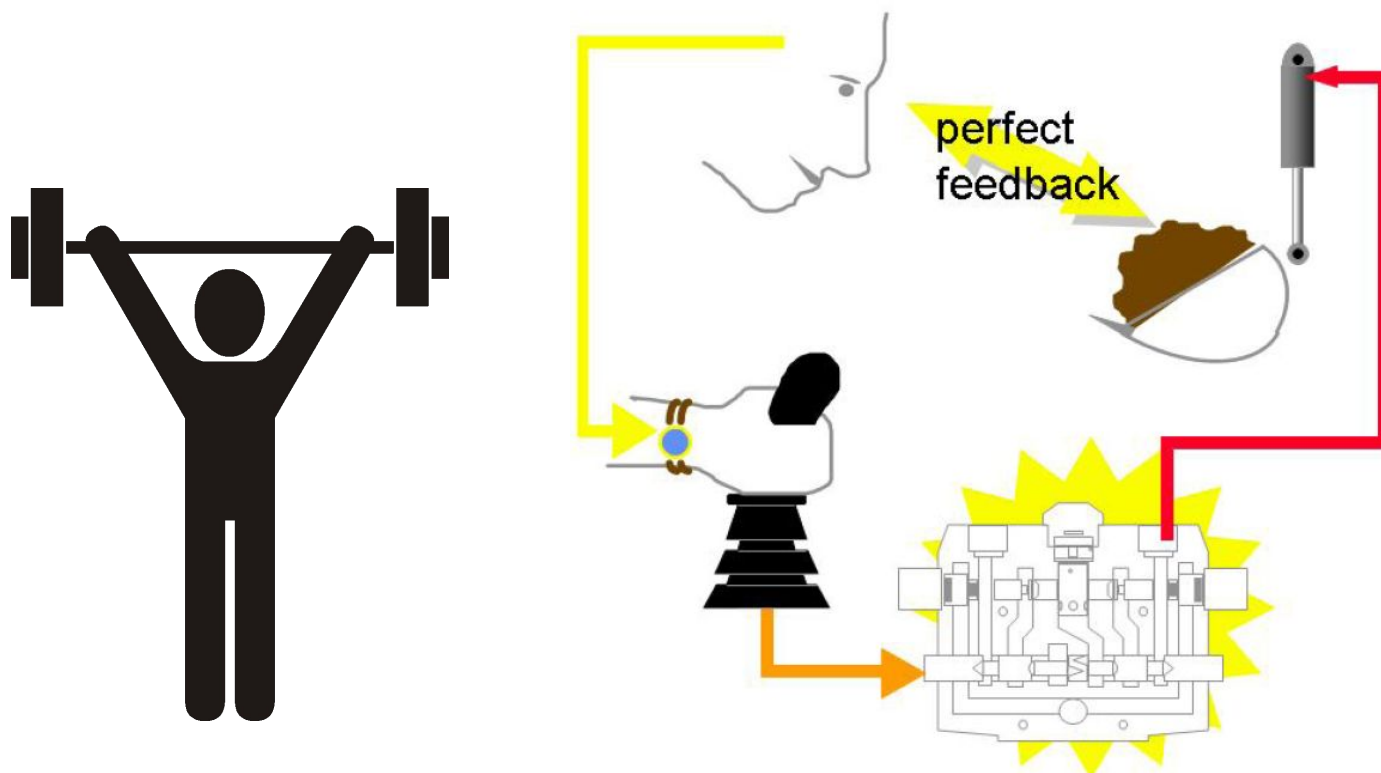




Гидравлические системы  
открытого контура  
с закрытым центром  
и управлением по нагрузке  
(Load Sensing system)

# Определение:

- В системах с управлением по нагрузке (LS) насос подает в систему ровно столько масла (поток и давление), сколько требуется в данный момент исполнительным органам



## Достоинства систем с управлением по нагрузке:

- Позволяют оператору производить движения очень точно и безопасно, (с точки зрения техники безопасности и возможных инцидентов) поскольку движения всех органов плавные и не зависят друг от друга по сравнению с системой с дроссельным управлением.
- Влияние вязкости жидкости, различного давления или колебания скорости вращения вала приводного двигателя насоса – компенсируются врожденными свойствами системы и скорость рабочих органов не зависит от этих факторов.
- Низкие потери энергии и меньший расход топлива приводного двигателя, большая экономичность
- Меньший нагрев от дросселирования и соответственно меньшее окисление и больший срок службы рабочей гидрожидкости.

## Недостатки систем с управлением по нагрузке:

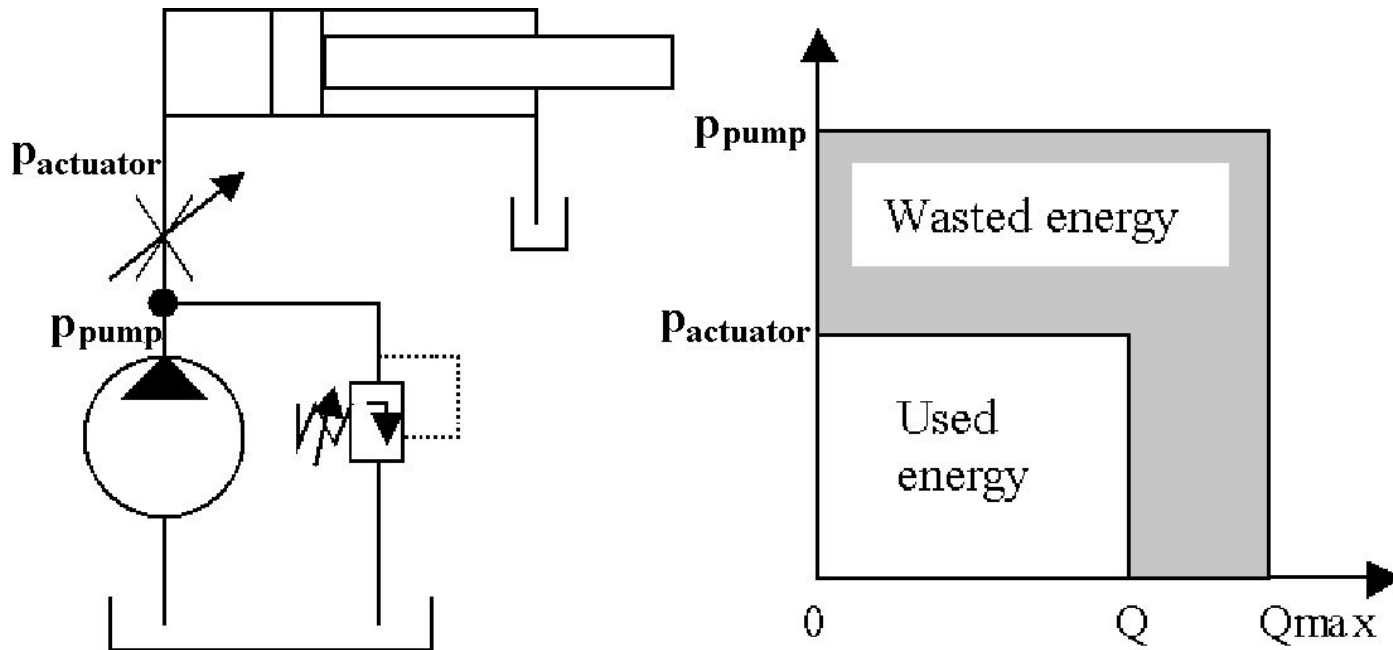
- Компоненты технически сложны и имеют большую стоимость.
- Сложность диагностирования и отсутствие понимания у широких масс механиков

## ИТОГ:

Целесообразна и незаменима для систем имеющих очень большое количество потребителей/контуров и при этом не все из них работают постоянно или совсем редко, особенно если насос только один. Позволяет при этом использовать насос меньшей производительности (размера и стоимости).

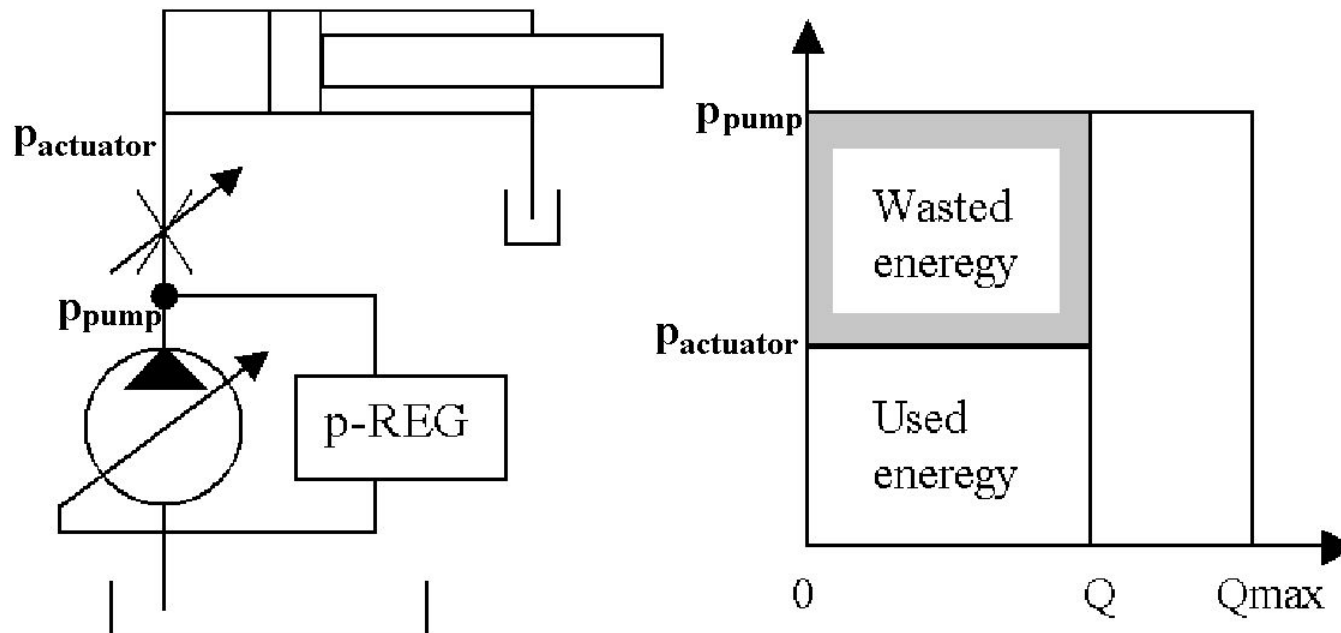
# Почему выгодно использовать LS?

- Пример 1
  - У насоса нет регулировки по объему и давлению
  - Неиспользуемый поток сливается в бак = потери энергии
  - Неиспользуемое давление = потери энергии



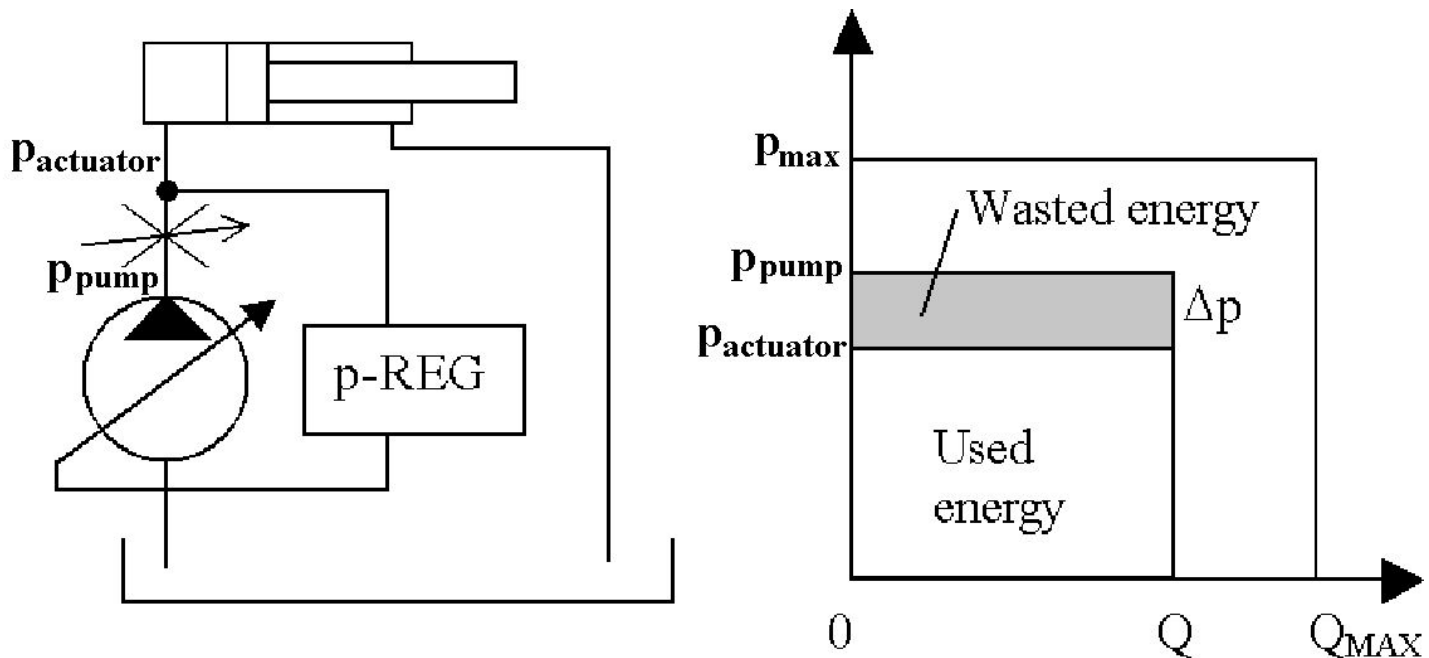
# Почему выгодно использовать LS?

