

Хидраулика и пнеуматика

Подела и врсте хидрауличких система - 05

Машински факултет Универзитет у Београду



доц. др Милан Раковић
Катедра за механику флуида

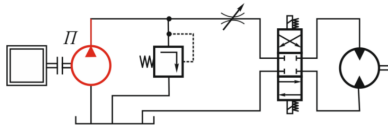
Подела и врсте хидрауличких система

- Хидраулички системи се примењују у великом броју области технике
 - Они раде у различитим условима где обављају различите задатке
 - Оно што је у једном систему предност хидрауличног система, у неком другом је мана
 - Ово је условило развој великог броја различитих хидрауличких система који одговарају конкретној намени
 - Хидраулички системи се могу поделити према више критеријума
- (1) према врсти кретања излазног елемента извршног претварача (актуатора)
- са обртним кретањем (актуатор је обртни хидромотор)
 - са наизменичним праволинијским кретањем (актуатор је хидроцилиндар)
 - са наизменичним закретним кретањем (актуатор је закретни, *клатећи* хидромотор)
 - систем који има више различитих извршних претварача
- (2) према извору радне течности под притиском
- пумпни
 - акумулаторски
 - магистрални
- (3) према врсти циркулације радне течности
- отворени
 - затворени
- (4) према броју извршних претварача
- са једним актуатором
 - са више актуатора. Ови се, даље, деле на системе са серијском, паралелном и редном везом (или њихова комбинација)
- (5) према могућности регулације:
- нерегулисани преносници
 - регулисани преносници. Ови се даље деле на системе са запреминском, пригушном и комбинованом регулацијом

(2) Подела према извору радне течности под притиском

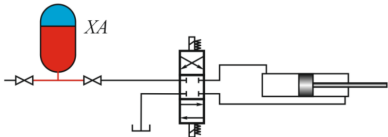
- пумпни
- акумулаторски
- магистрални

Пумпни хидраулички системи



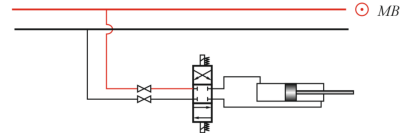
- пумпни хидраулички системи имају највећу примену
- систем се напаја уљем под притиском захваљујућу раду пумпе

Акумулаторски хидраулички системи



- добија уље под притиском из хидроакумулатора (XA)
- уље се налази под притиском јер је у додиру са сабијеним гасом
- гас је сабијен услед деловања спољног извора (компресора) који није део хидрауличног система

Магистрални хидраулички системи

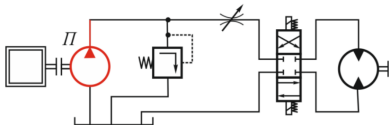


- флуид под притиском долази из потисне линије магистралног вода (MB), а флуид из актуатора враћа се у повратну магистралу
- магистрални вод је под притиском, и опслужује више хидрауличких система

(3) Подела према врсти циркулације радне течности

- системи са отвореном циркулацијом
- системи са затвореном циркулацијом

Хидраулички системи са отвореном циркулацијом



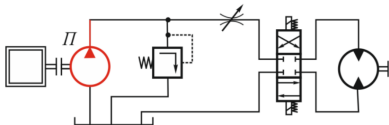
- пумпа усисава уље из резервоара и кроз потисни вод га шаље ка извршном органу (хидроцилиндар, хидромотор)
 - уље се из извршног органа повратним водом враћа у резервоар
 - пре поновног уласка у систем уље се пречисти, по потреби охлади и циклус се понавља током рада система
-
- код система са отвореном циркулацијом се јавља проблем са **степеном пуњења** пумпе

- да би пумпа усисала уље из резервоара, она на уписној страни остварује потпритисак
- због велике брзине кретања делова пумпе и уља, неправилног облика радног простора, вискозности уља, храпавости зидова, уских уписних цеви итд. уље не стиже да попуни цео радни простор пумпе
- запремина уља коју пумпа усиса из резервоара при једном обртају је мања од специфичне запремине пумпе (радне запремине)
- однос запремине уписане течности и радне запремине пумпе назива се **степеном пуњења**
- преостали део радне запремине испуњавају ваздух и гасови издвојени из уља, што је врло неповољна ствар
- присуство гасова нарушава претпостављену нестишљивост флуида и смањује крутост система
- у делу предвиђеном за стварање притиска, уместо тога долази до сабијања овог ваздушног чепа, тако да је створени притисак знатно испод планиране вредности

