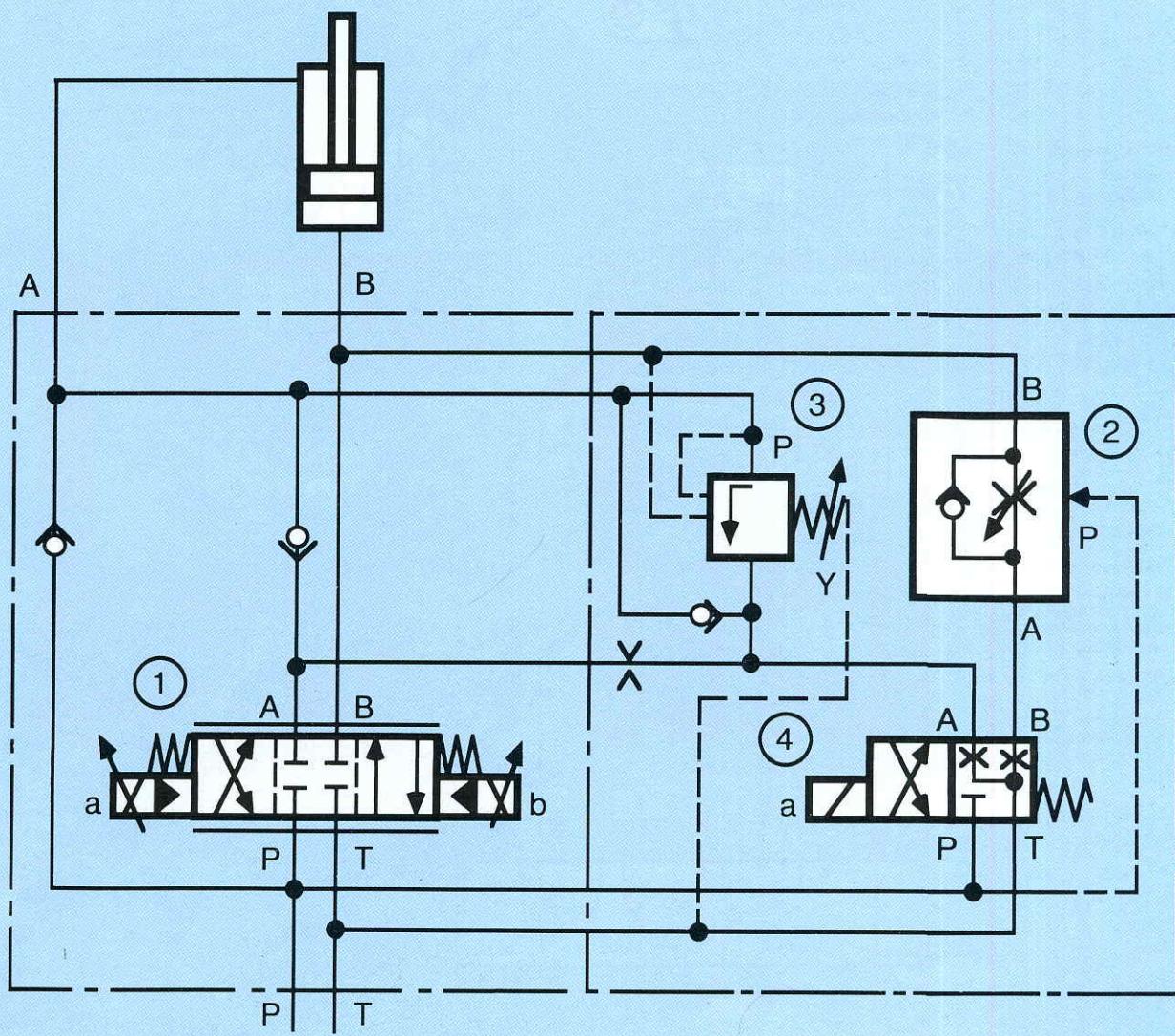
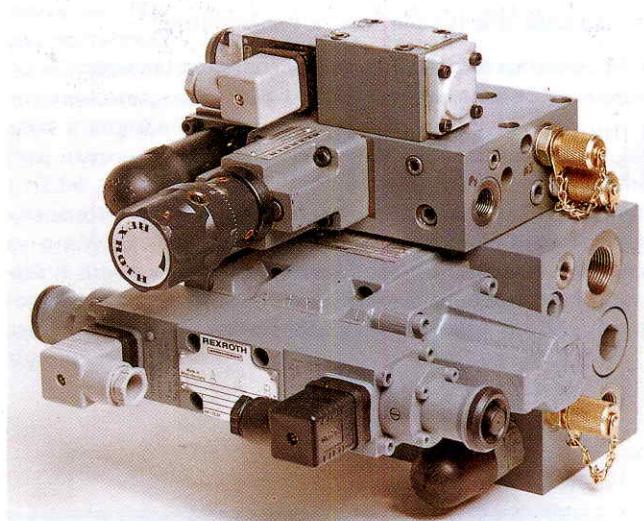
Унифицированная каретка

Унифицированные каретки на автоматической станочной линии имеют в большинстве случаев цилиндры с соотношением поверхностей 1 : 2.