- Пример 2
  - Насос переменного объема с регулировкой по давлению
  - Неиспользуемое давление = потери энергии

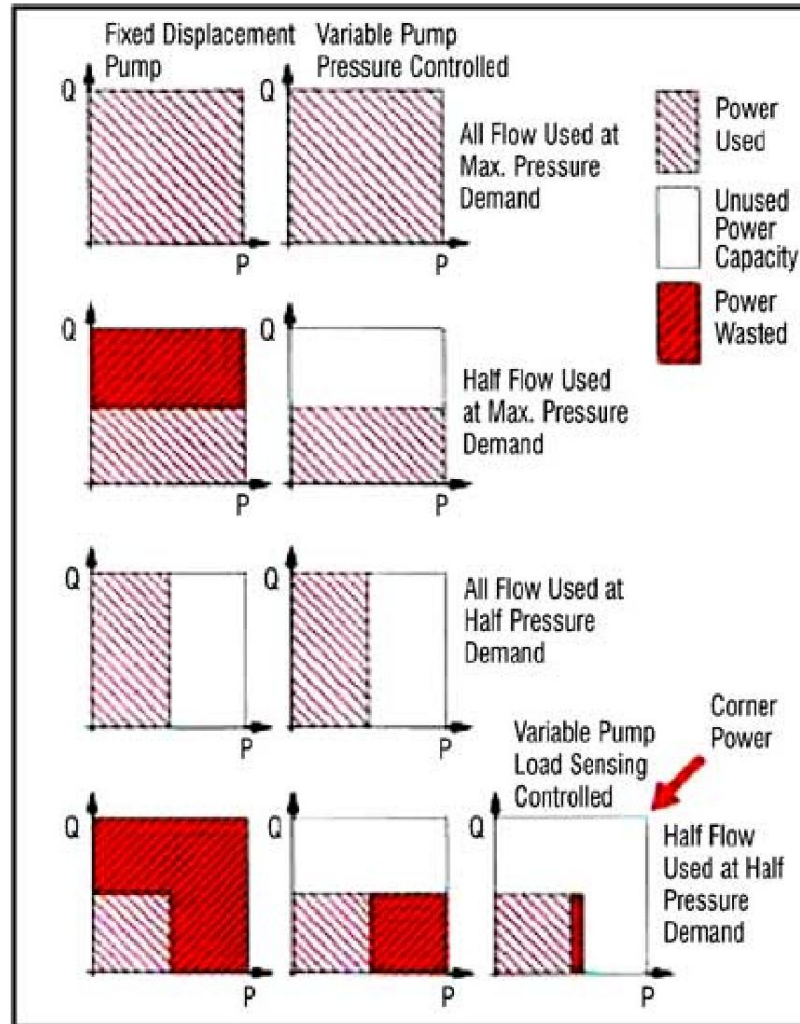


# Почему выгодно использовать LS?

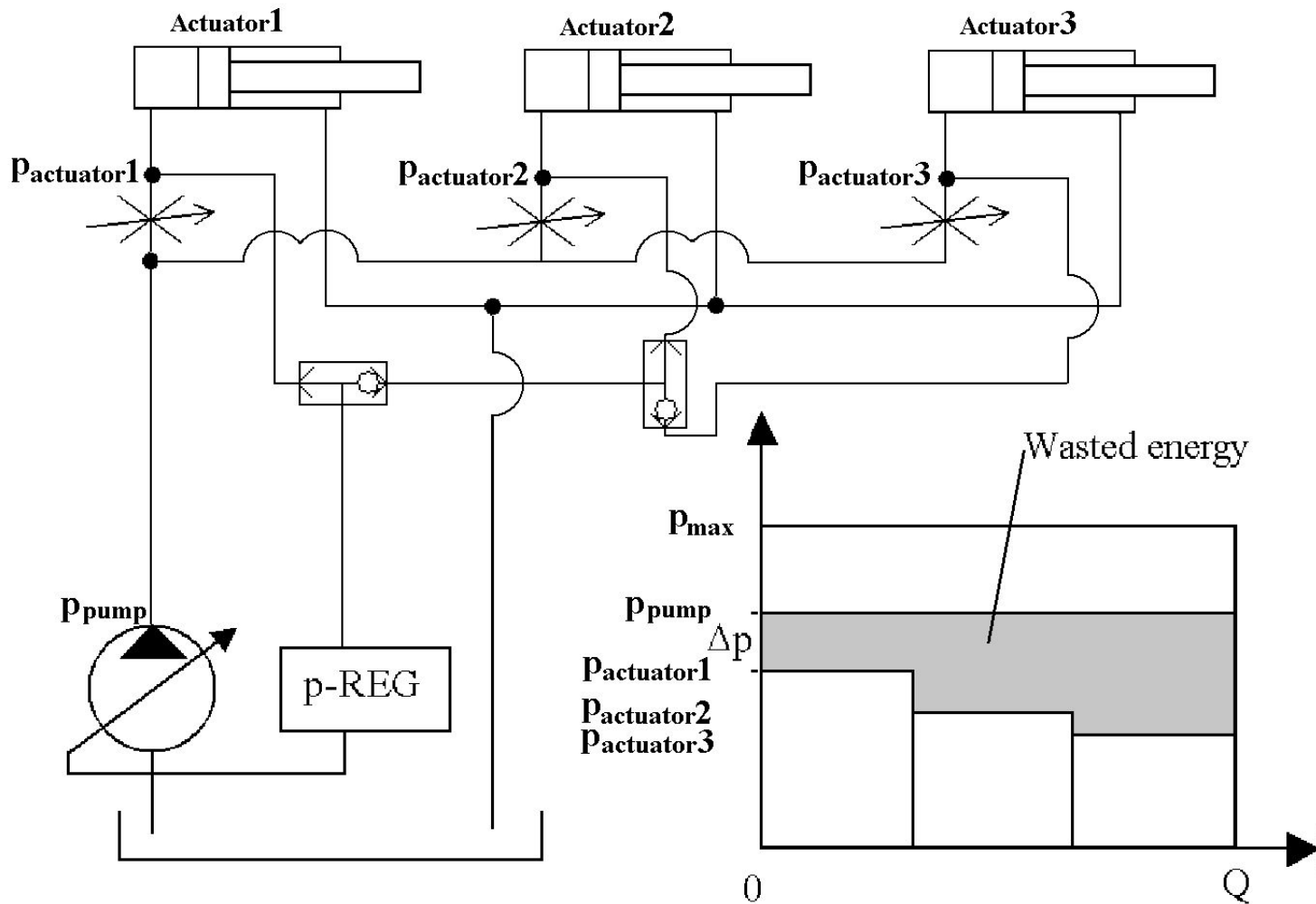
- Пример 3
  - Насос переменной производительности с управлением LS
  - Потери только от  $\Delta p$ , разницей между давлением насоса и давлением, используемым в системе (=LS pressure)



# SUMMARY: Потери энергии на разных режимах в разных системах



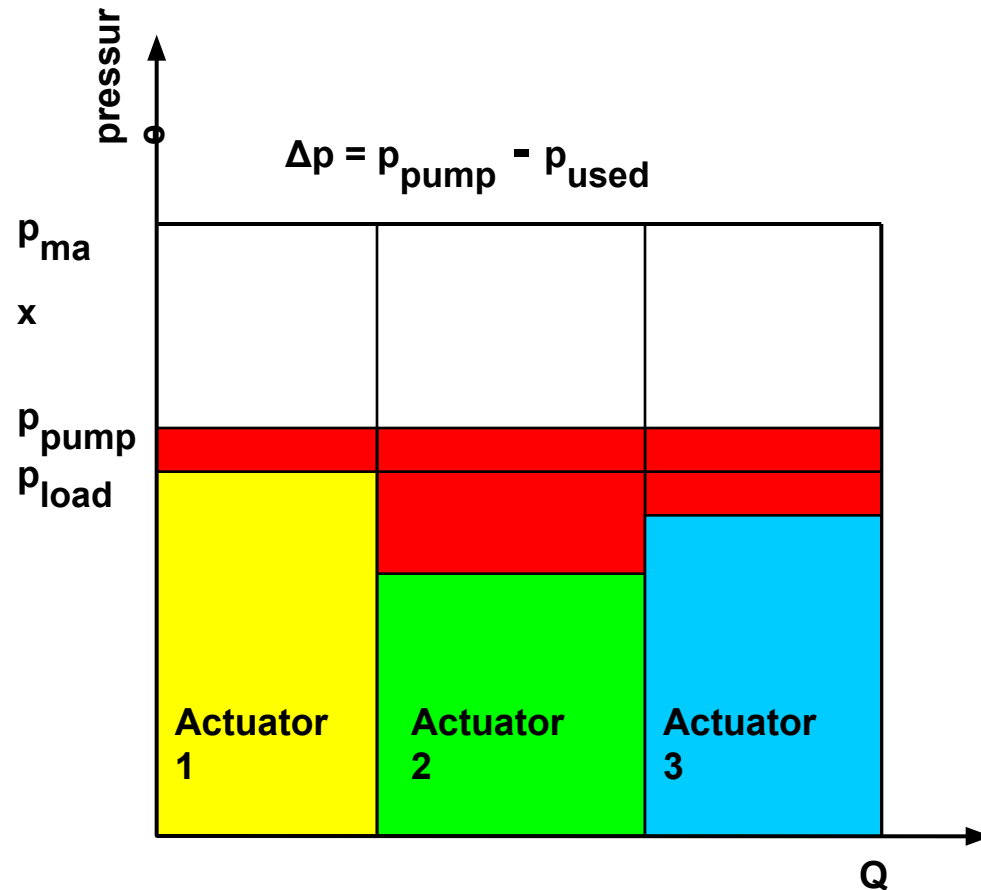
# LS и несколько исполнительных органов





# Потери мощности – несколько ИО

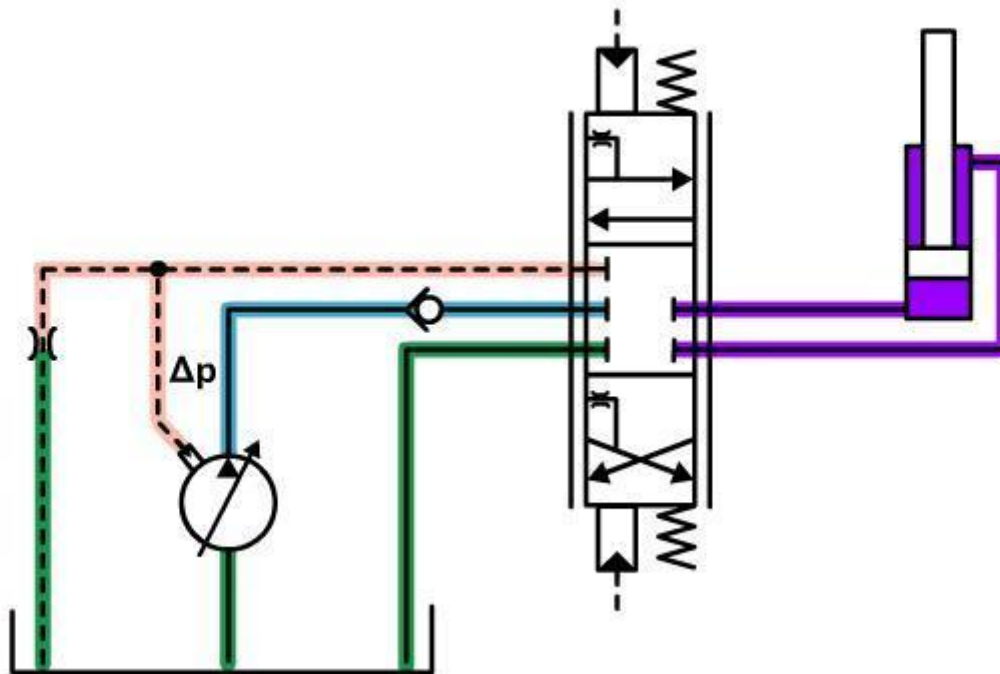
- Если только один ИО задействован, потерянная мощность (красный цвет) будет равна произведению текущего значения потока и  $\Delta p$
- Если задействованы два ИО, потери мощности возрастают и будут больше для второго ИО, того, у которого меньше потребность в давлении и/или потоке.
- Чем ближе будут значения давления/расхода при одновременной работе нескольких ИО, тем меньше будут общие потери энергии в системе.



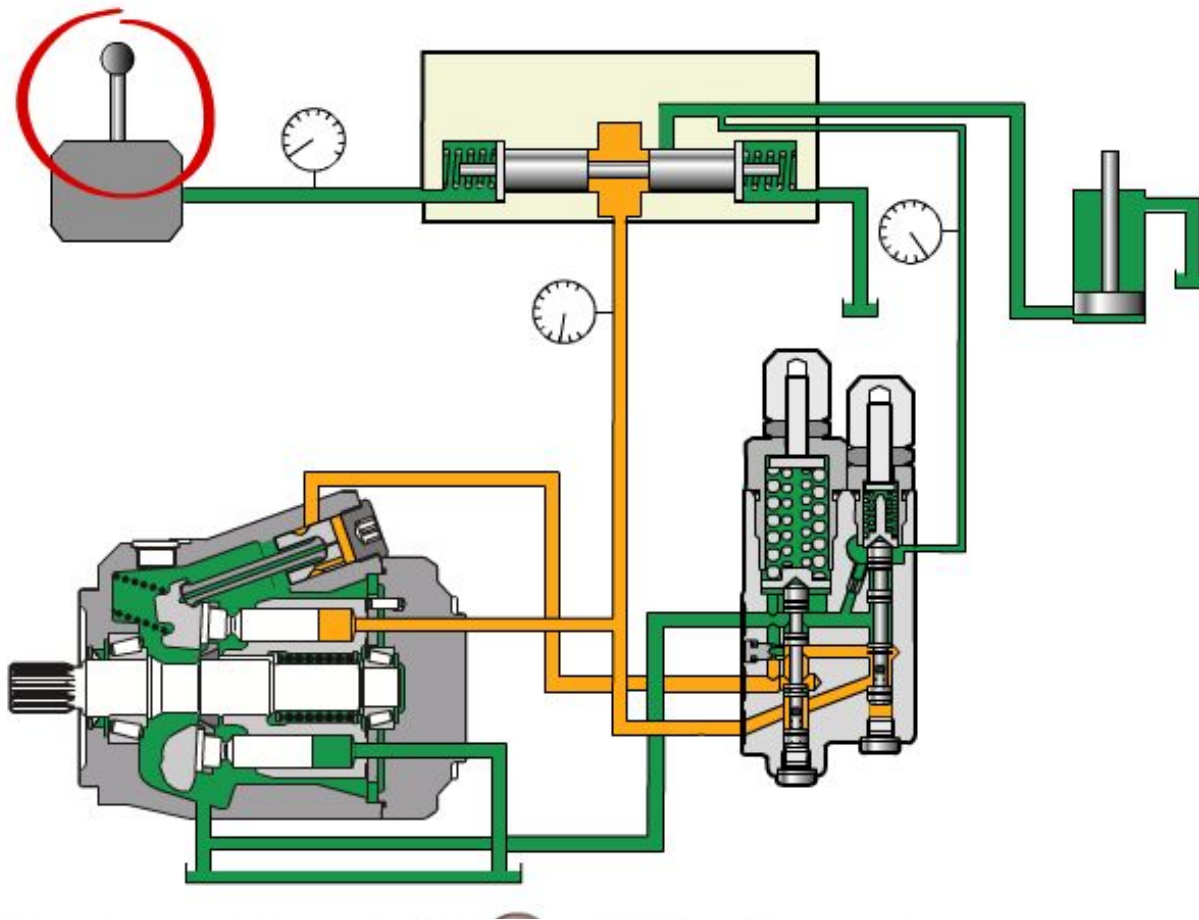
# Как это работает?