(3) Подела према врсти циркулације радне течности

- системи са отвореном циркулацијом
- системи са затвореном циркулацијом

Хидраулички системи са отвореном циркулацијом

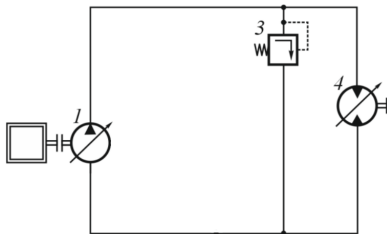


Мере којима се може повећати степен пуњења пумпе су сличне као мере заштите од кавитације

- потапање пумпе у резервоар
- избегавање постављања било каквих колакних отпора у уисној деоници (између резервоара и пумпе)
- тежња да усисна деоница буде краћа и већег пречника
- додавање мање пумпе између резервоара и главне пумпе
- мања пумпа има задатак да оствари натпритисак на улазу у главну пумпу и тиме повећа степен пуњења

(3) Подела према врсти циркулације радне течности

Хидраулички системи са затвореном циркулацијом

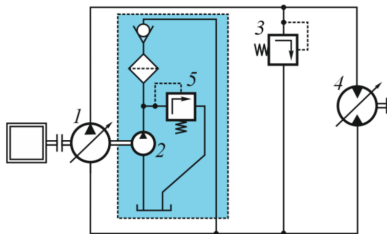


- проблем степена пуњења је смањен у системима са затвореном циркулацијом
- у оваквим системима резервоар не постоји
- пумпа потискује уље ка хидромотору, одакле се оно враћа директно у пумпу
- сигурносни вентил спаја потисну и повратну грану, чиме штити хидромотор од преоптерећења

- повратни цевовод се налази под наптритиском, тако да је смањен проблем са степеном пуњења, опасност од кавитације не постоји
 - због непостојања резервоара, систем је мањих габарита
 - спречено је усисавање ваздуха
 - у оваквим системима уље не долази у додир са спољашњим ваздухом, што значи да ће се процес старења уља одвијати спорије
-
- поред наведених **предности**, хидраулички системи са затвореном циркулацијом имају и **мане**
 - пумпа, хидромотор и друге компоненте система не обезбеђују потпуну заптивеност, већ део уља излази - процуривање ка спољашњости
 - да уље не би одлазило у околину, оно се скупља и дренажним водом сабира у један мањи резервоар
 - то значи да би се услед истицања у току рада оваквог система са затвореном циркулацијом јавио **мањак уља у систему**

(3) Подела према врсти циркулације радне течности

Хидраулички системи са затвореном циркулацијом

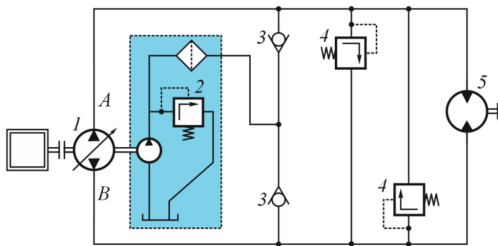


- потребно је надоместити губитке уља услед истицања из система
- због тога се систему додаје један мали резервоар у којем се скупља уље и мала (секундарна) пумпа
- мала пумпа има специфичну запремину око 10 пута мању од главне пумпе, а радни притисак јој је $(5 \div 15) \text{ bar}$
- она узима уље из резервоара, шаље га кроз филтер и неповратни вентил, и убацује га у повратни вод

- њеним деловањем (слањем мање количине уља у повратни вод) надокнађују се губици услед истицања уља из система
- додатна (секундарна) пумпа повећава притисак у повратном воду, чиме додатно повећава степен пуњења главне пумпе
- затворени системи често користе пумпе и хидромоторе двосмерног дејства
- одређеним изменама претходни систем се прилагођава пумпи двосмерног дејства

(3) Подела према врсти циркулације радне течности

Затворени хидраулички систем са двосмерном пумпом и двосмерним хидромотором

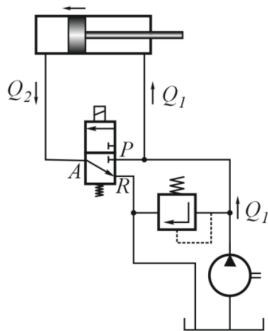


Поређење хидрауличких система са отвореном и затвореном циркулацијом

- отворени системи имају могућност примене једне пумпе за више извршних претварача, док код затвореног система сваки извршни претварач има своју пумпу
- хлађење флуида је много лакше код отворених система, јер сво уље пролази кроз резервоар

