

Электрогидравлическое пропорциональное управление: руководство пользователя

1 ЧТО ТАКОЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИКА?

Электрогидравлическое пропорциональное управление модулирует гидравлические параметры в соответствии с электронными опорными сигналами.

Они представляют собой идеальный интерфейс между гидравлической и электронной системами и применяются в системах с или без обратной связи (см. раздел [3]), для достижения скорости, плавности и точности перемещений, которые требуются в современных машинах и оборудовании.

Электрогидравлическая система – это раздел всей структуры автоматизации, в которой информация, управление и аварийная сигнализация могут передаваться («прозрачным» способом на систему централизованного электронного управления и наоборот при помощи стандартных сетей, см. табл. F002 по «Цифровым решениям»).

Пропорциональная электрогидравлика легко программируется, как и электромеханические системы и обеспечивают гибкую автоматизацию. По сравнению с электромеханическими системами, электрогидравлика обеспечивает следующие преимущества:

- внутренняя защита от перегрузок
- автоматическая адаптация усилия
- быстрое время реагирования
- система самосмазки
- простота и непрерывность регулировки сил и моментов
- накопление энергии
- высокая плотность мощности
- долговечность и высокая надежность

2 ЧТО ТАКОЕ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЙ КЛАПАН?

Основой пропорционального управления является пропорциональный клапан, регулирующий давление P и расход Q в соответствии с опорным сигналом (обычно +/- 10 В DC). В частности, пропорциональный клапан должен управляться от электронного драйвера, который регулирует электрический ток на электромагните клапана в соответствии с опорным сигналом. Электромагнит преобразует электрический

повышение тока вызывает соответствующее увеличение выталкивающей силы и движение золотника со сжатием возвратной пружины. В пилотных исполнениях пропорциональный пилотный клапан регулирует поток и давление, управляя основным каскадом. В случае электрической неполадки пружины возвращают золотник в нейтральное положение в соответствии с конфигурацией клапана для гарантии безопасности, то есть с целью предотвращения повреждения системы при отсутствии опорного сигнала или электропитания. Безопасность может выполняться непосредственно с пропорционального клапана или последовательным срабатыванием группы клапанов.

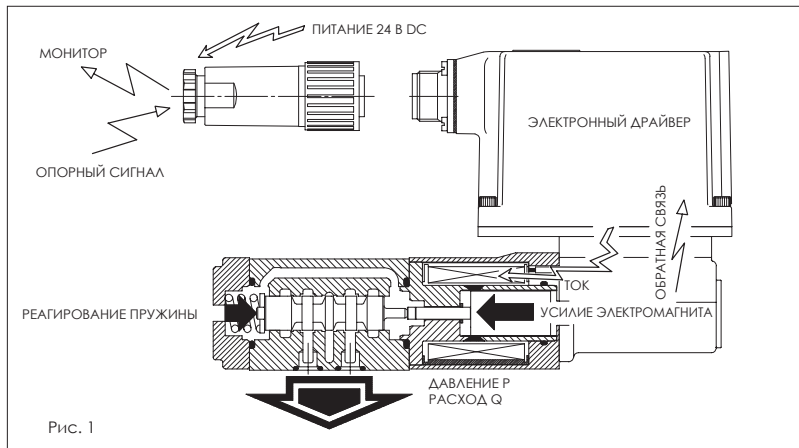


Рис. 1

3 УПРАВЛЯЮЩИЕ ЦЕПИ

Контроль движения в современных машинах представляет собой, в основном, проблему управления осями. В настоящее время промышленное оборудование является многоосевым, и в большей степени управляется электрогидравлически при помощи пропорциональных устройств. Движение оси может управляться без обратной связи или с обратной связью, в зависимости от требуемого уровня точности. В большинстве применений для циклов перемещения не требуется очень большой точности, в связи с чем используются системы без обратной связи; в случае, если применение требует точности позиционирования исполнительного механизма, производится управление по обратной связи.