В таких случаях применяется дифференциальная схема. Компактные блоки управления, сконструированные в виде унифицированных узлов ДУ 6, 10 и 16, надстраиваются непосредственно на унифицированных цилиндрах. Пропорциональный распределитель (поз. 1), как клапан ускоренного хода, предоставляет возможность для плавного запуска и торможения относительно больших кинетических энергий. Часто осуществляются скорости ускоренного хода до 25 м/мин. при унифицированных узлах с определением времени на автоматических станочных линиях. Посредством регулятора потока (поз. 2) устанавливается согласно общепринятому методу скорость подачи.

Подпорный клапан (поз. 3), зависимый от нагрузки, устанавливается в каждой фазе процесса по обработке автоматически на оптимальное давление.

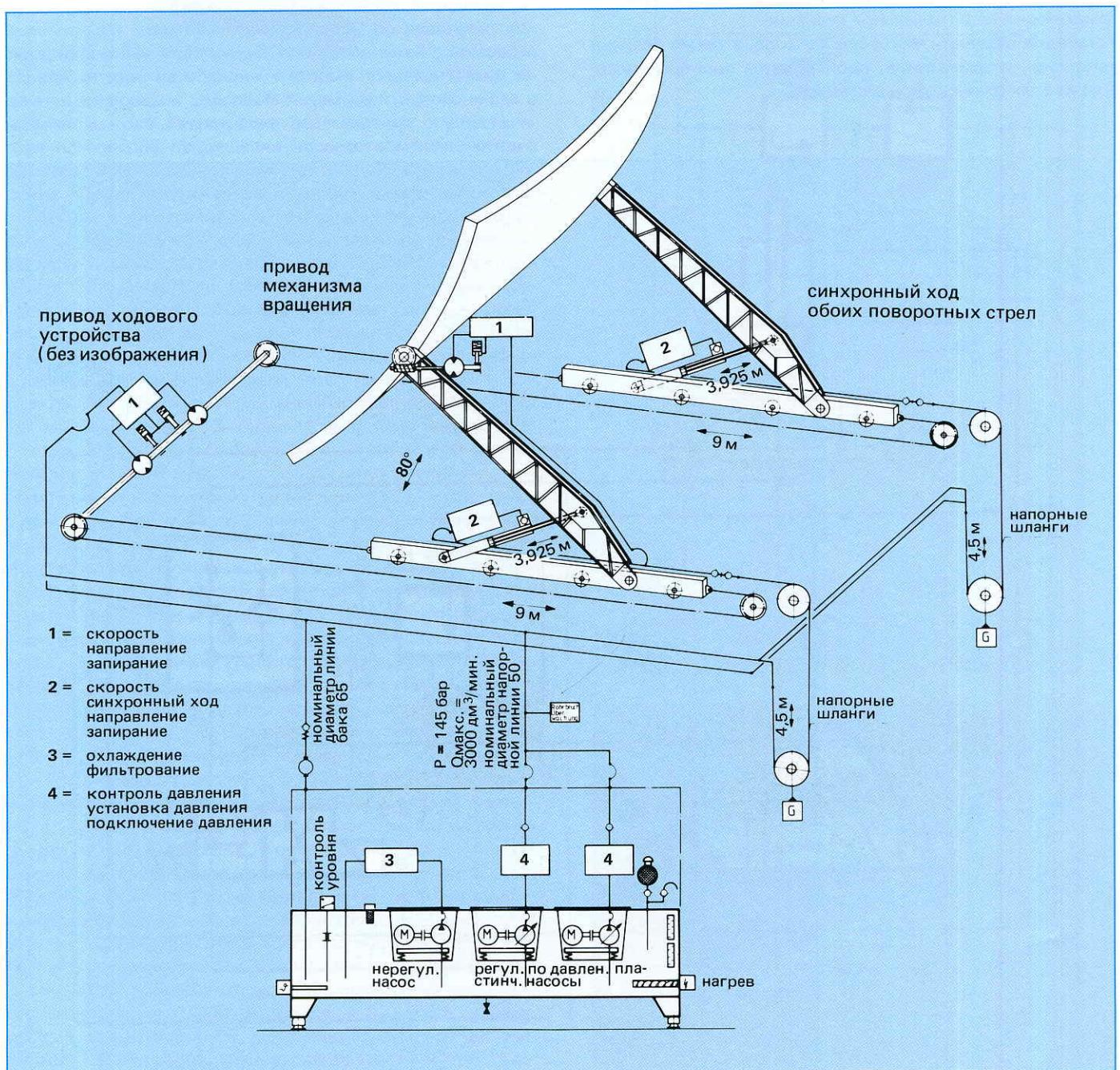
Установка скорости ускоренного хода, а также величин ускорения и замедления, производится простым способом на электрическом усилителе.