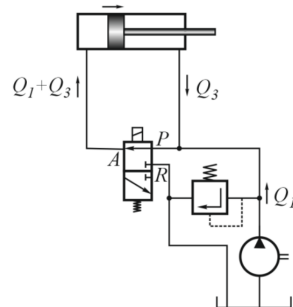
- габарити отворених система су већи (због резервоара)
- кавитација може представљати опасност за отворене системе. Она се не јавља код затворених система (због натпритиска)
- у отвореним системима се примењују све врсте актуатора, док код затворених постоји проблема са применом хидроцилиндара са једностраном клипњачом
запремина клипне стране је већа од запремине клипњачине стране за величину запремине клипњаче. Запремина уља коју примарна пумпа пошаље у клипну страну већа је од запремине коју хидроцилиндр из клипњачине стране врати пумпи
- затворени хидраулички системи најчешће користе двосмерне пумпе, а отворени једносмерне пумпе иза којих се налази разводник
- **сваки од ових система има своје области примене**

Повратни ход - увлачење клипњаче



- при овом положају разводника, систем има отворену циркулацију, пумпа шаље уље у клипњачину комору, а уље из клипне коморе се враћа у резервоар

Радни ход - извлачење клипњаче



- при новом положају разводника, пумпа је повезана са обе коморе хидроцилиндра. Такође, коморе су повезане између себе
- притисак са једне и друге стране клипа је приближно исти, али нису силе којима уље делује на клип због различитих површина, тако да долази до кретања клипа удесно
- уље из клипњачне коморе прелази у клипну, а разлику запремина ових комора допуњује уље које шаље пумпа

(4) Подела према броју извршних претварача



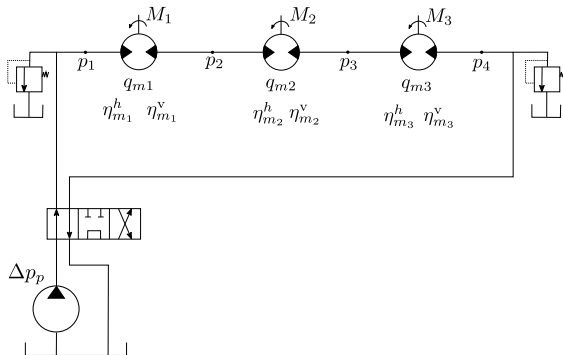
Хидраулички системи са једним извршним претварачем

- системи који имају један изворни претварач (пумпа) и један извршни (хидроцилиндар или хидромотор)
- најчешће су такви хидраулички системи до сада разматрани

Хидраулички системи са више извршних претварача

- веома често су у употреби хидраулички системи који имају више извршних претварача (хидроцилиндара и хидромотора)
- веома је важно на који начин су извршни претаварачи међусобно повезани
- начин њихове повезаности дефинише ток снаге кроз хидраулички систем
- извршни претварачи могу бити повезани:
 - **серијски**
 - **паралелно**
 - **редно**

Серијска веза извршних претварача



- приказана је поједностављена хидрауличка шема преносника у којем се налазе три **серијски везана хидромотора**
- излазна вратила хидромотора савладавају спољашња оптерећења у виду момената M_1 , M_2 и M_3
- хм. имају специфичне запремине q_{m1} , q_{m2} , q_{m3} , хидромеханичке η_{m1}^h , η_{m2}^h , η_{m3}^h и запреминске степене корисности η_{m1}^v , η_{m2}^v , η_{m3}^v
- када се разводник налази у приказаном положају, уље пролази кроз хм.1, затим кроз хм.2 и хм.3, након чега се враћа у резервоар

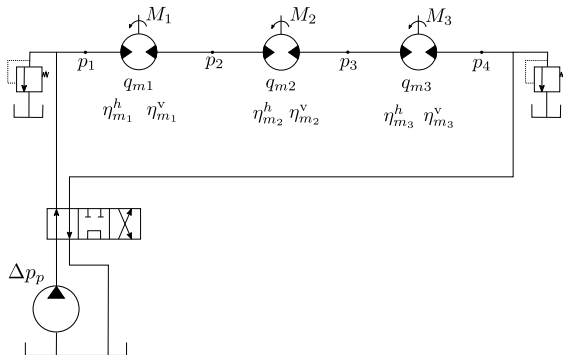
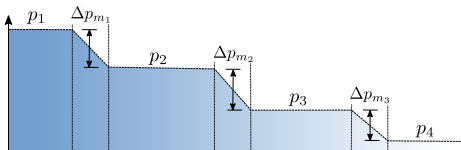
каква је расподела притиска у систему?