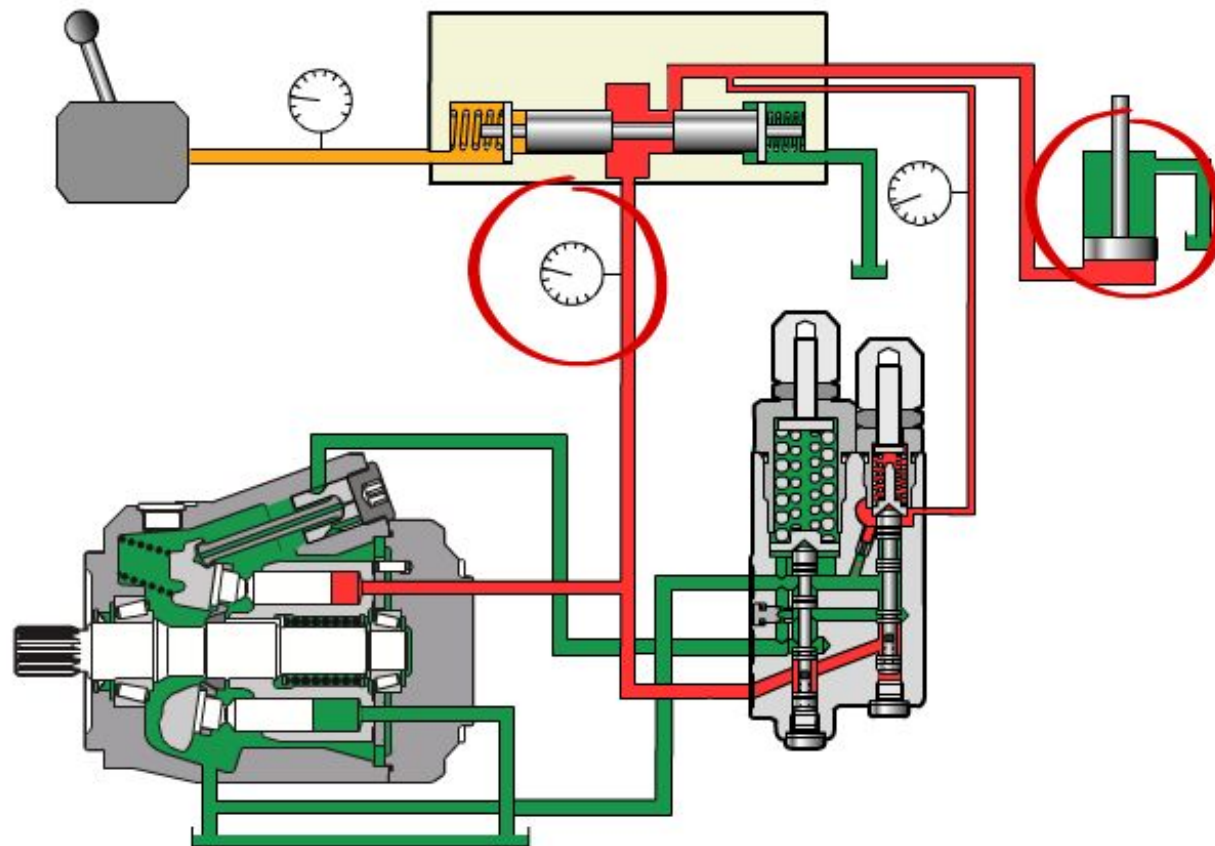
Pump3b.exe



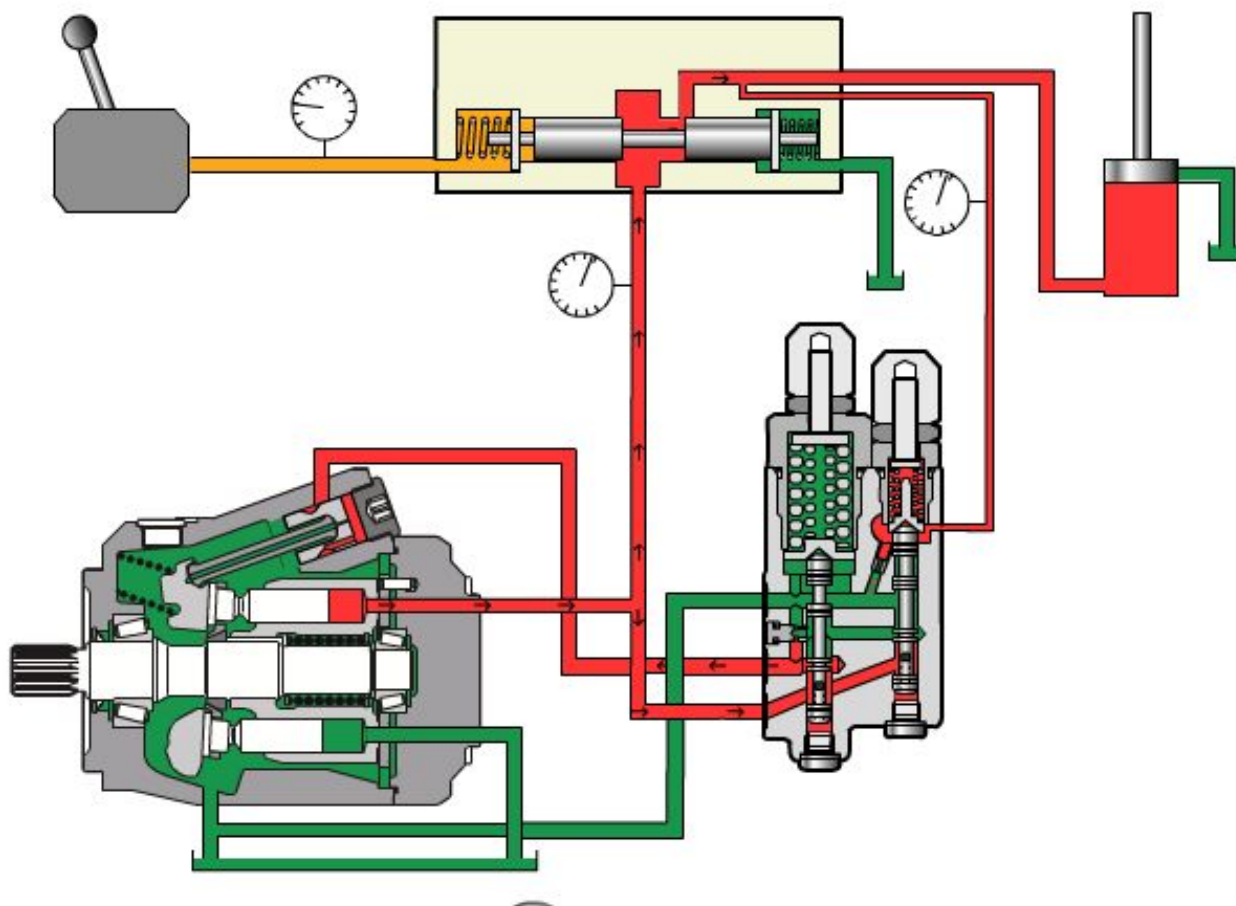
# 1. Ситуация “Stand-By” давление ожидания



## 2. Рабочий ход



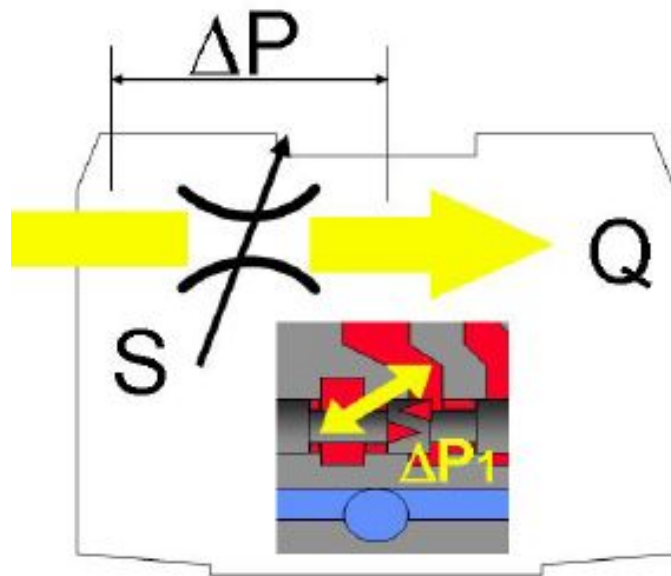
### 3. Достигнуто Макс давление в системе



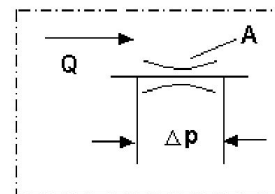


# Управление расходом:

Поток от насоса – зависит только от величины открытия проходного сечения золотника – “S”(“A”), т.к. величина  $\Delta P$  – постоянна.



$$Q = k S \sqrt{\Delta P}$$



$\Delta p$  - перепад давления  
 $Q$  - поток  
 $A$  - площадь открытия  
 $\alpha$  - коэффициент потока  
 $\rho$  - плотность  
 $K$  - константа

$$Q = \alpha \cdot A \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot \Delta p}$$

$$\alpha \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} = K$$

$$Q = K \cdot A \sqrt{\Delta p}$$

$$Q = f(A, \Delta p)$$

Стандартное  
дрессельное  
управление

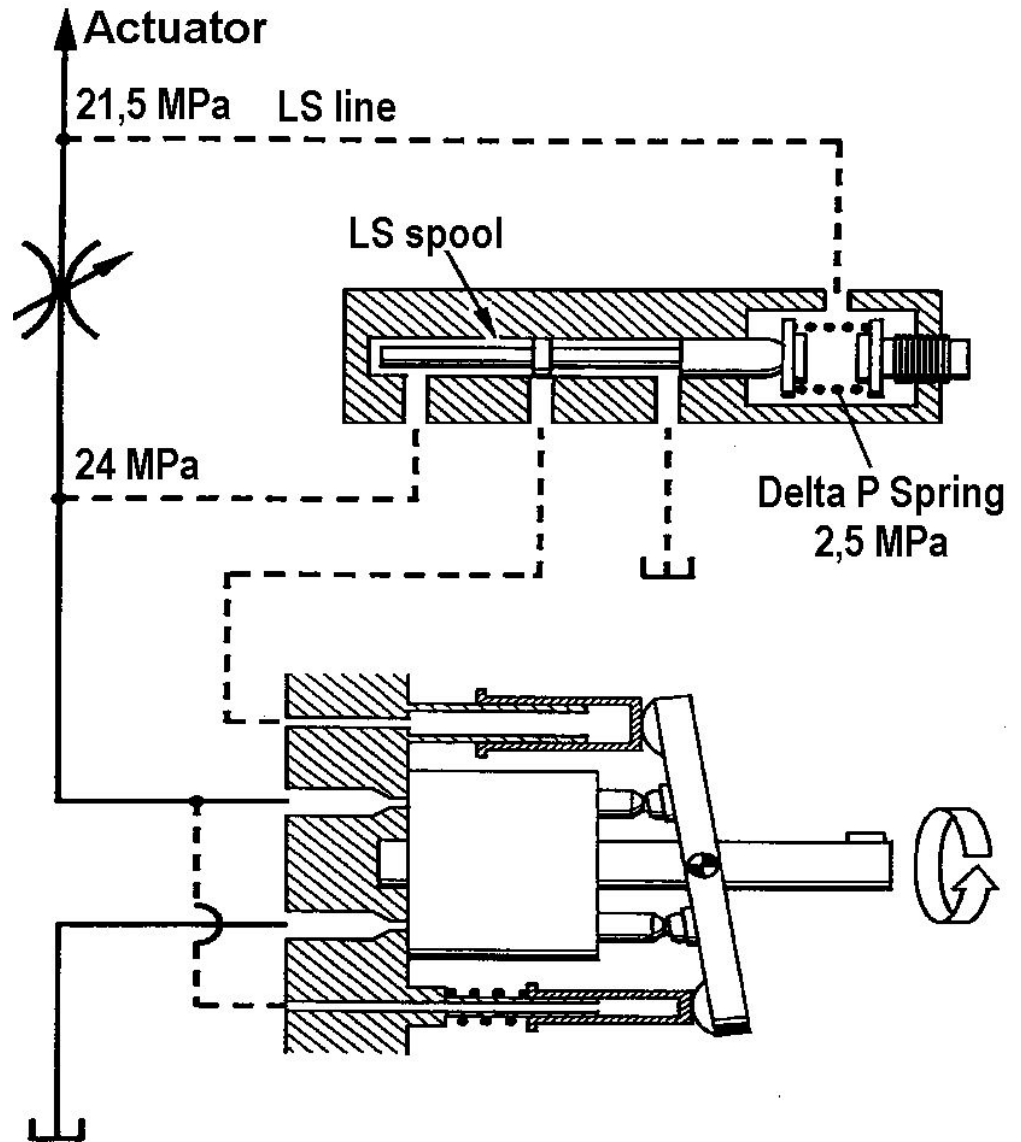
$$\Delta p = const.$$

$$Q = f(A)$$

Независимая от нагрузки  
система Load Sensing

# Принцип LS

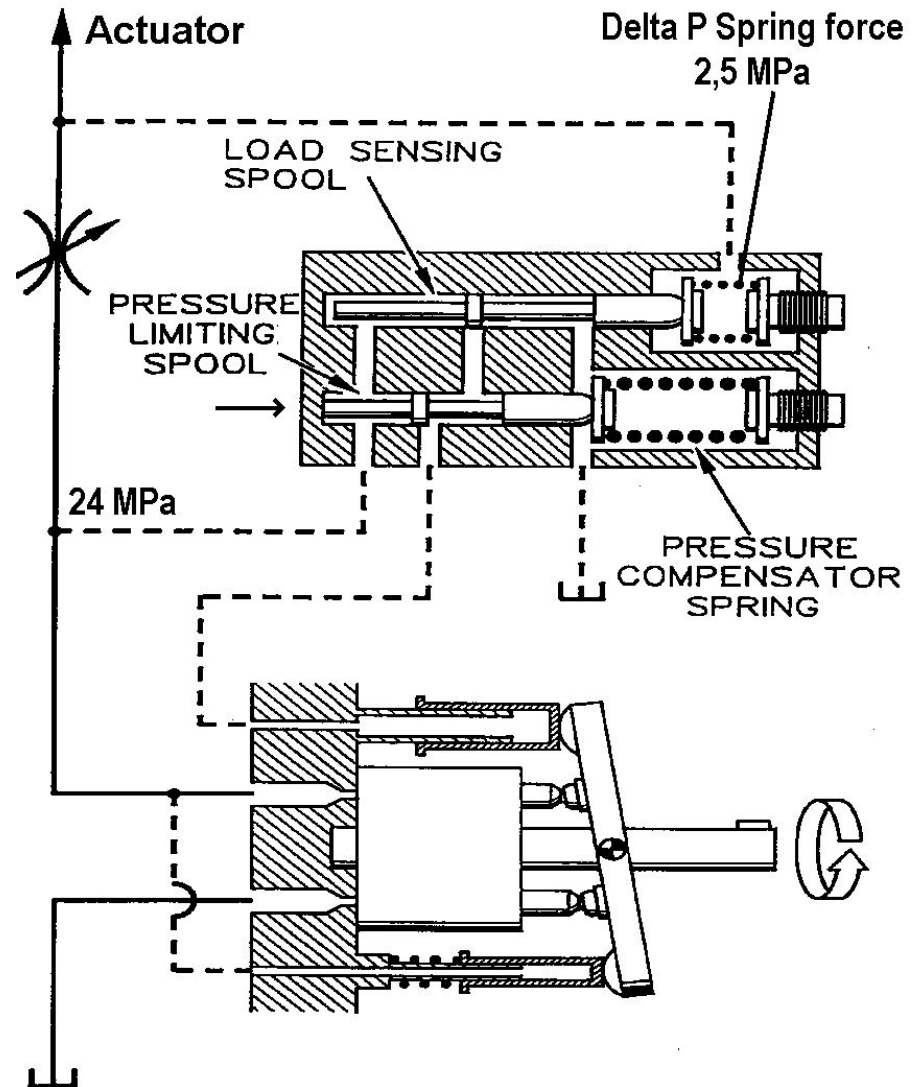
- Давление в линии LS – это давление после падения на дросселе (проходное сечение золотника секции распределителя в зависимости от степени открытия)
- LS-золотник в регуляторе всегда поддерживает давление на выходе от насоса на 2,5 МПа ( $\Delta P$  или  $\sim$  = усилие натяжения пружины) выше чем в линии LS