Управление платформой в театре

Требования, предъявляемые к гидравлике:

- 1) Абсолютно плавный запуск и торможение всех процессов движения
- 2) Плавно регулируемая скорость
- 3) Синхронный ход обоих поворотных стрел



Привод механизма поворота платформы

Подъем и опускание платформы осуществляется в каждом случае посредством одного цилиндра действующего на поворотных стрелах. Цилиндры шарнирно соединяются на ходовой тележке и на поворотной стреле подвижно со всех сторон с помощью шарирных подшипников.

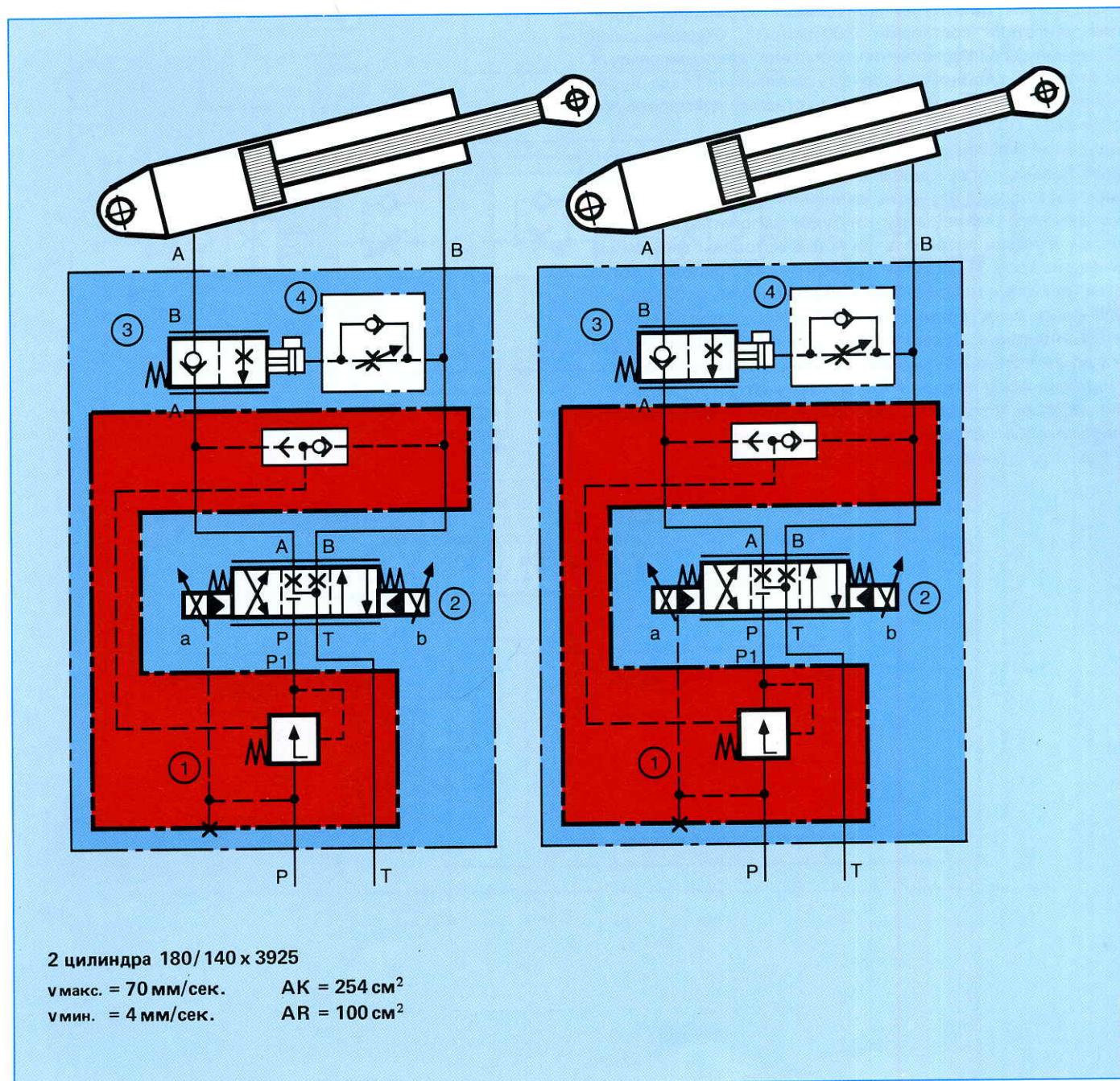
Подъемное движение и движение опускания осуществляются с помощью пропорциональных распределителей непрямого действия (поз. 2) в замкнутом контуре. Относительно небольшая динамика привода предоставляет возможность применять такие приборы.

В результате кинематики системы возникают через ход цилиндров очень отличающиеся друг от друга силы. Клапаны постоянной разности давлений (поз. 1), предвключенные перед пропорциональными распределителями, компенсируют воздействие таких отличающихся друг от

друга сил. Регулировка должна только выравнить погрешность синхронного хода.

Регистрация угла поворота осуществляется посредством потенциометров с поворотным движком на точке цилиндров к ходовой тележке.