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Управление осью осуществляется посредством модулирования опорного сигнала на пропорциональном клапане без какой-либо обратной связи регулируемого параметра. Точность управления без обратной связи непосредственно связана с качеством гидравлической системы и, в частности, пропорционального клапана и соответствующего драйвера.

УПРАВЛЕНИЕ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Управление осью выполняется посредством модулирования опорного сигнала на контроллере обратной связи, который получает сигнал от датчика исполнительного механизма и производит сравнение двух сигналов.

Получаемая погрешность обрабатывается электронным контроллером на пропорциональном клапане для выравнивания регулировки в соответствии с требованиями цепи управления PID.

Точность систем с обратной связью выше по сравнению с системами без обратной связи, в меньшей степени подвержена влиянию внешних помех окружающей среды. В любом случае, чем выше качество комплектующих гидравлической системы, тем с большей точностью выполняется контроль оси.

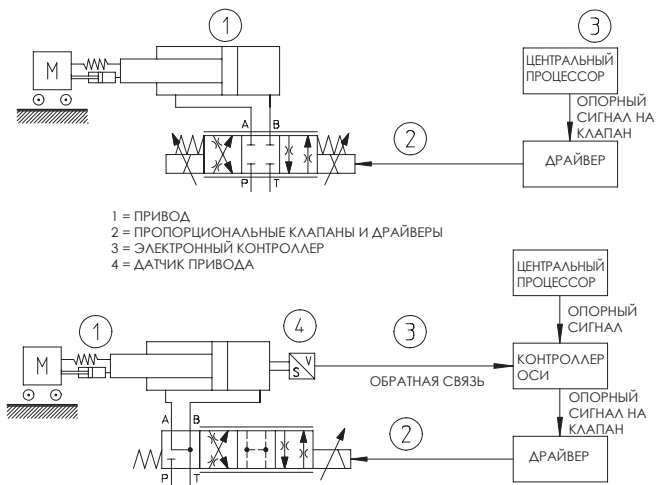


Рис. 2: Электрогидравлические оси: базовые блок-схемы

Пропорциональные клапаны Atos могут работать без обратной связи (клапаны без датчика) или с обратной связью (клапаны с датчиком положения VRVT), см. рис. 1.

Пропорциональные клапаны без датчика питаются через электронные драйверы, модулирующий ток на электромагните пропорционально опорному сигналу. Для обеспечения более надежного функционирования, драйвер должен поставляться производителем клапаны.

Пропорциональные клапаны со встроенным датчиком положения LVDT питаются через электронный драйвер, модулирующий ток в соответствии с управлением регулируемыми параметрами (положение золотника или давление) пропорционально опорному сигналу.

Пропорциональные клапаны с датчиком – это лучший выбор для электрогидравлического управления движением с обратной связью и они улучшают работу системы.

4 ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ КЛАПАНЫ И ДРАЙВЕРЫ

Afos, лидер новых решений электрогидравлики, предлагает одну из самых передовых линеек продукции.

Клапаны Afos могут быть золотникового типа (производные от электромагнитных клапанов) или картриджного исполнения (от логических элементов) и могут быть сгруппированы в три различных функциональных семейства:

- **клапаны управления давлением: переливные клапаны и редукционные клапаны** регулируют давление гидравлической системы пропорционально опорному сигналу;
- **4-х линейные распределители:** направляют и модулируют поток на приводе пропорционально сигналу управления на клапане. Эти клапаны могут применяться как без обратной связи, так и с обратной связью для определения направления, скорости и ускорения механизмов;
- **клапаны управления расходом:** 2-х или 3-х линейные, с компенсатором давления, для модулирования расхода в системе независимо от эксплуатационных нагрузок.