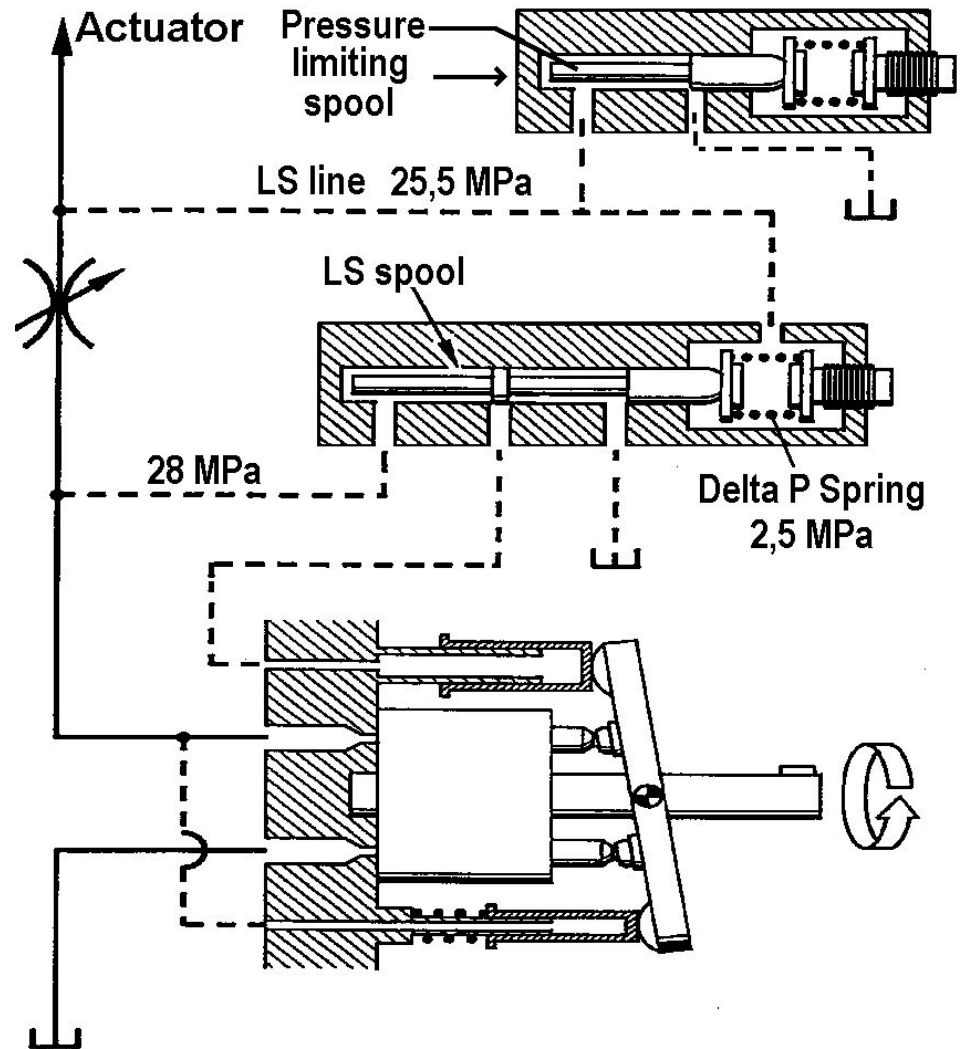
# Ограничение МАХ давления – 1 (LS)

- Ограничивает давление, непосредственно воздействуя давлением из линии нагнетания насоса на золотник регулятора – ограничителя давления
- В данном примере - 24 МПа



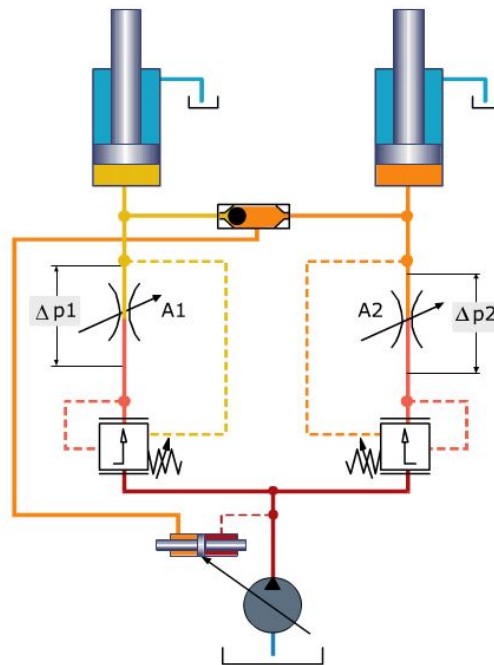
# Ограничение МАХ давления -2 (LUDV)

- Ограничивает давление в линии LS
- При максимальном давлении насоса 28 МПа, давление срабатывания клапана на линии LS будет 25,5 МПа



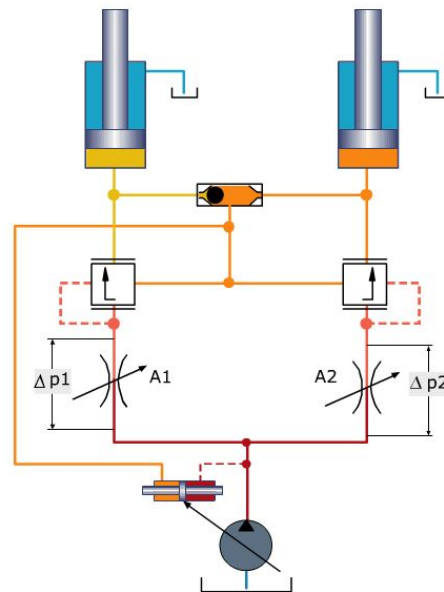
# Различают 5 основных видов LS систем:

- LS “без компенсаторов” в секциях распределителя. Пример: погрузчики
- LS “с компенсаторами ПЕРЕД золотником” для каждой подключенной секции распределителя. Пример: 3-я/4-я функция погрузчиков.



- LS “с компенсаторами ПОСЛЕ золотника” для каждой подключенной секции распределителя.

Данный вид систем имеет практическое преимущество перед простой системой LS в гидросистемах машин, для которых важно сохранение синхронности движений при изменении их скорости. Примером может служить гидросистема экскаватора. (Как правило фирмы-производители имеют свои собственные названия/торговые марки для таких систем: “Flowsharing” – Parker Hannifin Hydraulics, “LSC” – Linde AG, “LUDV” – Bosch-Rexroth AG, но общепринятым считается термин - “**FLOWSHARING**”)



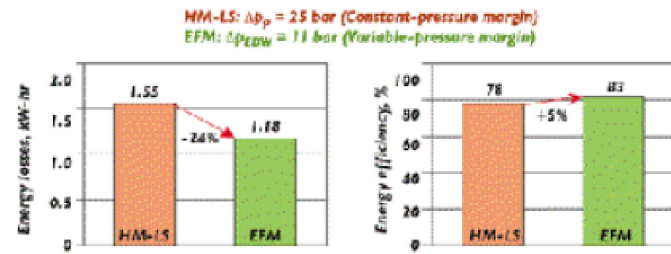
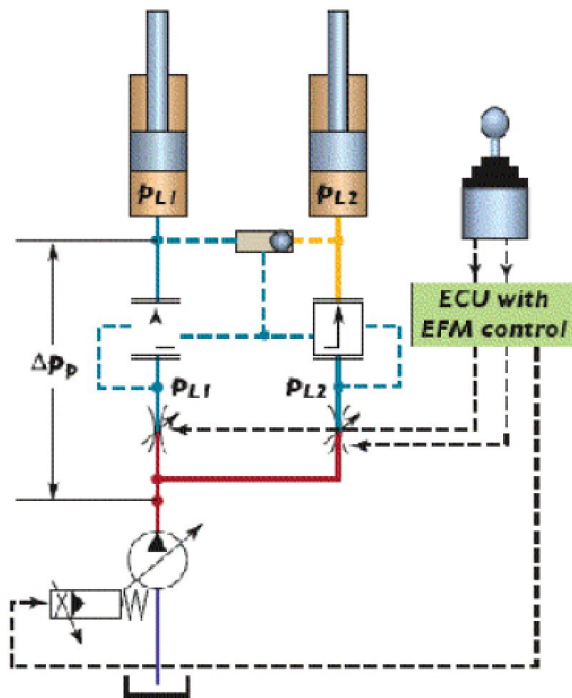
- LS с комбинацией компенсаторов “ПЕРЕД” и “ПОСЛЕ” - где “ПЕРЕД” находится в приоритете к другим функциям.

Пример: рулевое управление погрузчика и погрузчика-экскаватора

- LS с синхронизированными электронно-управляемыми системами регулирования объёма насоса и привода золотников для быстроты реакции и уменьшения энергетических потерь в системе.

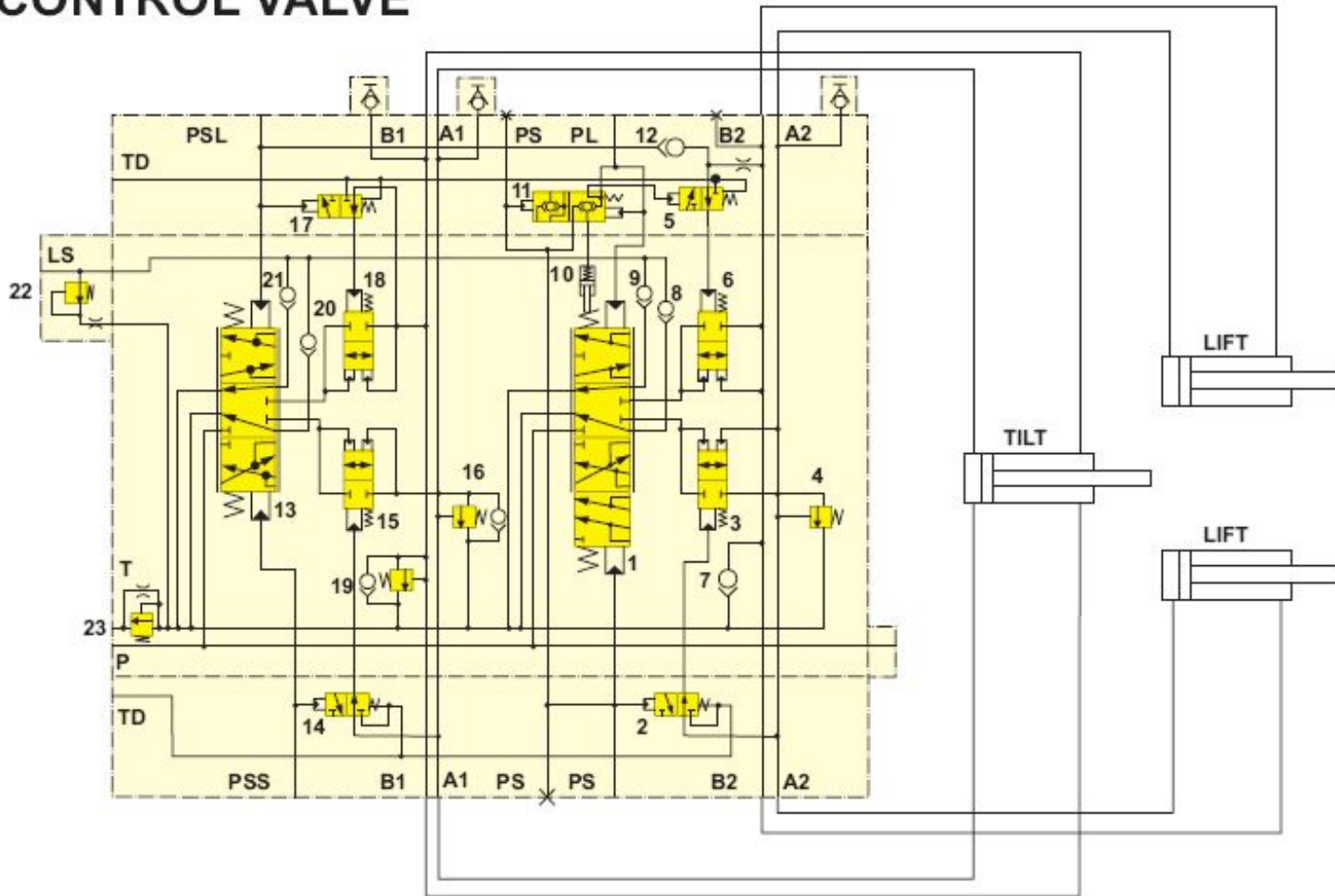
Это новый перспективный тип, и в настоящее время не до конца разработан и не поставлен на производство.

### Electrohydraulic flow matching



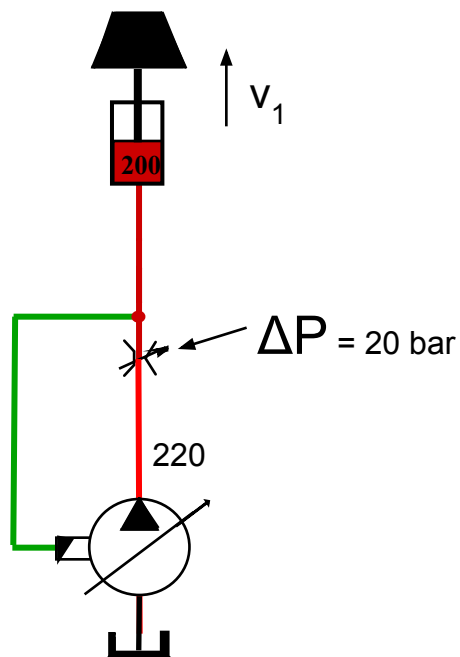
# Простая LS система – погрузчики Volvo:

## CONTROL VALVE

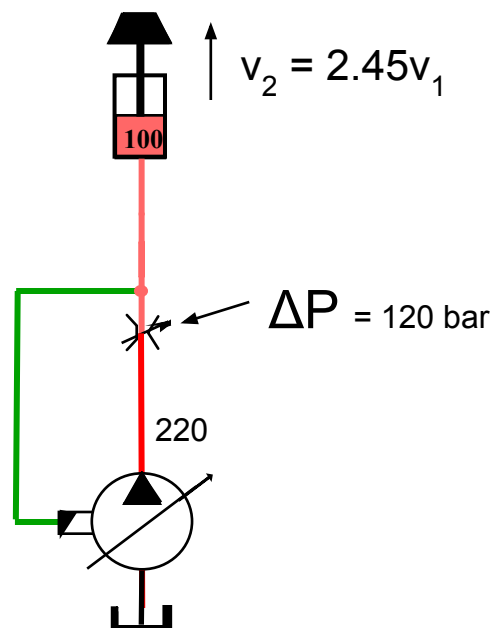




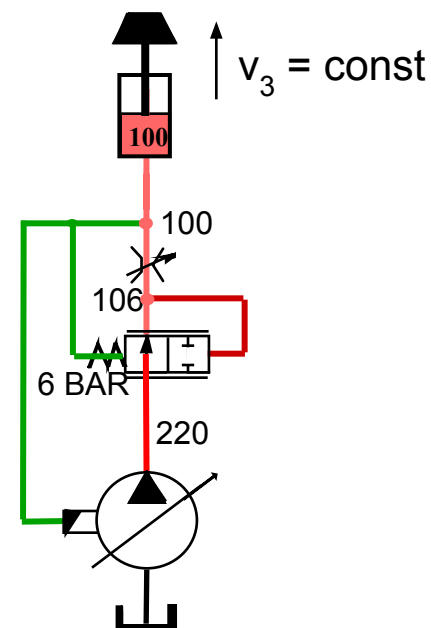
# ”Hi-End” LS – системы ЗАЧЕМ НУЖНЫ КОМПЕНСАТОРЫ ДАВЛЕНИЯ?