- у тачки 4 влада притисак p_4 , што је уједно притисак повратног вода
- да би хидромотор 3 могао да на вратилу оствари момент M_3 , потребно је да између улазног и излазног пресека хидромотора постоји разлика притисака

$$p_3 - p_4 = \Delta p_{m3} = \frac{M_3 2\pi}{q_{m3} \eta_{m3}^h}$$

- Δp_{m3} представља енергију коју хидромотор узме од уља да би извршио користан рад. Енергија је изражена у [Pa]

Серијска веза извршних претварача



- у пресеку 3 влада притисак $p_3 = p_4 + \Delta p_{m3}$
- на сличан начин може се показати да притисак у пресецима 2 и 1 износи:

$$p_2 = p_3 + \Delta p_{m2} = p_4 + \Delta p_{m3} + \Delta p_{m2}$$

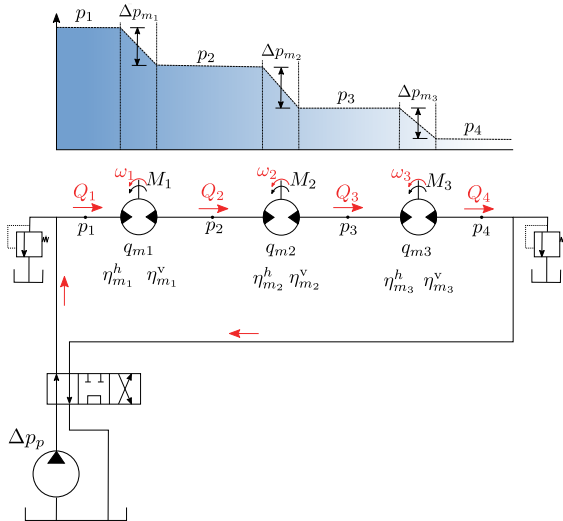
$$p_1 = p_2 + \Delta p_{m1} = p_4 + \Delta p_{m3} + \Delta p_{m2} + \Delta p_{m1}$$

- расподела притиска је приказана и графички
- важе и једначине

$$\Delta p_{m2} = \frac{M_2 2\pi}{q_{m2} \eta_{m2}^h} \quad \text{и} \quad \Delta p_{m1} = \frac{M_1 2\pi}{q_{m1} \eta_{m1}^h}$$

- при серијској вези, падови притиска на хидромоторима Δp_{m_i} се сабирају
- ово значи да притисак у пресеку 1 мора бити довољно велики да обезбеди рад свих хидромотора који се налазе у серијској вези
- серијска веза је **неповољна** јер поставља високе захтеве за радне параметре (притисак) које пумпа треба да оствари
- ако се разводник постави у други положај, у тачки 4 ће бити највећи притисак, а у тачки 1 ће владати најмањи притисак, притисак повратног вода

Серијска веза извршних претварача



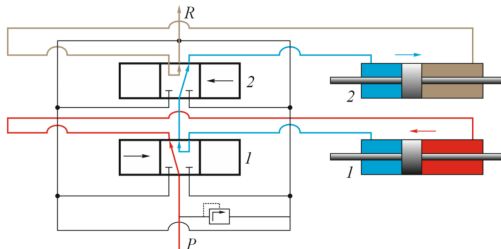
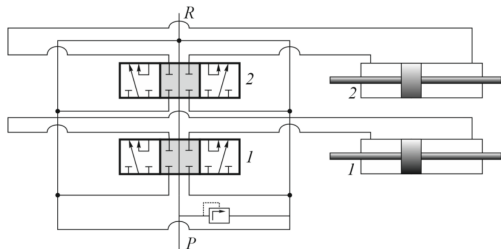
- како се мења **проток** кроз систем?
- за разлику од притиска, проток се не мења када се извршни претварачи налазе у серијској вези
- занемарује се процуривање уља из хидромотора ка спољашњости
- хидромотор има унутрашње запреминске губитке, као што је раније речено
- део уља под притиском ће проћи кроз зазоре (између зуба и кућишта или између клипа и цилиндра, зависно од врсте хидромотора)
- ово је губитак за хидромотор јер овај део уља није извршио користан рад, али то уље наставља да тече кроз систем и долази до следећег хидромотора, тако да је оправдано сматрати