При имеющихся в распоряжении отношениях площадей 1 : 2,54 невозможным является применение сливных клапанов постоянной разности давлений. Поэтому наряду с впускными клапанами постоянной разности давлений в линиях P, необходимо предусмотреть в линиях A тормозные клапаны (поз. 3). Вследствие этого обеспечивается также запирание без утечки масла сторон днища поршня при состоянии покоя.



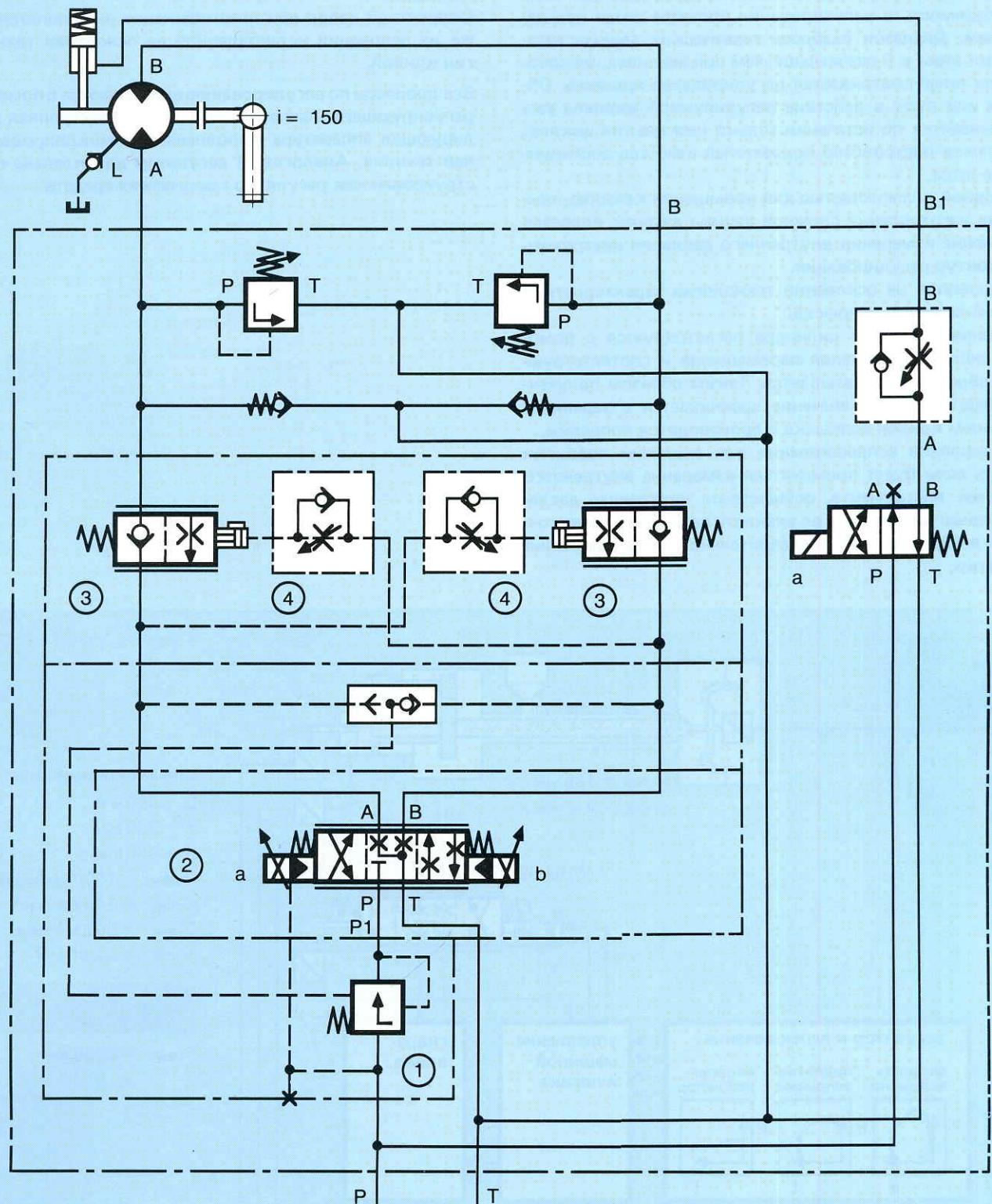
Привод механизма вращения платформы

Вращение (наклон) платформы вокруг ее средней оси осуществляется с помощью гидродвигателя через червячную передачу с передаточным — отношением 150 : 1. Скорость вращения платформы должна регулироваться плавно в пределах, начиная почти с "0" до 1 мин.⁻¹. Поэтому применяется аксиально-поршневой высокомоментный гидродвигатель типового ряда MCS. Такой двигатель гарантирует при сложившихся условиях незначительные колебания крутящего момента и небольшие колебания давления — минимальное число оборотов без толчков, составляющее 0,5 мин.⁻¹.