Пропорциональные клапаны Afos оборудованы электромагнитами **ZO** и **ZOR** (30 Вт и 40 Вт), разработанными для клапанов прямого действия в соответствии с ISO 4401 размера 06 и 10, монтируются в различных версиях:

ZO(R)-A: без встроенного датчика, без обратной связи;

ZO(R)-AE: как ZO-A плюс встроенный электронный драйвер;

ZO(R)-T, -L: со встроенным датчиком положения LVDT, с обратной связью, обладает высокими статическими и динамическими характеристиками;

ZO(R)-TE, -LE: как ZO-T, -L плюс встроенный электронный драйвер

В новом поколении клапанов –AE, –TE, –LE электронный драйвер встроен в пропорциональные клапаны и поставляется уже откалиброванным для обеспечения корректного функционирования. При этом гарантируется взаимозаменяемость клапанов и облегчается процесс запуска. Благодаря указанным высоким характеристикам клапаны все больше находят применение в передовых технологических системах. Электроника размещается в металлическом корпусе по IP67, устойчивая к вибрации, влагозащищенная; катушки помещены в пластиковый корпус.

Электронные драйверы включают в себя:

- **отдельные драйверы для пропорциональных клапанов без датчика:** E-MI-AC, E-BM-AC, E-ME-AC (см. табл. G010, G025, G035)
- **встроенные драйверы для пропорциональных клапанов без датчика:** E-RI-AE (см. табл. G110)
- **отдельные драйверы для пропорциональных клапанов с датчиком LVDT:** E-ME-T, E-ME-L (см. табл. G140, G150)
- **встроенные драйверы для пропорциональных клапанов с датчиком LVDT:** E-RI-TE (см. табл. G200)
- **встроенные драйверы для пропорциональных клапанов с датчиком давления:** E-RI-TERS (см. табл. G205)

Опорный сигнал на электронных драйверах обычно по напряжению (Вольт); альтернативно это может быть ток (Ампер), последний применяется при значительных расстояниях по опорному сигналу или обратной связи, во избежание электрических помех.

В любом случае, необходимо использовать экранированные электрические кабели или заземление – см. табл. F003, раздел [5].

Более подробная информация по драйверам, см. таблицы в разделе G.

5 ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Электронная система управления включает процессор и одну или больше, карту оси. Общие характеристики устройств управления электрогидравлическими осями непосредственно зависят от корректного выбора пропорционального клапана и электронной системы управления, которая должна быть выбрана специалистом в области электрогидравлики.

Системные инженеры-электронщики готовы предоставить заказчикам лучшие варианты стандартного или индивидуального программного обеспечения.

Узел управления машиной включает процессор (PLC, PIC, CNC) для обработки сигналов ввода-вывода (Рис. 3).

Процессор оборудован устройством ввода-вывода, а также периферийными устройствами, то есть платами осей и другими электронными контроллерами для координации различных осей.

Электрогидравлическая система управления может быть оптимизирована сразу по гидравлической и электронной части. Возможен объединенный анализ Технический Отдел Afos и системными инженерами заказчика.

Плата осей – это интерфейс между процессором (обрабатывает цикл машины и программу) и электрогидравлическими системами.

При помощи специальных вспомогательных плат можно создать прямой интерфейс цифровых плат осей с линейными или ротационными датчиками, магнитозвуковыми датчиками или индуктивными датчиками. Для интерфейса аналогового датчика с платой осей необходимо предусмотреть конвертер А/Д. Для обеспечения качественных характеристик разрешение должно быть 12 бит или лучше.

Основная функция платы осей состоит в сравнении опорных сигналов и сигналов обратной связи, в расчете погрешности и обработке опорного сигнала на пропорциональном клапане. Самым распространенным в применении является контроллер типа PID, который регулирует следующие параметры:

P: пропорционал погрешности; I: пропорционал изменения погрешности; D: пропорционал скорости изменения погрешности.

Многие производители предлагают свои контроллеры и карты регулирования: SIEMENS, OMRON, ALLEN BRADLEY, TELEMECANIQUE, и т.д.

Технический отдел Afos готов к сотрудничеству с клиентами и системными инженерами для тщательного анализа условий применения и выбора требуемых характеристик электрогидравлической системы.