- Нет компенсации давления
- масса подн. груза 1000 кг
- $\Delta P$  падение давления на дросселе 20 бар



- Нет компенсации давления
- масса подн. груза 500 кг
- $\Delta P$  падение давления на дросселе 120 бар

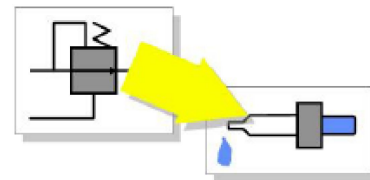


- Есть компенсация давления
- $\Delta P$  падение давления на дросселе 6 бар
- Скорость ИО равномерна

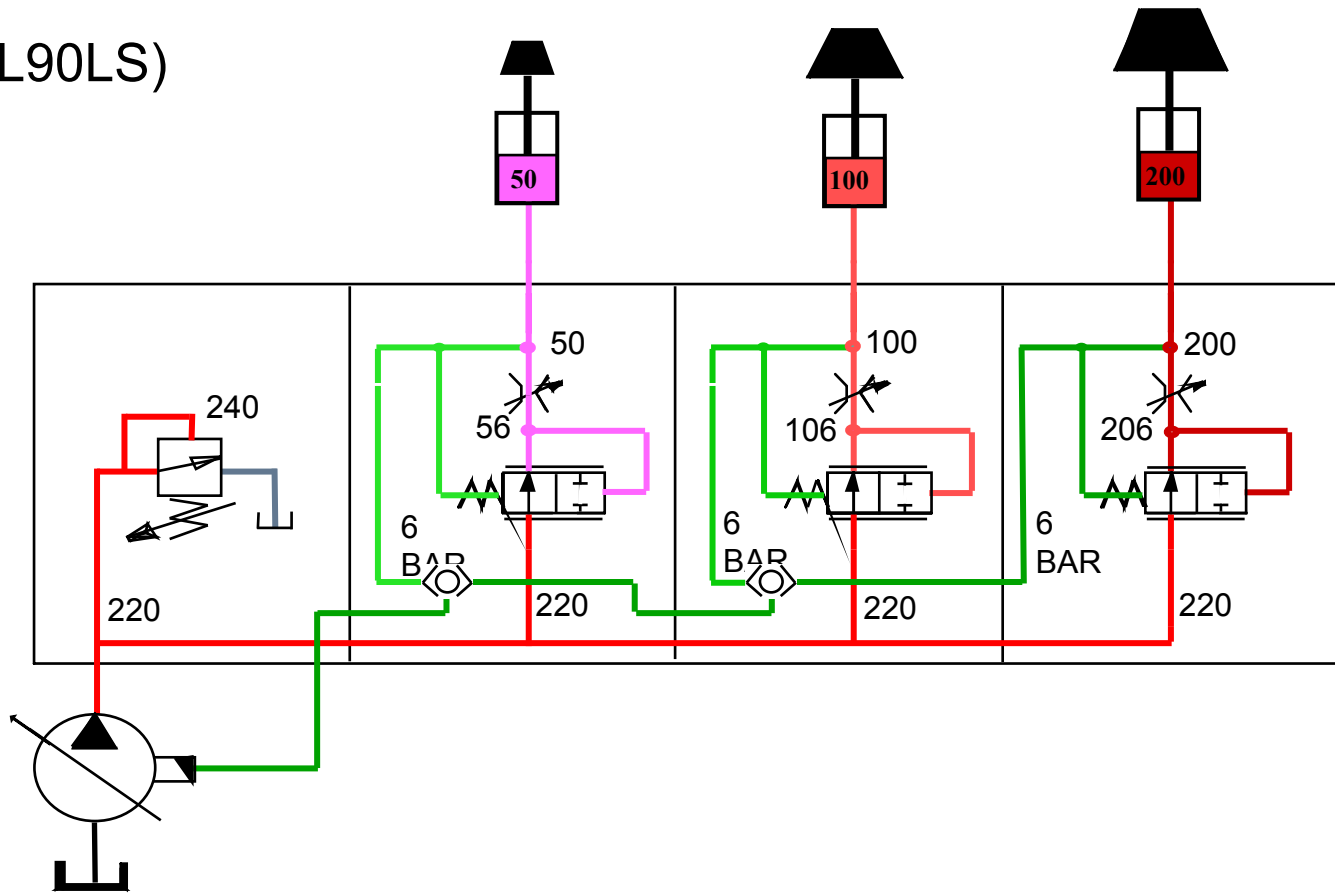


# С компенсаторами потока и давления “ПЕРЕД золотником”

LS block  
metering  
downstream  
compensation



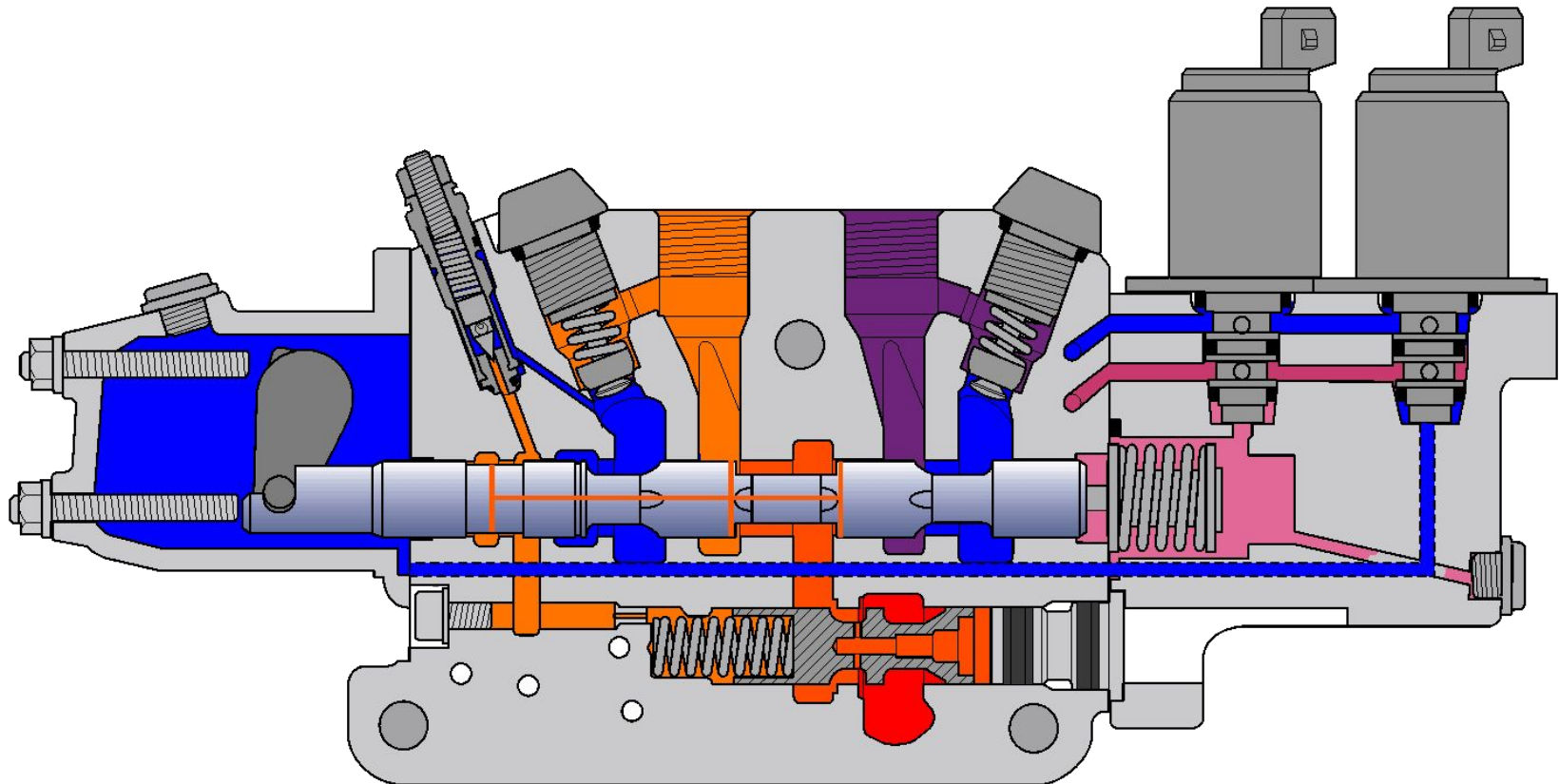
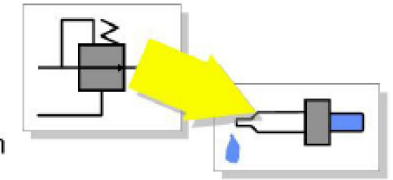
(VOAC L90LS)



# С компенсаторами потока и давления “ПЕРЕД золотником”

(VOAC L90LS)

LS block  
metering  
downstream  
compensation



# С компенсаторами “ПОСЛЕ золотника” – (“Flowsharing”)

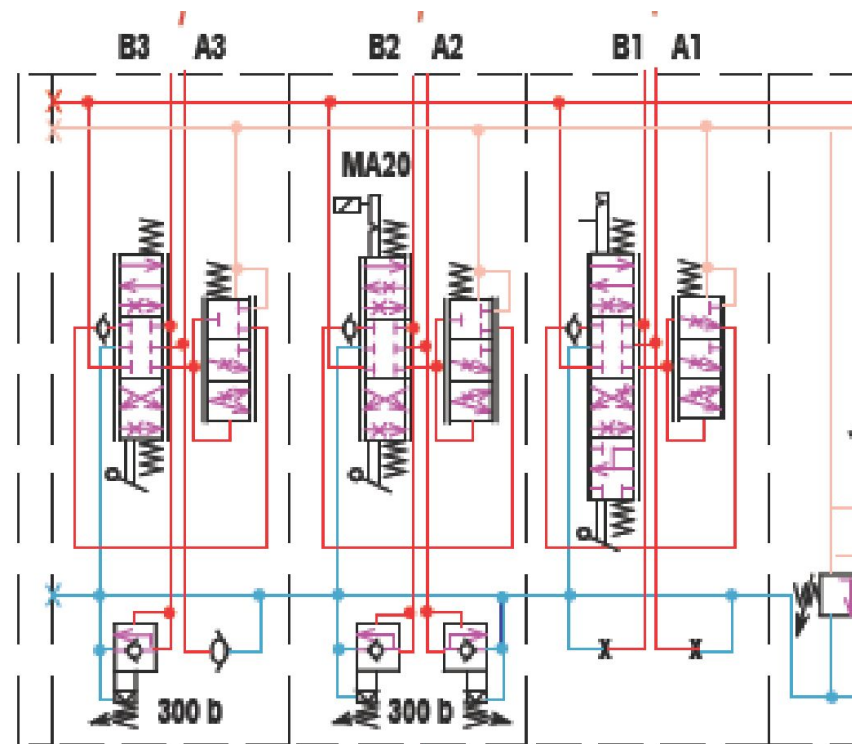


Система LS работает независимо от давления нагрузки до тех пор, пока суммарный расход, проходящий через переменные дроссели, не достигнет величины максимальной подачи насоса.

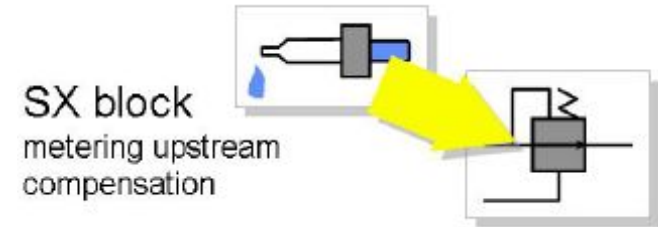
Если при работе нескольких потребителей необходимо пропустить к потребителям больший поток, чем может обеспечить насос, то компенсатор каждого потребителя не может обеспечить управляющий перепад давления (потеря  $\Delta p$ ) на золотнике этого потребителя. Вследствие этого компенсатор давления открывается и в распределении потока не участвует. Расход насоса больше не делится пропорционально сечению дросселей, и поток направляется к потребителям уже зависимо от давления нагрузки, предпочтительно к потребителям с минимальным давлением нагрузки. Потребители с большим давлением нагрузки снижают скорость вплоть до полной остановки.

Поэтому применяется система LUDV – Lastdruck Unabhängige DurchflussVerteilung (независимое от нагрузки распределение потока), которая решает эту проблему – или так называемое “Flowsharing”

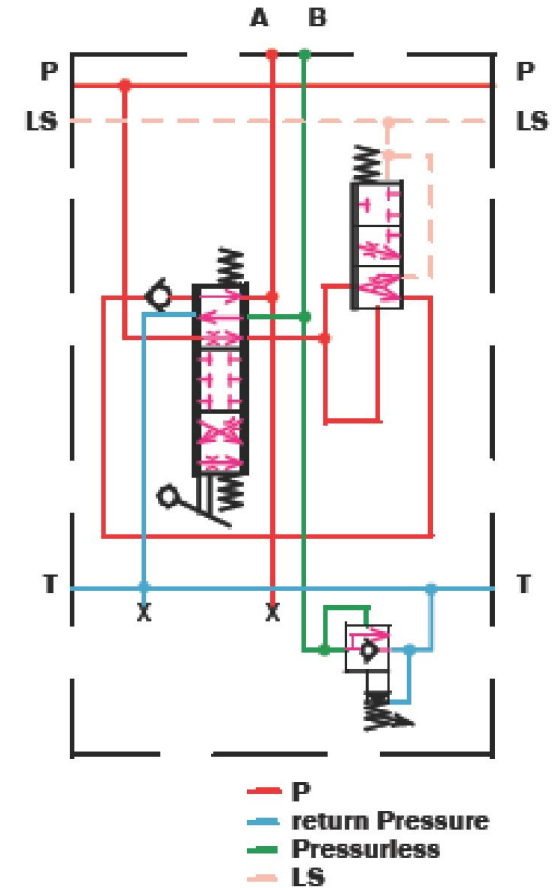
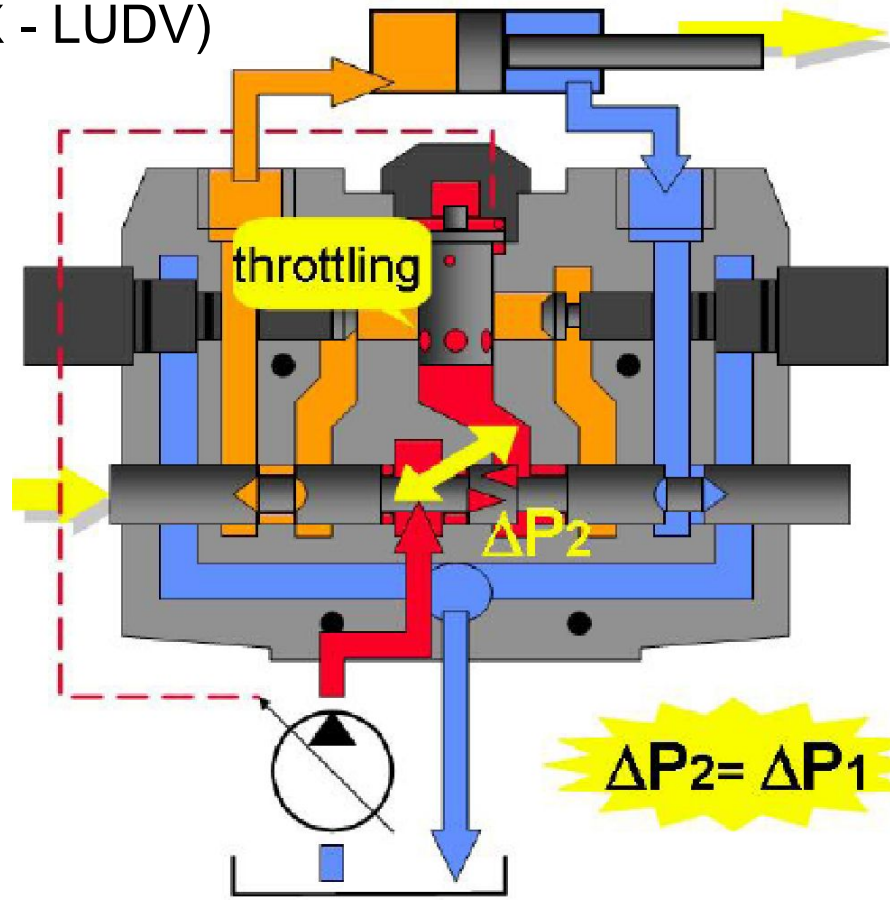
(Rexroth SX - LUDV)