Для компенсации нагрузки предвключается перед пропорциональным распределителем (поз. 2) впускной клапан постоянной разности давлений (поз. 1). Невозможным является применять сливной клапан постоянной разности давлений вследствие этого, поскольку при рабочем давлении в 150 дан/см² будет слишком высоко нагружаться двигатель. Допустимое суммарное давление двигателя составляет 300 дан/см². Образующееся во время фазы торможения тормозное давление следует добавить к двойному рабочему давлению. Тогда будет превышаться максимально допустимое суммарное давление.

Впускной клапан постоянной разности давлений вызывает только тогда компенсацию нагрузки = поддержание постоянной разности давлений Δp на диафрагме, когда направление нагрузки будет положительным. Поэтому в линии потребителей А и В встроены тормозные клапаны (поз. 3). Другой задачей таких приборов является, исходя из соображений безопасности, производить запирание в состоянии покоя без утечки масла. Для того, чтобы платформа удерживалась на любой позиции — утечка на двигателе! — двигатель оснащается посредством гидравлически отпускаемого пластинчатого тормоза.

Управление приводом, т.е., приведение в действие пропорционального распределителя, производится от руки с помощью ручного управляемого датчика.



Машина для литья под давлением

Высокие требования, которые в настоящее время предъявляются к современным машинам для литья под давлением относительно постоянства показателей качества деталей, отлитых под давлением, вызывают все чаще необходимость в регулировании процесса литья под давлением. Диапазон разброса технических данных деталей при этом в 9 раз меньше, чем при машинах, на которых не предусматривается регулирование процесса. Обкатка или пуск в действие регулируемой машины уже заканчивается по истечении только нескольких циклов. Требуемое постоянство показателей качества достигается при этом.

Еще одной возможностью для повышения качества, также при изготовлении сложной формы деталей, является включение измерения внутреннего давления инструмента в контур регулирования.

Определяется на основании технологии характеристика кривой скорости вспрыска.

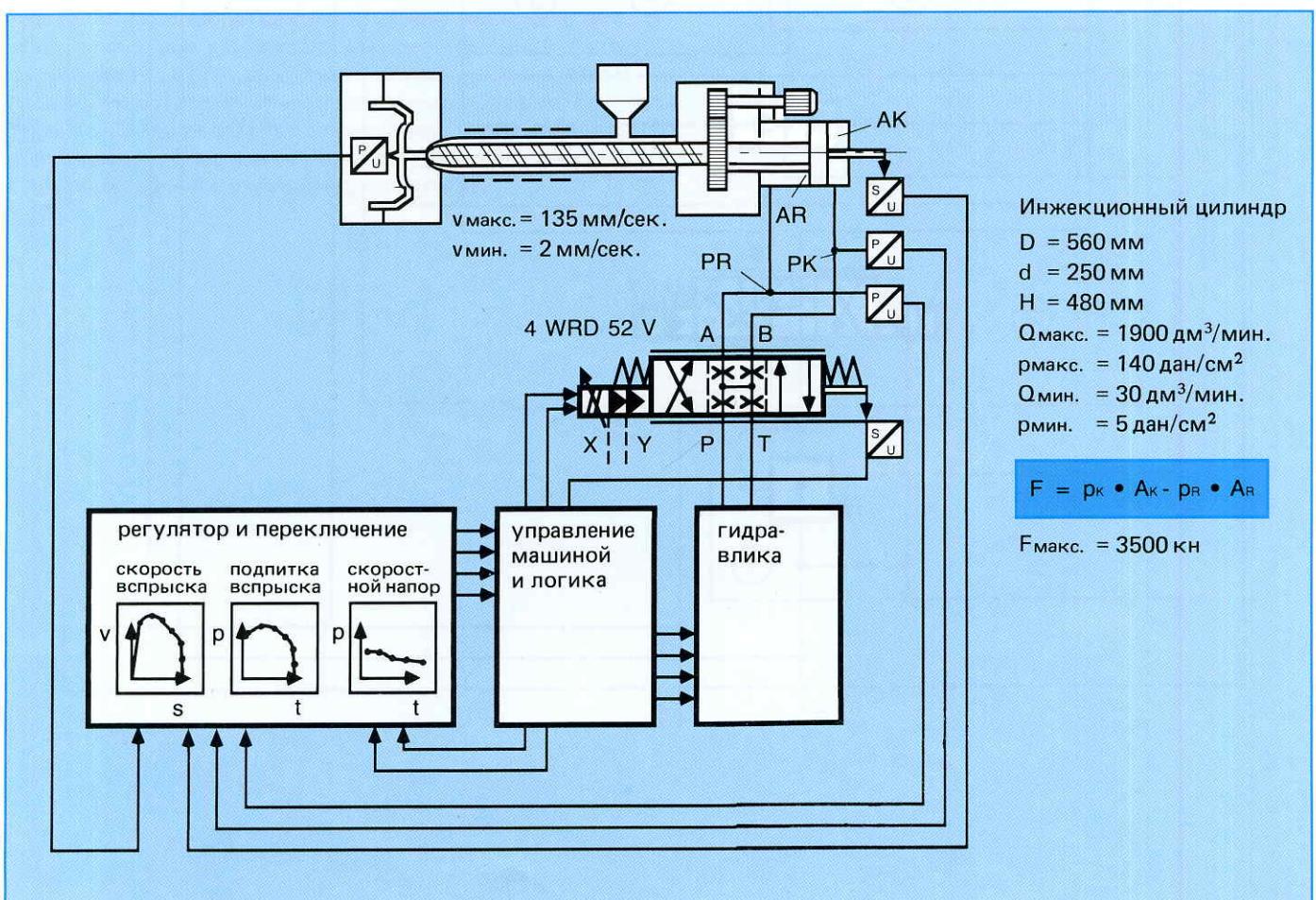
Ход инжекционного цилиндра регистрируется с помощью системы измерения перемещения и соответствующим образом обрабатывается. Таким образом полученное действительное значение сравнивается с заданным значением кривой вспрыска и производятся поправки.