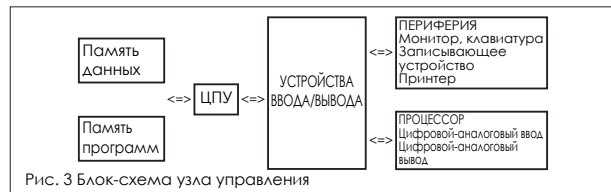


Рис. 3 Блок-схема узла управления

6 ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ДАТЧИКИ

Электрогидравлическое движение управляется линейными или ротационными приводами. Мониторинг производится датчиками положения аналогового или цифрового типа, которые могут устанавливаться непосредственно на приводе (встроенные датчики). Обычно сервоцилиндры оборудуются встроенными пропорциональными клапанами для повышения устойчивости системы.

Сервоцилиндры Afos в низкофрикционном исполнении с высокими статическими и динамическими характеристиками для улучшения возможностей управления, см. табл. B310.

7 ХАРАКТЕРИСТИКИ ОТБОРА СИСТЕМ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Одномагнитные клапаны – лучший выбор для управления системами с обратной связью. В процессе выбора пропорционального клапана необходимо учитывать следующее:

- выбор золотника с нулевым перекрытием (например, клапан DLHZO, табл. F180);
- выбор клапана с частотным срабатыванием равным по крайней мере 30 Гц при фазе 90 (график Боде);
- выбор соответствующей конфигурации системы, защищенную от сбоев (рис. 4), во избежание повреждений в случае электрических аварий;
- используйте линейные золотники для позиций управления (версия /L в коде);
- повторяемость и гистерезис $\leq 0,2\%$.

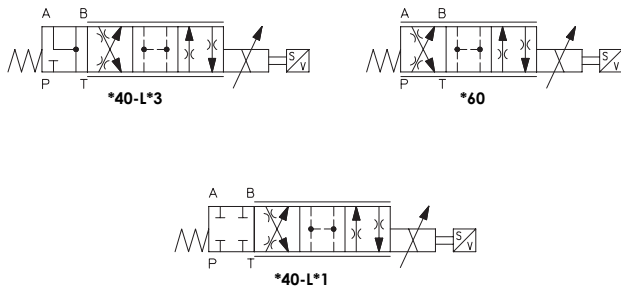


Рис. 4: Конфигурации, защищенные от сбоев.

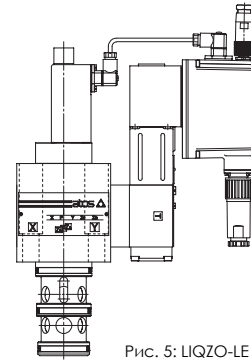


Рис. 5: LIQZO-LE

- выбирайте золотники с макс. расходом на 10-25% больше, чем макс. регулируемый расход (для лучшего управления минимальным расходом и гидравлическим усилением).
- если требуется высокая скорость и точность положения, используйте «ломаную» регулировку клапанов серии «Т» и соответствующие драйверы (см. табл. F180).

Для больших расходов имеются также 2-х или 3-х линейные пропорциональные картриджные клапаны, см. Рис. 5 (см. также табл. с F300 по F340). Это стандартные элементы для моноблоков и являются оптимальным решением с точки зрения компактности габаритов и умеренной стоимости.

Пропорциональные клапаны Atos и соответствующие драйверы маркированы «СБ» по EMC (72/23/CEE) и по Директивам Низкого Напряжения, см. табл. P004.

Полную информацию по пропорциональным клапанам и управлению, см. специальные технические таблицы.

8 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Этот раздел предназначен для передачи базовых и практических сведений по возможностям оценки характеристик систем с обратной связью. Базовая концепция, описанная ниже, опирается на передовые программы моделирования, при помощи которых имеется возможность выстраивать сложные схемы, связывающие различные функциональные блоки в единую цепь и определять выходные характеристики каждого элемента. Кроме того, имеется возможность моделировать поведение сложных систем и анализировать характеристики динамического срабатывания. В частности, можно проводить анализ параметров (переменная прочность, масса, тип и размер пропорциональных клапанов).