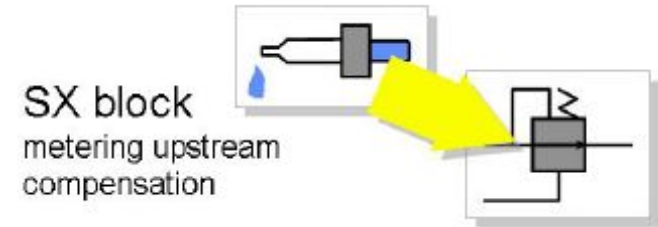
# С компенсаторами “ПОСЛЕ золотника” – (“Flowsharing”)



(Rexroth SX - LUDV)



# С компенсаторами “ПОСЛЕ золотника” – (“Flowsharing”)

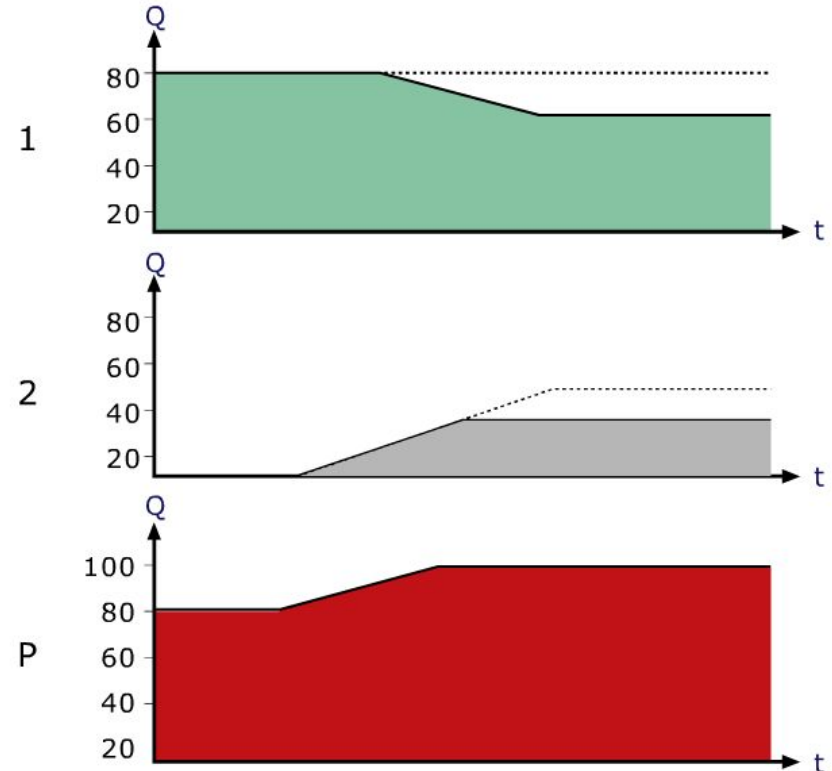


Перепад давления  $\Delta p$  (прибл. 20 бар), заданный регулятором «давление/поток» на насосе, используется в качестве перепада давления, управляющего системой. Насос обеспечивает подачу пропорционально сечениям переменных дросселей A1 и A2. Перепады давления на переменных дросселях ( $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$ ) равны между собой, т.к. управляющее давление всех компенсаторов одно и тоже.

Если подачи насоса недостаточно, чтобы «заполнить» сечения регулируемых дросселей для работы всех потребителей, то величина  $\Delta p_1$  и  $\Delta p_2$  снижается. Благодаря самому большому оповестительному сигналу о давлении нагрузки на все компенсаторы давления распределение расхода происходит независимо от давления нагрузки пропорционально положениям золотников.

Пропорциональное деление подачи насоса для двух потребителей показано на примере справа:

Если работает один потребитель с номинальным расходом  $Q=80$  л/мин., то регулируемый насос обеспечивает ему требуемый поток. Если начинает работать второй потребитель с  $Q=50$  л/мин., то максимальная подача насоса  $Q=100$  л/мин. распределяется в соотношении  $100/130=0,77$  между двумя потребителями.



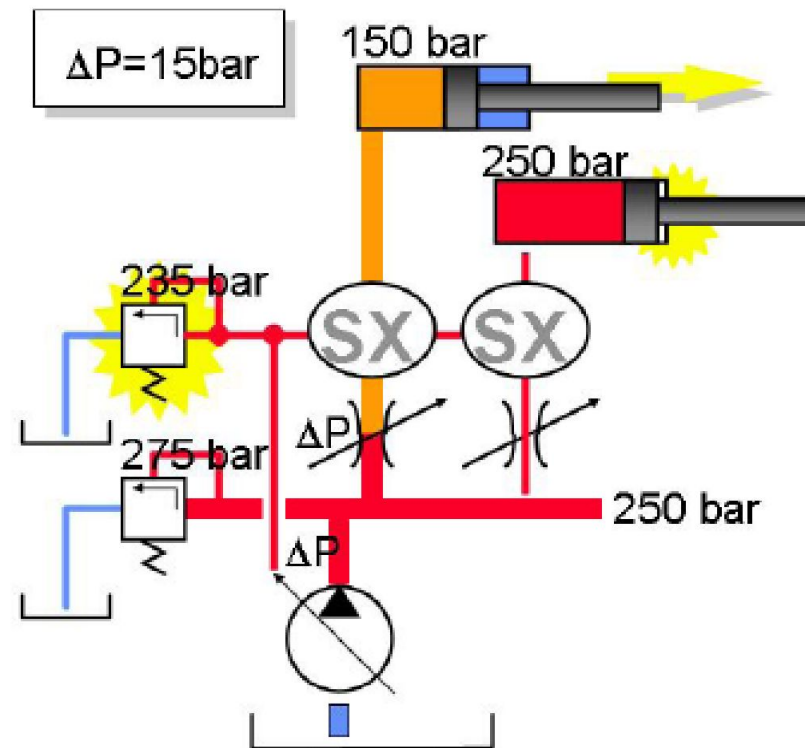
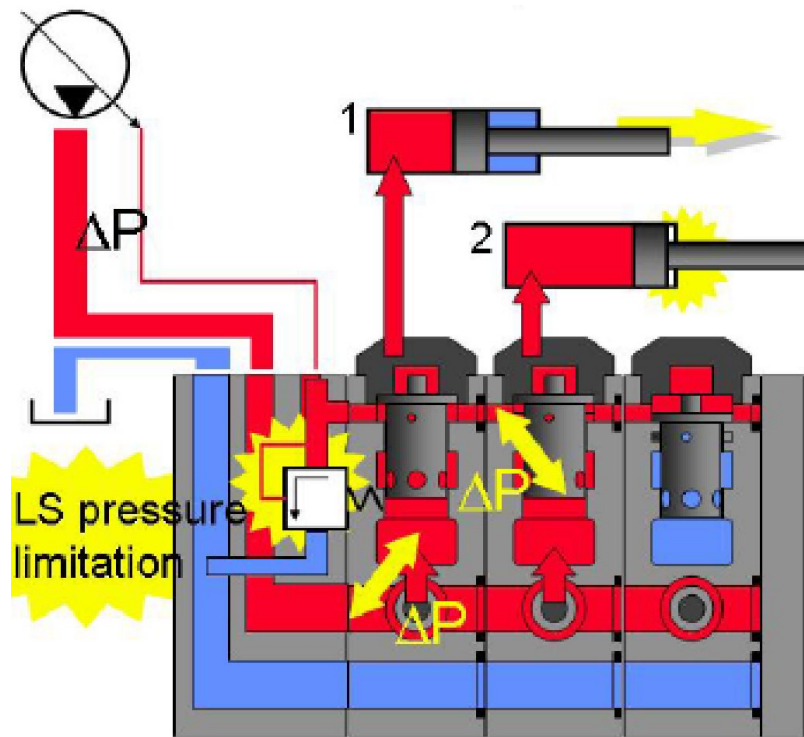
# Ограничение МАКС давления в SX- на линии LS!

- нельзя использовать компенсатор на насосе (золотник "DR")

□ потеря -  $\Delta P$

- давление первичного предохранительного клапана в основной магистрали насоса не должно быть ниже МАКС давления в линии LS

□ потеря -  $\Delta P$

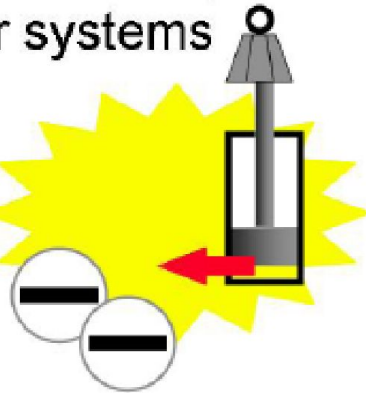


# Основные отличия SX от обычных LS

main differences compared to other systems

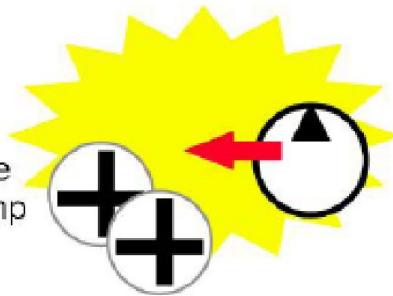
other systems

LS pressure energie supplied by the receptor



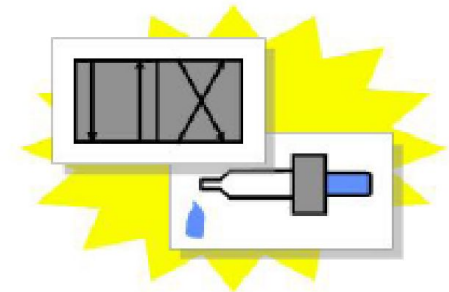
SX concept

LS pressure energie supplied by the pump



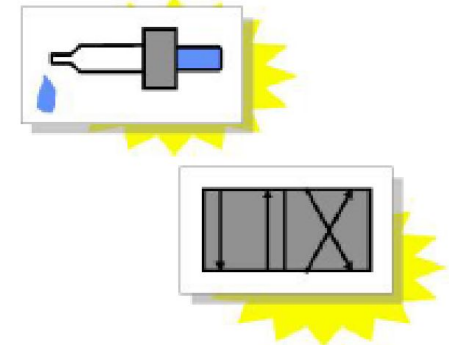
LS block

directional control mixed with metering



SX block

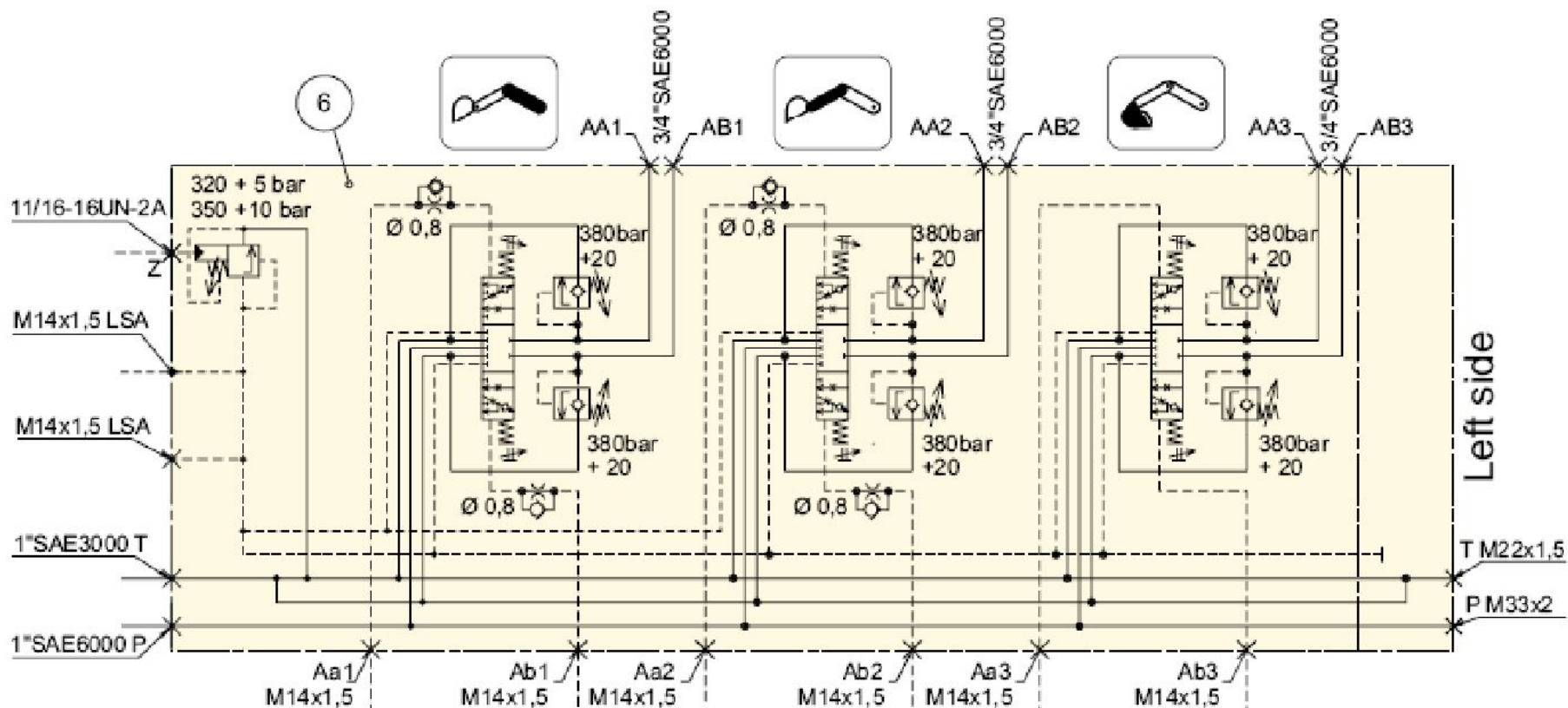
directional control independant from metering



# LSC - Linde Synchron Control

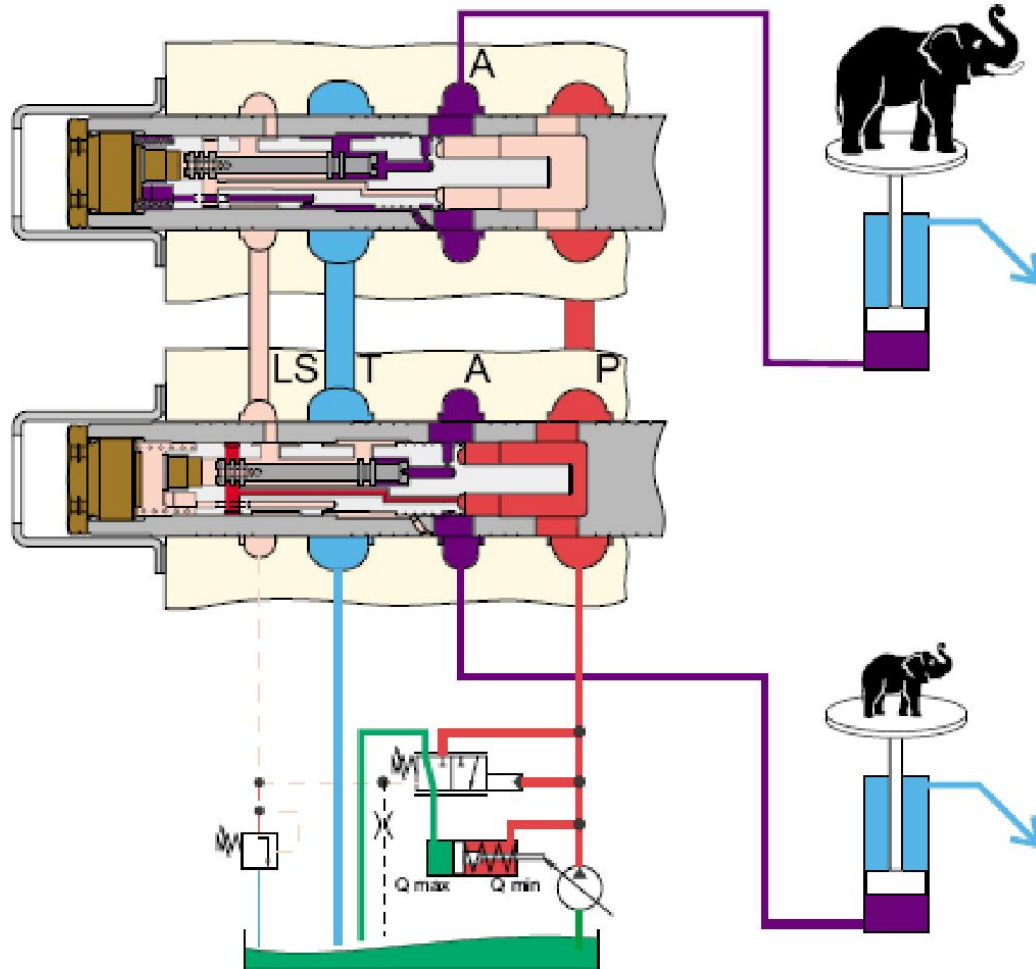
(разновидность, где: технически компенсатор “ПЕРЕД”, но работает как “ПОСЛЕ” золотника)