При давлении вспрыскивания или давлении подпитки можно, если будет применяться измерение внутреннего давления инструмента, осуществить внутреннее давление формы независимо от вязкости расплава и очень точно согласно заданной предварительно кривой давления подпитки.

Переключение с регулирования скорости на регулирование давления произвести либо "в зависимости от пути вспрыска", либо "в зависимости от внутреннего давления массы".

Скоростной напор при пластификации выполняется также на основании установленной на основании технологии кривой.

Все процессы по регулированию выполняются с помощью регулирующего клапана 4WRDE52V. Электронная регулирующая аппаратура выполнена как микропроцессорная техника. Аналоговый регулятор для клапана сконструирован как регулятор технических средств.



Для заметок

Для заметок

Амплитудная характеристика F9	Звено с запаздыванием H7, H9
Аналоговая регистрация перемещения H3	Зона разбросов F6
Аналоговый инициатор A3, H3	Изменение сигнала B7
Барометрическая обратная связь G8	Измерение давлений B10
Блок питания от сети H26	Измерение перемещений H35
Блок-схема H6	Измерение скорости H38
Блок-схема цепи управления F2	Измерение углов H37
Ввод в эксплуатацию пропорциональных клапанов B30	Импульсно-модулированная оконечная ступень D2
Величина помех F2, F3, H5, H12	Инвертор D6, H21, H28, Z42
Вентиляционный фильтр бака K12	Индикация загрязненности K12, K13, K14
Влияние собственной частоты E22	— электрическая индикация K12, K13, K14
Влияния вязкости E18, K9	— электронная индикация K12, K13, K14
Воспроизводимость В4	— оптическая индикация K12, K13, K14
Впускной клапан постоянной разности давлений L17, L18	Индуктивный датчик перемещения B2, B4, D7
Впускной клапан постоянной разности давлений, двухлинейный распределитель C2	Интегральное укомплектование H7, H8, H12
Впускной клапан постоянной разности давлений, трехлинейный распределитель C6	Карта усилителя A1, D8
Временная характеристика B7	Качество масла K4
Время замедления E8	Клапан, запирающий расход С8
Время линейной функции с насыщением B8	Клапан постоянной разности давлений B25, B26, C1
Время на ускорение E8	Клапан постоянной разности давлений с логическим элементом DR (DR-функция уменьшения давления) C14, C21 (двухлинейный встроенный клапан)
Время подрегулировки H16	Клапан постоянной разности давлений, трехлинейный C18
Время предварения H17	Класс чистоты K2, K3
Входная величина A1	Классы загрязненности K2
Входной сигнал A1	Компенсация нагрузки C2
Выбор корпусов фильтра K9	Компенсация по возмущению H21
Выбор параметров для фильтра K8	Конечные выключатели H1
Выбор фильтроэлементов K8	Конструктивные исполнения поршней B8
Выходная величина A1, H6	Конструкция фильтроэлемента K6
Гидродвигатели H18	Контур регулирования F2, F3, H5
Гистерезис B4	Контур регулирования по положению J2
Гидроусилитель G3	Контур следящей системы H20
Гидроцилиндры H19	Коэффициент пересчета вязкости K9
Графические характеристики дросселей C1	Коэффициент повышения вязкости K9
Датчик давления H24	Коэффициент усиления H14, J2
Датчик скорости H23	Критерии для определения параметров E1
Действительное значение B4	— приводы цилиндром E2, E3, E4
Демодулятор D7	— приводы двигателем E6, E7
Диаграмма Боде F9	Критическая частота J4
Диапазон регулирования B8	Механическая обратная связь G5
Диапазон управления B8	Монтаж пропорционального клапана B30
Динамические свойства (сервоклапана) G7	Multipas-испытание K4
Дифференциальная схема B10, B11, C13	Напорный фильтр для встраивания в линию K12
Дифференциатор H28	Напряжение питания D8
Дифференцирующее звено H7, H9, H17	Номинальная потеря давления F4
Жесткость J3	Номинальный расход B6, F4
Жесткость системы E10	Образователь значения корня H3
Загрязнение посредством частиц твердых веществ K1	Образователь линейной функции с насыщением B8, D1, D8, H20, H21, H23, H24, H30, H31, H41
Заданное значение B4	Образователь функций D5
— дифференциальный вход заданных значений D10	Общая разность давлений K10
— вход заданных значений D8, D10	Объект регулирования H5, H6
— установка заданных значений D8, D10	Ограничение предельного давления C9
— задающий потенциометр F3, H20	Ограничители H32, H33, H41
— напряжение заданного значения D8, D10	Операционный усилитель H26, H29, H40
Задающее (управляющее) воздействие H5, H12	Определение параметров потребителей E19
Замедление B8	— без компенсации нагрузки E19
Запирание, свободное от утечки масла B12	— с компенсацией нагрузки E21
Заправочный и вентиляционный фильтр K14	