Электрогидравлические области применения можно, в основном, разделить на следующие:

- динамические применения: движение нагрузки с высокой скоростью/частотой;
- силовые применения: передача высоких усилий при низкой скорости.

Проблемы, возникающие в динамических применениях, сложно оценить, несмотря на их важное значение. Большая часть неисправностей возникает в результате неправильного подхода к системе, не учитывающего проблему частоты.

Должны быть рассмотрены два аспекта:

- гидравлическая прочность системы;
- инерция нагрузок.

Во многих применениях гидравлическая жидкость считается несжимаемой. Это абсолютно неправильно, поскольку под давлением жидкость сжимается, как пружина (Рис. 6).

В скоростных сервосистемах с высокими динамическими нагрузками трубопроводы также могут рассматриваться как эластичные, особенно с учетом высокого давления. Необходимо обратить внимание на аккумуляторы, которые улучшают общие характеристики, но делают систему более критичной с точки зрения динамики.

Анализ системы с обратной связью можно упростить, схематизировав компоненты (или группы компонентов) в блоки (Рис. 7). Отношение между входом и выходом отдельного блока является **усилением (G)**.

Усиление цепи системы K_v (Рис. 8) можно рассчитать, суммируя усиления отдельных блоков цепи (усилитель G_D , пропорциональный клапан G_V , цилиндр G_C , обратная связь). Чем выше усиление цепи системы, тем выше общие характеристики.

Однако, чрезмерное усиление может отрицательно сказаться на стабильности системы (Рис. 9).

В этой ситуации динамические колебания расходятся. Максимальное значение усиления, при котором еще обеспечивается стабильность системы, определяется:

- массой нагрузки (M); чем больше масса, тем больше инерционные силы, и тем выше тенденция к колебанию.

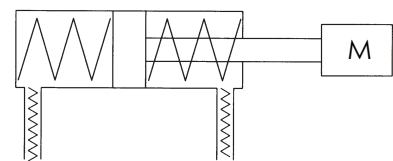


Рис. 6: Привод как система пружина/масса

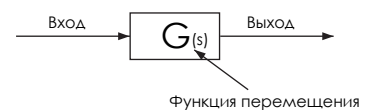
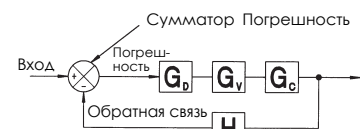


Рис. 7: Функция системы перемещения



Без обратной связи: $K_v = G_D \times G_V \times G_C$

С обратной связью: $\frac{K_v (s)}{1 + K_v (s) \times H (s)}$

Рис. 8: Усиление цепи системы

- прочностью исполнительного механизма (**CH**): более низкая прочность обуславливает повышенную тенденцию к колебанию. Следовательно, прочность должна быть как можно больше;

- коэффициент затухания (ξ) системы (как правило, $\xi = 0,05 - 0,3$). Данный параметр зависит от характеристик клапана (нелинейные характеристики и т.д.) и от трения в системе.

Уверенная стабильность $Kv \leq 2\xi\omega_s$

где ω_s (собственная частота системы с обратной связью) является минимальным значением между:

- ω_v : собственная частота клапана (частота с фазовым сдвигом 90; см. таблицы F165, F172, F180);
- $\omega_o = \sqrt{CH/M}$: собственная частота механической системы (обычно 10 – 100 Гц);
- $\omega_{ат}$: собственная частота усилителя и датчика обратной связи (как правило, не принимается во внимание, поскольку по крайней мере в десять раз превосходит ω_v, ω_o).

В промышленном применении электрогидравлических осей критическая частота всегда составляет ω_o .