## Hydraulic circuit diagram





# Linde Synchron Control

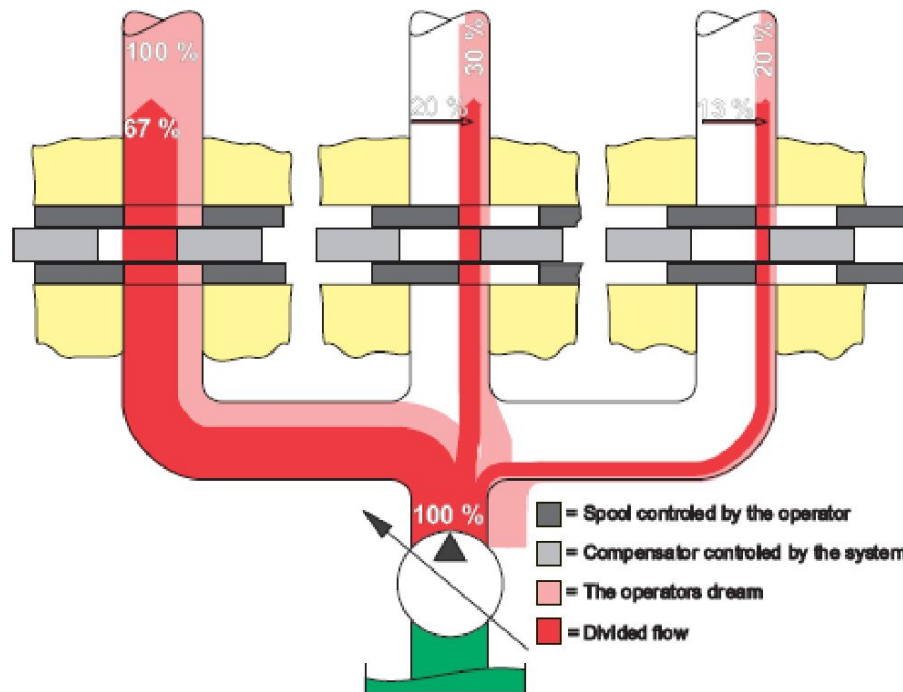


1006781.exe

# Linde Synchron Control

## FLOW DIVIDING

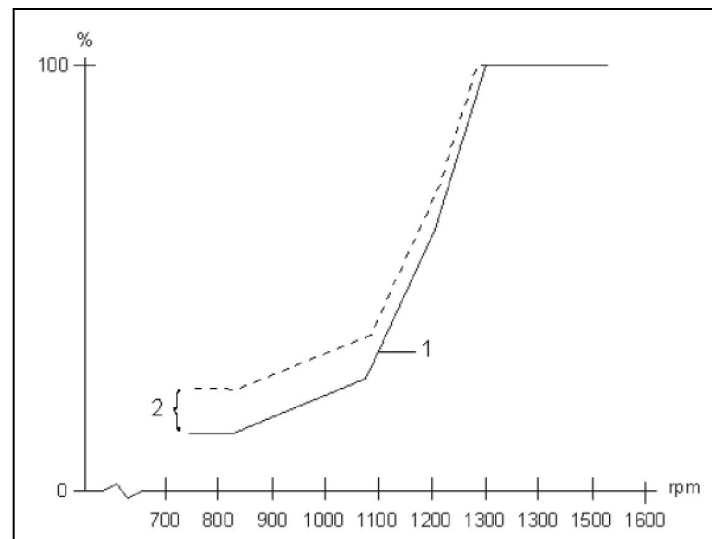
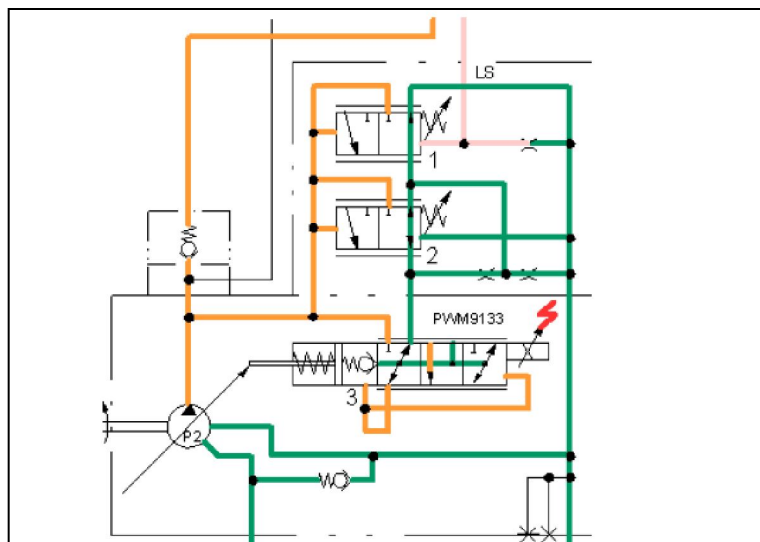
Three movements



# ВАРИАНТЫ ОГРАНИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ РАБОЧЕГО НАСОСА В СИСТЕМАХ С УПРАВЛЕНИЕМ ПО НАГРУЗКЕ И ТИПЫ РЕГУЛЯТОРОВ

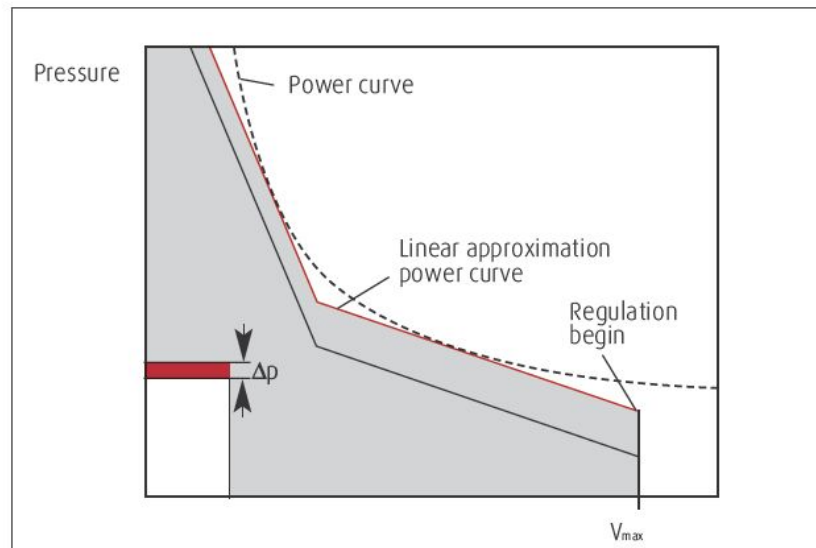
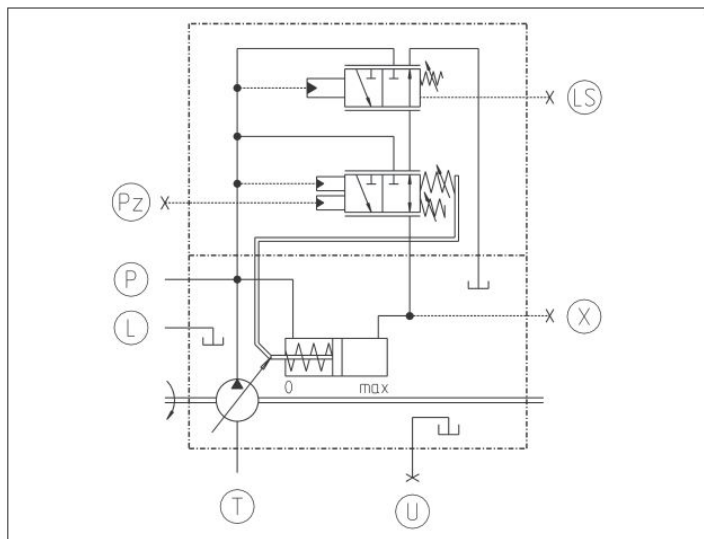


## 1.2 Простое ограничение мощности при малых оборотах двигателя (WLO F-series)



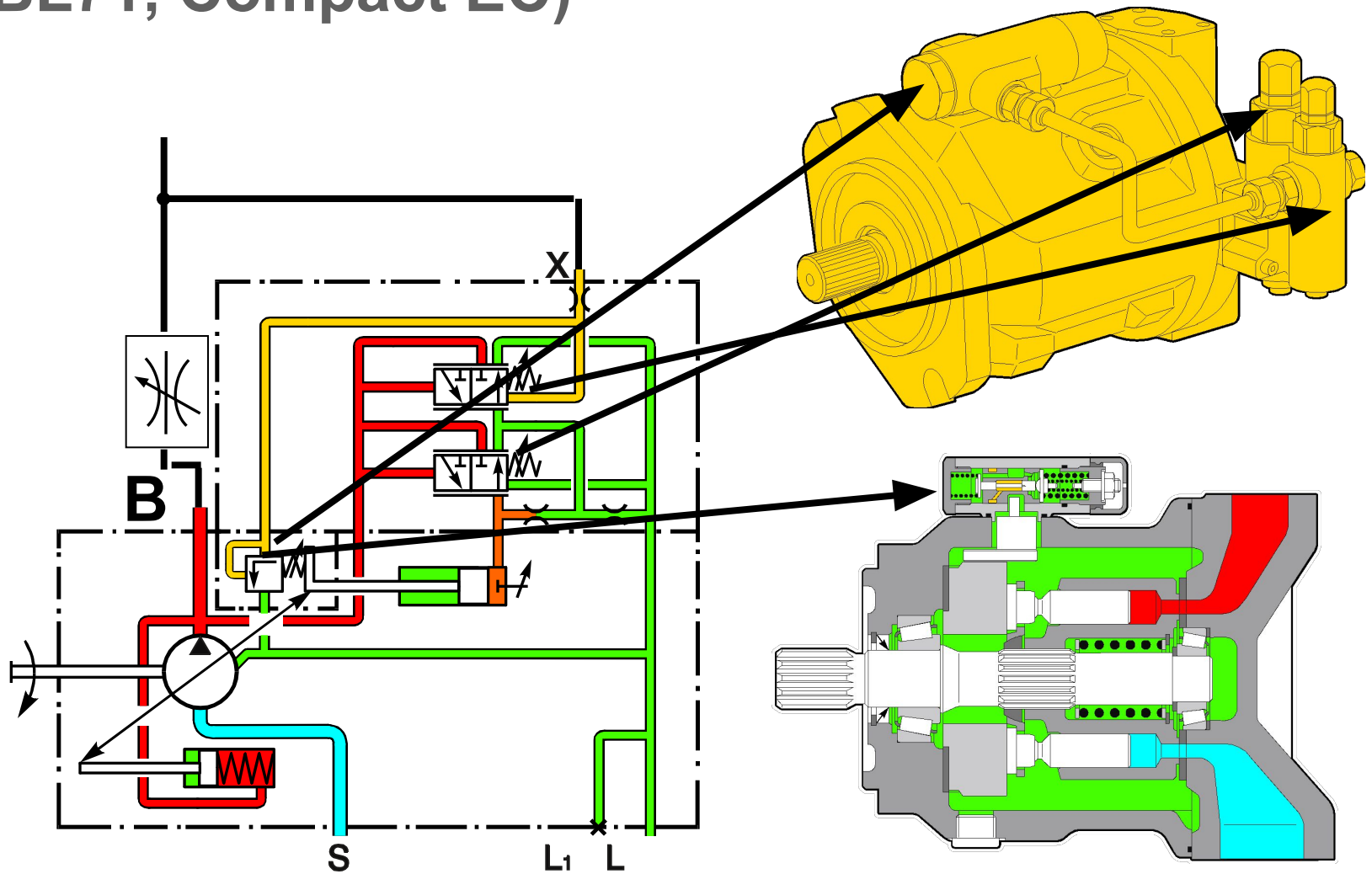
Регулятор насоса работает как обычный LS и LP регулятор, когда обороты двигателя 1300 rpm и выше. Если обороты находятся в диапазоне ниже 1300 и при этом давление от датчика в линии LS больше 10 bar и давление надува высокое (= нагрузка двигателя) – V-ECU подает на пропорциональный клапан на регуляторе ток согласно фиксированному графику зависимости потока от насоса от оборотов. Золотник пропорционального клапана открывает канал от рабочего давления к поршню регулировки наклона шайбы в сторону уменьшения объема и тем самым понижая давление и поток, а следовательно и мощность отбираемую от приводного двигателя.