- Определение типоразмера фильтра К9
Оптимальное усиление контура J5
Осциллятор D7
Отбор пробы K4
Отклонение от номинального значения F3, H5
Отключение с заземлением регулятора H22
Отношения давлений на дроссельных кромках E11
Передающие основные элементы H7
Перекрытие F5
— отрицательное перекрытие F5
— нулевое перекрытие F5
— положительное перекрытие F5
Перекрытие поршня G6
Перепад давлений B10
Переходная характеристика H6
Питание напряжением D4
Поворотный серводвигатель G2
Поглотительная способность K4
Погрешность повторения B8
Погрешность слежения J10
Погрешность установки J10
Подвод управляющего масла B14
Подпора C7
Показатель β_X (β_X) K5
Позиционный контур управления B4
Позиционный контур управления (контур регулирования по положению), привод двигателем H18
Позиционный контур управления (контур регулирования по положению), привод цилиндром H19
Порядок прохождения сигнала A1
Постоянная времени J3, H24
Постоянная времени интегрирования H15
Постоянная затухания J4, H24
Потенциометрический датчик регулируемой величины F3
Потенциометры D6, H40
Потеря давления на клапане B6, B7
Предел мощности B8
Предохранительное устройство от максимального давления B20
Принцип "сопло-заслонка" G3
Пропорциональный дроссель B28
Пропорциональное звено
— без замедления H7, H12
— с замедлением 1-го порядка H7, H10, H12
— с замедлением 2-го порядка H7, H10, H11, H12
Пропорциональный клапан для ограничения давления B20, B21 (непрямого действия)
Пропорциональный клапан для ограничения давления B18 (прямого действия)
Пропорциональный напорный клапан A1, A5, B18
Пропорциональный распределитель A1, A5
Пропорциональный распределитель непрямого действия B13
Пропорциональный распределитель прямого действия B3
Пропорциональный регулятор давления B13
Пропорциональный регулятор потока A1, A5, B25
Пропорциональный регулятор расхода (потока) B25, B27
Пропорциональный редукционный клапан B22, B24 (непрямого действия)
Путь замедления E9, E16
Путь торможения H1
Путь ускорения E9
Разность заданной и действительной величин F3
Разрешающая способность B8, C4
Расходная характеристика B6, F4, F5, G6
Расходная характеристика при наличии нагрузки F7, F8, G7
Расходная характеристика, прогрессивная B4
Реакция на изменение управляющего воздействия H13
Регистрация результатов измерения H34
— абсолютная регистрация H34
— аналоговая регистрация H34
— цифровая регистрация H34
Регулирование давления H24
Регулирование положения H5, H20
Регулирование скорости H21, H22
Регулирование частоты вращения H21
Регулируемая величина H5
Регулируемый электромагнит A1, B1
— регулируемый по подъему B2
— регулируемый в зависимости от силы B1
Регулирующая величина H5
Регулирующее устройство H5, H18, H19
Регулирующий клапан G12
Регулятор D6, H6, H41
— P-регулятор H14
— I-регулятор H14
— PI-регулятор H14
— D-регулятор H16
— PD-регулятор H17
— PID-регулятор H17
Редукционные клапаны B13
Сервогидравлика F1
Серводвигатель (поворотный серводвигатель) G2
Сервоклапан F1, G1, H18, H19, H20, J2, J3, J5
— динамические свойства G7
— ввод в эксплуатацию G15, G16
— монтаж G15
— техход G16
Сервораспределитель G5
Сервоусилитель H20, H23, H24, H26, H27, J2
Система измерения F3, J6
Система измерения перемещений H18, H19, H20
Слив масла в линии управления B14
Скорость срабатывания F6
Сливной запорный клапан постоянной разности давлений C11
Сливной клапан постоянной разности давлений C10
Смещение фаз F8
Снижение давления на кромке дросселя C1
Снижение давления (фильтр) K8
Собственная частота E10
Собственная частота без затухания E23
Собственная частота для цилиндров синхронного хода E23, E24
Собственная частота клапана, нагрузки J4
Собственная частота с дифференциальным цилиндром E24
Собственная частота с масляным двигателем E26
Согласующий усилитель H20, H21, H23, H24, H42
Соотношение амплитуд F9