Для линейных приводов ω_o рассчитывается по следующей формуле:

$$\omega_o = \sqrt{\frac{40 EA_1}{CM} \frac{1 + \sqrt{\alpha}}{2} \left[\frac{\text{рад}}{c} \right]}$$

$E = 1.4 \cdot 10^7 \text{ Кг/см.с}^2$ (модуль упругости жидкости)
 $c = \text{ход (мм)}$
 $M = \text{масса (кг)}$
 $A_1 = \text{площадь поршня (см}^2\text{)}$
 $A_2 = \text{площадь цепи (см}^2\text{)}$
 $\alpha = A_2/A_1 = \text{отношение сечений цепи/поршня}$

Собственная частота ω_o цилиндра-массовой системы прямо зависит от минимального времени ускорения/замедления, допустимого для поддержания функциональной стабильности (критерий Рута-Хервица).

$$t_{\min} = 35/\omega_o(c)$$

Опыт показывает, что если минимальное время ступени t_{\min} , рассчитанное для обеспечения стабильности системы, превышает приблизительно 0,1 с, система должна быть пересмотрена (см. рис. 11).

После установления общего режима цикла и общего хода можно рассчитать максимальную скорость:

$$V_{\max} = S_{\text{tot}} / (t_{\text{tot}} - t_{\min}) \quad S_{\text{tot}} = \text{общий ход (мм)} \quad t_{\text{tot}} = \text{общее время цикла (с)}$$

и соответственно максимальное ускорение:

$$a_{\max} = V_{\max} / t_{\min}$$

Общая прочность важна также и для того, чтобы определить статические характеристики с точки зрения прочности, с которой электрогидравлическая ось достигает и удерживает определенное положение, поскольку при увеличении прочности повышается и чувствительность к возможным внешним помехам: реактивным нагрузкам на приводы (силы инструментов, удары), нагрузки от веса (вертикально установленные цилиндры), трения по направляющим, зазоры соединений. Другие параметры, которые необходимо учитывать: отклонение клапана от положения нуля по причине перепада температуры или давления, точность или разрешение датчика обратной связи.

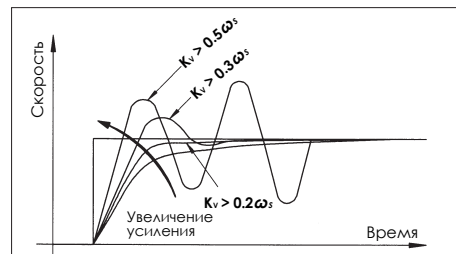


Рис. 9: Реагирование на увеличение шага сигнала.

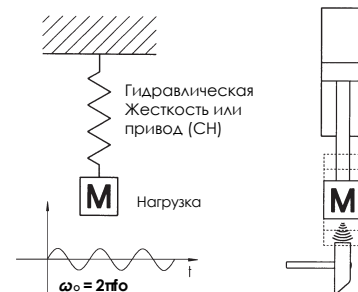


Рис. 10: Механизм масса/пружина

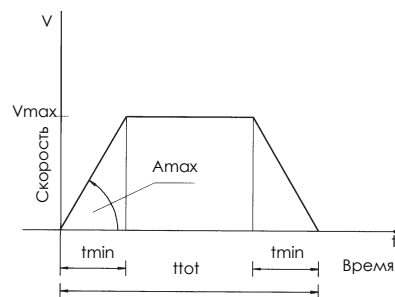


Рис. 11: Цикл позиционирования

9 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ: ПРИМЕР

Нижеприведенный пример показывает значительное влияние динамических характеристик для системы с обратной связью.

Рассмотрим простую схему на рис. 12. Цилиндр подсоединен к пропорциональному клапану, машинный цикл заставляет цилиндр завершить полный ход за период времени 2 с.

Применив формулу из раздела [8], мы получим:

$$\omega_o = 69.12 \text{ рад/сек}$$

$$t_{\min} = 0.51 \text{ сек}$$

$$V_{\max} = 0.67 \text{ м/сек}$$

$$a_{\max} = 1.31 \text{ м/сек}^2$$

$$Q_{\max} = V_{\max} \times A_1 = 0.67 \times 19.6 \times 60/10 = 78.9 \text{ л/мин}$$

$$\text{Финерции} = M \times a = 2620 \text{ Н}$$

$$P_{\min} = (\text{Финерции} + F_{\text{нагрузки}}) \times A_1 = (2620 + 19620)/19.6 \left[\frac{\text{Н}}{\text{см}^2} \right] = 1.135 \left[\frac{\text{Н}}{\text{см}^2} \right] = 113.5 \text{ бар}$$

$$P_{\text{треб.}} = P_{\min} + \Delta P_{\text{ном.клапана}} + \Delta P_{\text{давления-системы}} = 113.5 + 70 + 16 = 199.5 \text{ бар}$$

P_{треб.} – это давление, создаваемое насосной стацией.