## 2. Регулятор мощности с характеристикой приближенной к гиперболе (- BL71, Compact EC)

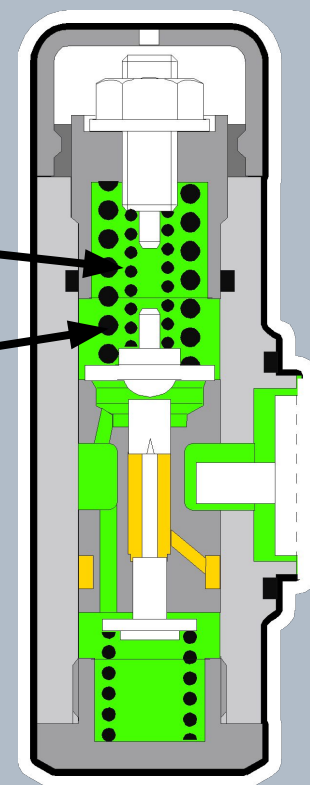
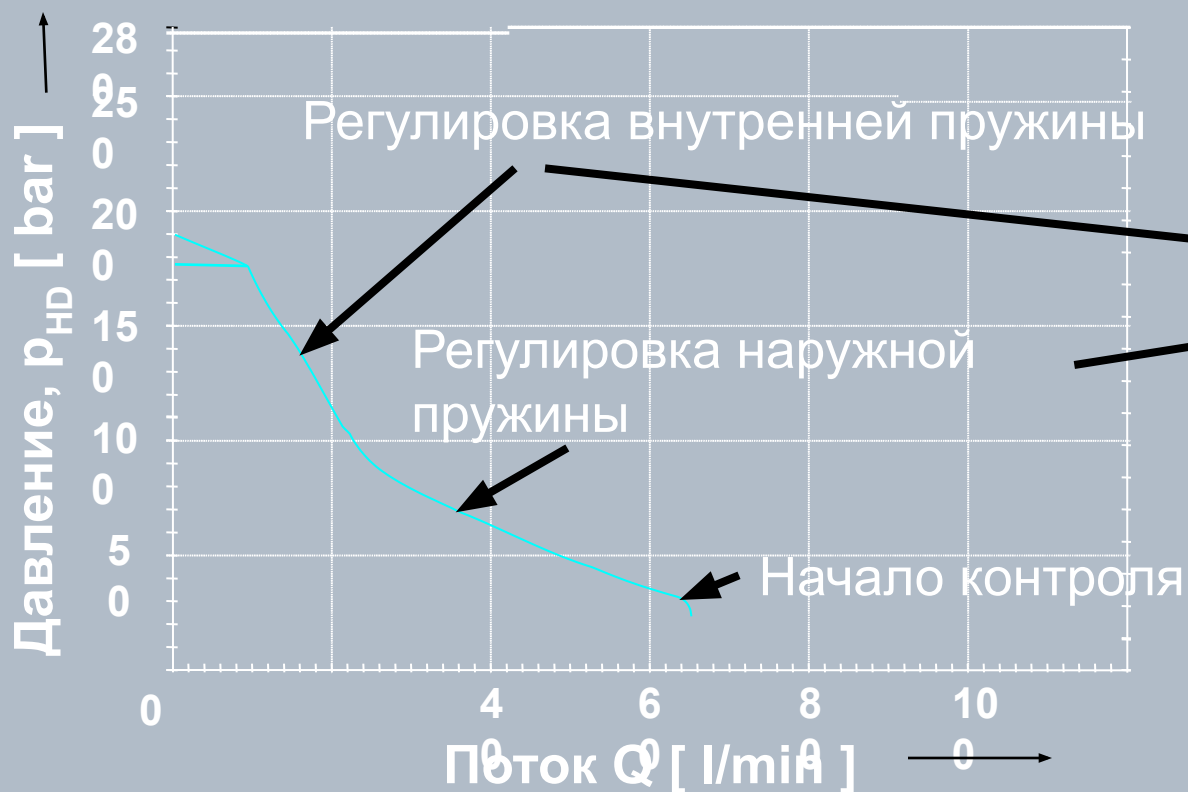


В дополнение к функции регулировки потока насоса с управлением по нагрузке LS, регулятор также имеет функцию ограничения мощности с упрощенной линейной характеристикой приближенной к идеальной. В режимах ниже данной кривой, насос работает как обычный насос LS. Если мощность требуемая системой с учетом давления и потока превышает установленные кривой значения, управление регулятора LS перехватывается регулятором мощности и шайба насоса начинает уменьшать рабочий объем балансируя на грани заданной кривой мощности. Как только давление в системе падает, восстанавливается нормальный процесс регулировки по LS регулятору. Для данного регулятора характерно наличие механизма обратной связи/положения шайбы насоса, который воздействует на пружины регулятора мощности и позволяет насосу в положении меньшего объема развивать большее давление до начала процесса регулировки (т.е. следовать графику выше). Через внешний подвод контрольного давления Pz возможно управление уменьшением предельной мощности. Например: в зависимости от режимов приводного двигателя (Power shift или Mode switching)

# Rexroth A10VSO – LR регулятор (- BL71, Compact EC)

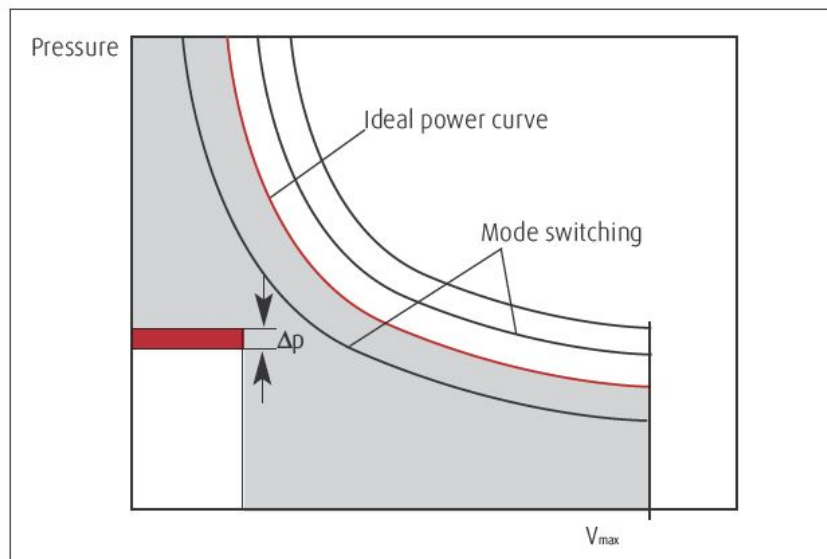
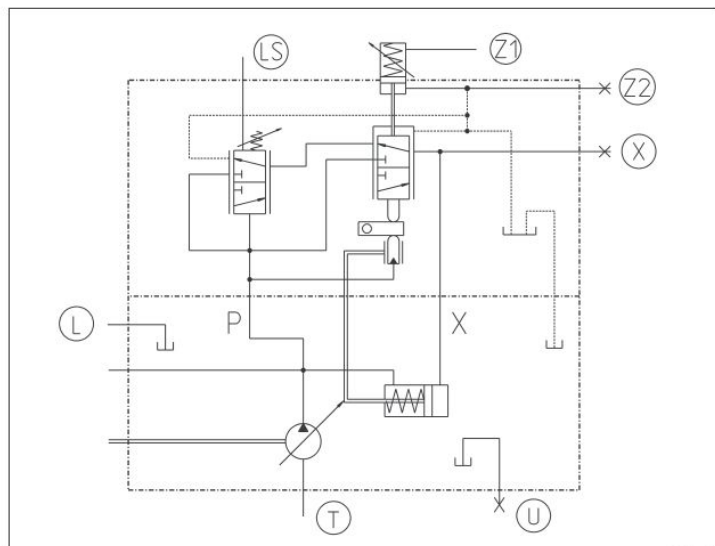


# Регулятор мощности насоса A 10 V(S)O DFLR





### 3. Регулятор с идеальной гиперболической характеристикой (- не используется в VCE)

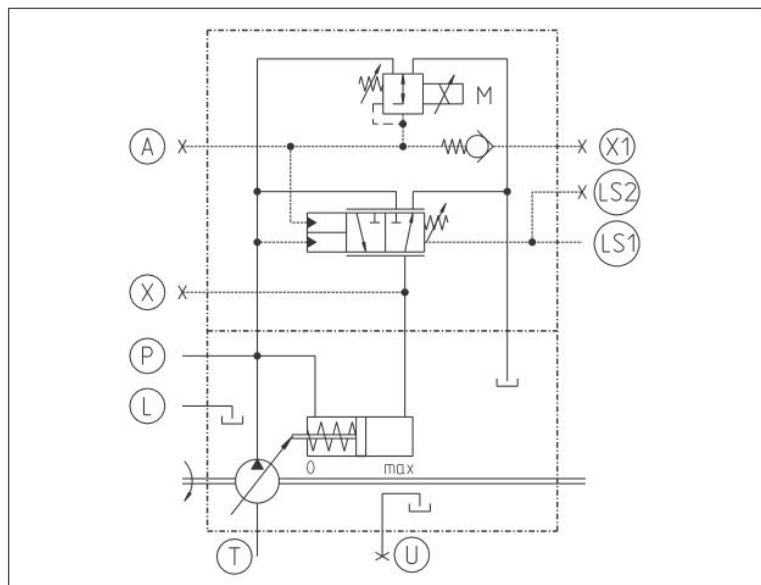


Управление насосом с ограничением мощности используется для оптимизации использования мощности привода в системах где его полная мощность не может быть использована во всех режимах гидравлики.

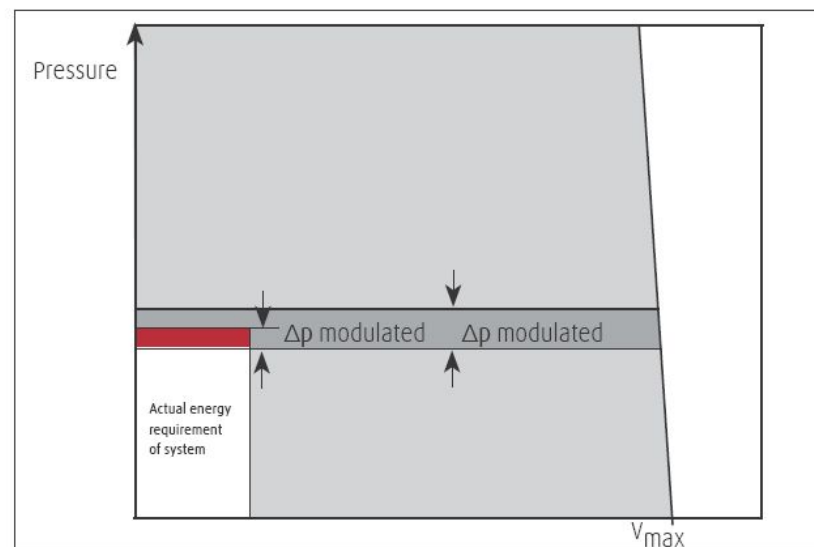
За счет идеальной гиперболической характеристики данного типа регулятора, мощность приводного двигателя может быть утилизирована оптимально или насос может работать с каким-либо приводом с фиксированным значением мощности.

Заданную механически пружиной регулятора (Z1) характеристику мощности, можно изменить как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения, посредством внешнего подвода контрольного давления (Z2). (Power shift или Mode switching)

# 4.1. Регулятор с электронным управлением величиной $\Delta P$ (- колесные экскаваторы)



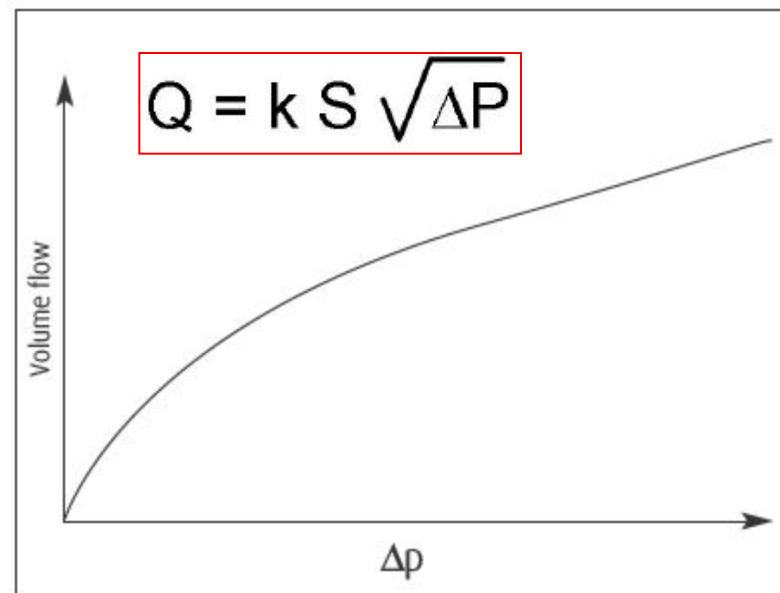
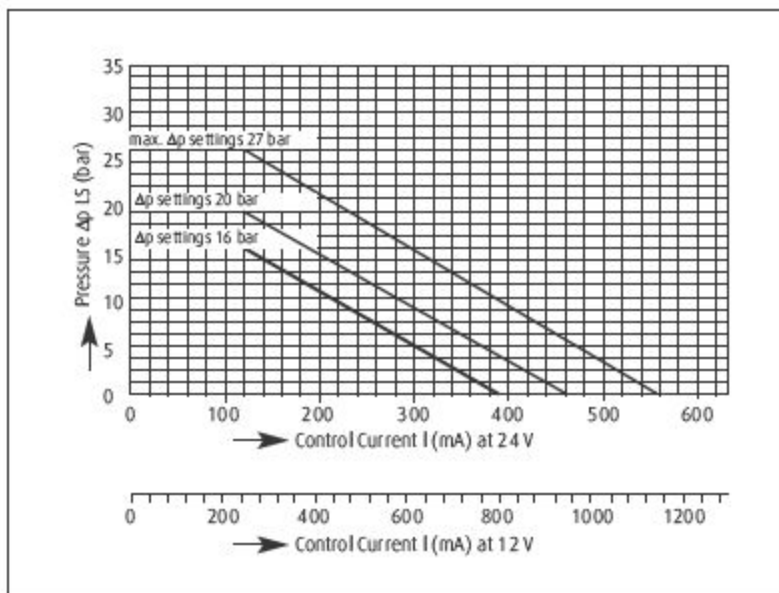
$$\Delta p = \Delta p_{LS_{max}} \text{ with } \Delta p_{LS} = f(I)$$



В дополнение к функции регулировки потока насоса с управлением по нагрузке LS, регулятор также имеет электронно управляемый пропорциональный клапан, исполняющий одновременно функции ограничения мощности и “сдвига” ее предельного уровня в зависимости от режимов работы приводного двигателя (Power shift или Mode switching)

В случае возникновения необходимости в снижении мощности, пропорциональный клапан генерирует контрольное давление, действующее на золотник регулятора со стороны противоположной LS и превосходя его подает давление в управляющий поршень насоса для отклонения шайбы в сторону уменьшения подачи масла и нагрузки.

## 4.2. Регулятор с электронным управлением величиной $\Delta P$ (- колесные экскаваторы)



Данный метод управления производительностью насоса основывается на том факте, что: равно как при постоянном значении  $\Delta P$  поддерживаемом насосом через дроссель (основной принцип LS-системы) расход будет зависеть только от величины проходного сечения "А", так и при постоянном сечении дросселя поток будет меняться в зависимости от величины  $\Delta P$ . См. график вверху справа.

В свою очередь, зависимость величины  $\Delta P$  от силы тока (mA) подаваемого на пропорциональный клапан регулятора (приведена слева) будет своя для каждой базовой первоначальной настройки пружины регулятора и изменяется прямолинейно и обратно-пропорционально силе тока, что позволяет сохранять полную производительность насоса даже в случае отказа электроники.

## 4.3. Регулятор с электронным управлением величиной $\Delta P$ (- колесные экскаваторы)

- “Переключение режимов мощности” (Power shift или Mode switching) –  
в зависимости от заданных режимов работы механизма на пропорциональный клапан контроллер подаёт пропорционально или ступенчато фиксированные значения тока генерирующего управляющее давление для снижения суммирующего  $\Delta P$  на регуляторе, что равнозначно симуляции падения  $\Delta P$  на дросселе распределителя и насос уменьшает подачу потока. Таким образом можно управлять подачей насоса оставляя при этом неизменным проходное сечение дросселя, что в определенных случаях имеет важное практическое применение.  
(На колесных экскаваторах Volvo применяется в режиме гидравлики - “С” (Customer Mode))
- “Ограничение по мощности” – (Power limit regulation)  
- Любое падение оборотов приводного двигателя от нагрузки контроллер чувствует через датчик оборотов и начинает снижать поток от насоса посредством понижения величины  $\Delta P$ , с тем, чтобы потребляемая мощность насоса никогда не превышала мощность двигателя. Так как объем уменьшения потока одинаков для всех исполнительных органов, то отношение пропорции для функции распределения потоков в системах “Flow sharing” также остаётся неизменной.
- В принципе, величина  $\Delta P$  на регуляторе насоса может быть понижена почти до “нуля”, а соответственно и поток от насоса можно ожидать таким же...

# 4.4. Регулятор с электронным управлением величиной $\Delta p$ (- колесные экскаваторы)