Срок службы фильтроэлемента К7
Степень очистки К6
Ступенчатое изменение входного сигнала Н6
Сумматор D6, H21, H28, H43
Техход за пропорциональными клапанами В30
Техход за сервоклапанами G15, G16
Типоразмер фильтров K8, K11
Ток подмагничивания D7
Ток пульсации В20
Тонкость фильтрации K6
Торможение,
 – зависимое от времени Н1
 – зависимое от перемещения Н2
Тормозной клапан С7, С8
Тормозной кулачок Н3
Точка останова Н1
Точность при повторении В4
Точность установки J10
Триггер Шмитта H28, H43
Указания для проведения теххода за фильтром К15
Универсальная карта H21, H28, H29
Управляющая кромка В4
Управляющий поршень В4
Усилитель Н42
Усиление давления F7, H24
Усиление контура J2, H24
Усиление по скорости F6, G6
Усилитель Н42
Усилитель схемы переключения H23, H24, H31
Ускорение В8
Ускоренный ход, пониженный Н1
Устойчивость Н13
Устойчивость показателя β -Х К6
Устройство для определения места повреждения
кабеля D5
Фазовая характеристика F9
Фильтрация K1
Фильтрование K1
Фильтр сливной линии для монтажа в баке К13
Функция зависимости давления от сигнала F7
Характеристика очистки K4
Цель управления F2
Частотная характеристика F8, F9
Электрическая обратная связь В2, G9, G11
Электроника D1
Электроника управления D1
Эрозионный износ на кромках управления K1

Цирпенль, М.	Операционный усилитель Издательство "Францис-Ферлаг", Мюнхен/ФРГ
Сименс	Электрические приводы подачи для металлообрабатывающих машин или станков, Siemens Aktiengesellschaft, Эрланген/ФРГ
Бакке, В.	Сервогидравлика Перепечатка для лекций, Ахен/ФРГ
Фёллингер, О.	Техника регулирования АЗГ-Телефункен АГ, Западный Берлин
Хармс, Г.	Линейный усилитель Издательство "Фогель-Ферлаг", Вюрцбург/ФРГ
Бауэр, Г.	Масляная гидравлика Издательство "Тойбнер Штудиенскриптен", Штутгарт/ФРГ
Общество немецких металлургов (ФРГ)	Техническая документация для семинаров Сервогидравлика, Дюссельдорф/ФРГ
Флигер, К.	Техника регулирования, основы и приборы Издательство "Хартманн унд Браун", Франкфурт на Майне/ФРГ
Фридрих	Книга таблиц по электротехнике Издательство "Ферд. Дюммлер-Ферлаг", Бонн/ФРГ
Самсон	Информационный материал по технике регулирования Самсон Аппаратебау АГ, Франкфурт на Майне/ФРГ
Цыго	Бесконтактная лазерная сканирующая система измерения Цыго LTS
Манн/Шиффельген	Введение в технику регулирования Издательство "Карл Ханзер Ферлаг", Мюнхен/ФРГ
(Фирменная брошюра)	Цинровые технические средства Фирма Фраба, Кёльн/ФРГ
(Фирменная брошюра)	Системы для измерения длин, устройство для преобразования угла поворота в код Д-р Йоханнес Фирма Хайденхайн, Траунрайт/ФРГ
Панцер-Байтлер	Справочник по масляной гидравлике, проектированию и рабочему режиму, 2-е издание Издательство "Краускопф-Ферлаг", Майнц/ФРГ

Данный учебник и справочник, изданный фирмой Маннесманн Рексрот, состоит из следующих глав:
Введение в технику пропорциональных клапанов - Пропорциональные клапаны, приборная техника -
Компенсация нагрузки с помощью клапанов постоянной разности давлений - Электроника управления
для пропорциональных клапанов - Критерии для определения параметров управления с помо-
щью пропорциональных клапанов - Введение в технику сервоклапанов - Сервоклапаны, прибор-
ная техника - От управления к контуру регулирования - Влияние динамических свойств сервокла-
пана на контур регулирования - Фильтрация на гидравлических установках с сервоклапанами и
пропорциональными клапанами - Примеры выполненных установок с использованием пропорци-
ональных клапанов и сервоклапанов.

После систематической проработки данной книги читатель будет в состоянии установить различия
между пропорциональными системами и сервисистемами, он станет правильно оценивать пределы,
но ему откроются также многочисленные возможности пропорциональной техники. Читатель озна-
комится с основными направлениями в развитии электронного управления пропорциональных кла-
панов и сервоклапанов, а также с взаимодействием гидравлических и электронных компонентов в
системе.

К данной книге были выпущены комплекты слайдов и изображений на пленке для показа на экра-
не, которые можно заказать на фирме Маннесманн Рексрот ГмбХ, Лор на Майне/ФРГ.

Mannesmann Rexroth GmbH · D-8770 Lohr a. Main · Postfach 340 · Tel.: 093 52/180