Пропорциональный клапан выбирается со значением $\Delta P_{\text{ном.клапана}}$ в рамках диапазона, указанного в технических таблицах. В предыдущем примере можно остановить выбор на клапане DLKZO-TE-040-L71 ($Q = 100 \text{ л/мин}$, $\Delta P_{\text{ном.клапана}} = 70 \text{ бар}$).

На основе данного расчета определяется давление, необходимое для достижения цикла с требуемой динамикой.

10 ТИПИЧНЫЕ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ

Повторяемость: Максимальная разница между значениями одного гидравлического параметра, полученными в разные промежутки времени при одних и тех же гидравлических и электрических условиях, после направления на клапан переменных команд. Повторяемость измеряется как процентное отношение максимального значения гидравлического регулируемого параметра и применительно к открытой цепи напрямую связана и характеристиками точности системы.

Течучесть: Количество жидкости, проходящей между горловиной под давлением и горловиной резервуара при закрытом состоянии масляных каналов. Данная величина напрямую связана с качеством механического исполнения и может указывать на минимальный расход.

Опорный сигнал: Электрический сигнал, направляемый на электронный драйвер для получения тока управления, необходимого для клапана.

Ток управления: Ток, требуемый для приведения в действия клапана; выражается в миллиамперах [mA].

Ток Bias [mA]: Ток, необходимый для перевода клапана на гидравлический ноль в каждой конкретной рабочей ситуации.

Пульсация: Частота пульсации тока управления.

Регулировка шкалы: Отношения между значениями тока управления и значениями опорного сигнала: линейное и регулируемое.

Время ступени: Время, необходимое для изменения тока управления на клапане вследствие ступенчатого изменения в опорном сигнале.

Электрическое усиление: Фактор суммирования погрешностей цепи, для корректировки значений тока управления в устройствах контроля с обратной связью.

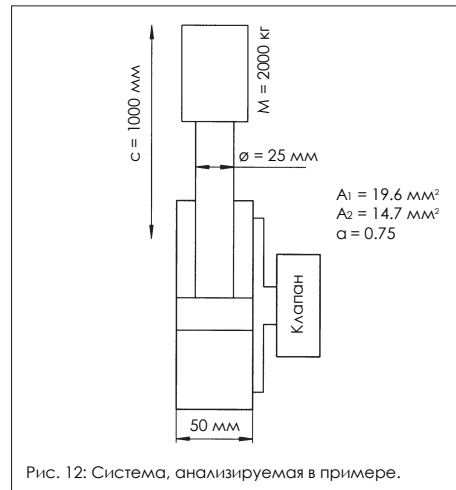
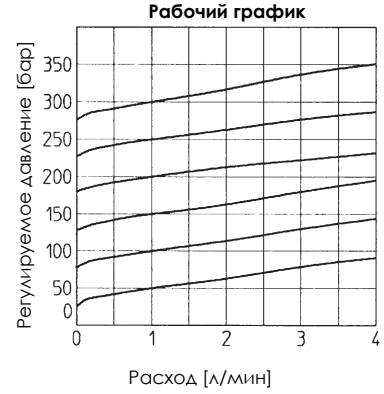


Рис. 12: Система, анализируемая в примере.

КЛАПАНЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ



Как изменяется регулируемое давление клапана в зависимости от опорного сигнала.

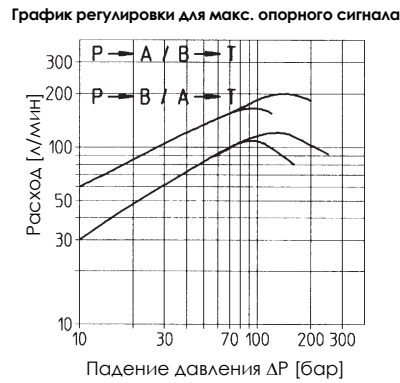


Изменение регулируемого давления в клапане в зависимости от расхода

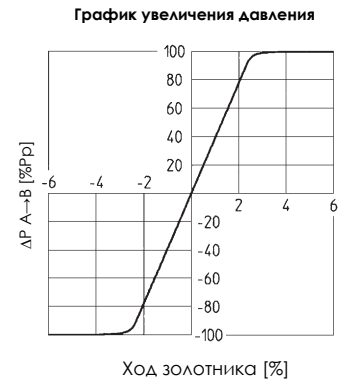
РАСПРЕДЕЛИТЕЛИ И ДРОССЕЛИ



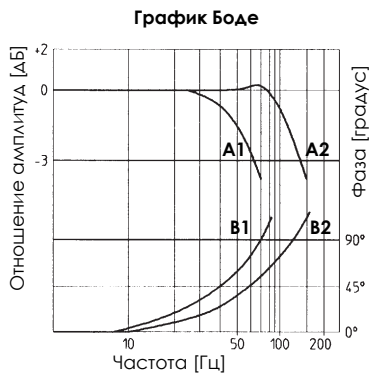
Как изменяется регулируемый расход клапана в зависимости от электрического опорного сигнала



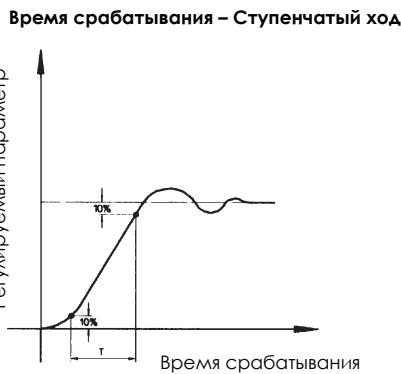
Расход регулируется в зависимости от ΔP при максимальном значении электрического опорного сигнала. Как изменяется регулируемый расход клапана в зависимости от падения давления.



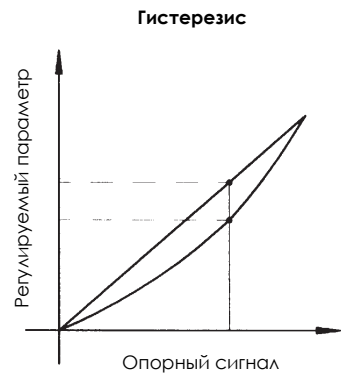
Как изменяется давление в канале в зависимости от хода золотника в клапане с нулевым перекрытием в положении покоя. По оси X ход золотника выражен в процентном отношении давления на входе. Увеличение давления – это значения хода золотника [%], которому соответствует ΔP между каналами A и B, равная 80% давления на входе.



Кривая показывает по диапазонам регулировки ($\pm 5\%$ и $\pm 90\%$):
 А) как изменяется отношение амплитуды (между амплитудой опорного сигнала и ходом золотника) при изменении частоты опорно-синусоидального сигнала;
 Б) как изменяется фаза (между опорным синусоидальным сигналом и реальным ходом золотника) при изменении частоты опорного сигнала.



Интервал времени, который требуется клапану для того, чтобы произошло гидравлическое срабатывание вследствие ступенчатого изменения опорного сигнала (обычно 0 – 100%). Время срабатывания измеряется в миллисекундах [мс]. Данный параметр позволяет легко оценить динамику клапана.



Максимальная разница между двумя значениями регулируемого гидравлического параметра. Значения получены путем направления одной и той же серии сигналов управляется сначала от 0 до максимального, а затем от максимального до 0. Гистерезис измеряется в процентном отношении максимального значения регулируемого гидравлического параметра.