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q = \text{const}$$

- угаоне брзине вратила хидромотора износе

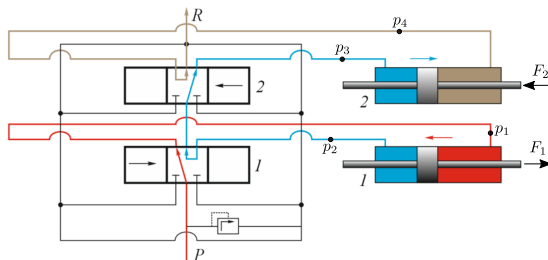
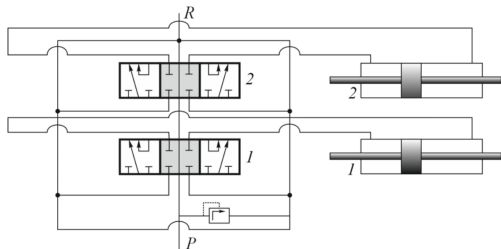
$$\omega_1 = \frac{Q_1 2\pi}{q_{m1}} \eta_{m1}^v \quad \omega_2 = \frac{Q_2 2\pi}{q_{m2}} \eta_{m2}^v \quad \omega_3 = \frac{Q_3 2\pi}{q_{m3}} \eta_{m3}^v$$

Серијска веза извршних претвараача



- приказана су два хидроцилиндра са двостраном клипњачом. Хидроцилиндри имају активне површине клипова A_1 и A_2 , и преко њих се савладавају спољашња оптерећења у виду сила F_1 и F_2
 - хидроцилиндрима се управља преко два разводника 6/3 (имају 6 прикључака и 3 могућа положаја)
 - на првој слици се разводници налазе у неутралном положају, уље из пумпе одлази у резервоар
 - хидроцилиндри су у укоченом положају
-
- ако разводник 1 заузме леви положај, а разводник два десни, доћи ће до кретања хидроцилиндара. Они су тада у серијској вези
 - уље из пумпе одлази у разводник 1, па у десну комору цилиндра 1. Деловањем уља на клип савладава се спољашње оптерећење F_1 и клип се покреће улево
 - уље из леве коморе бива потиснуто и оно одлази у разводник 1, а из њега кроз разводник 2 долази у леву комору хидроцилиндра 2

Серијска веза извршних претвараача



- уље делује на клип хидроцилиндра 2, силом притиска савладава спољашње оптерећење F_2 и клип се креће удесно
- уље из десне коморе се потискује, одлази кроз разводник 2 и наставља ка резервоару

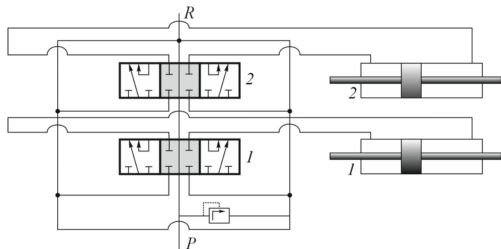
каква је расподела притиска у систему?

- занемарују се падови притиска на разводницима
- уочавају се тачке у којима владају притисци p_1, p_2, p_3 и p_4
- притисак повратног вода (донице која се завршава у резервоару) је p_4
- да би хидроцилиндар 2 могао да савлада спољашње оптерећење у виду силе F_2 , потребно је да постоји довољна разлика сила притиска којима уље делује на једну и другу страну клипа

$$F_2 + p_4 A_2 = p_3 A_2 \rightarrow F_2 = (p_3 - p_4) A_2 \rightarrow p_3 = p_4 + \frac{F_2}{A_2}$$

- пошто се занемарује пад притиска у разводницима, следи да је $p_2 = p_3$

Серијска веза извршних претвараача

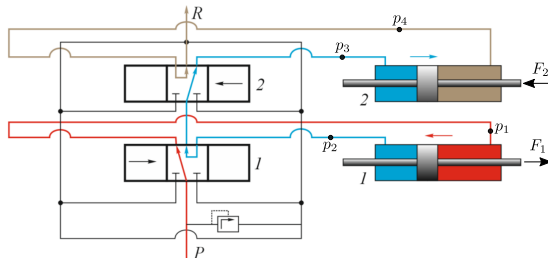


- да би хидроцилиндар 1 могао да савлада спољашњу силу F_1 , притисак у десној комори мора бити довољно већи од притиска у левој

$$F_1 = (p_1 - p_2)A_1 \rightarrow p_1 = p_2 + \frac{F_1}{A_1}$$

- речено је да је $p_2 = p_3$, следи да је

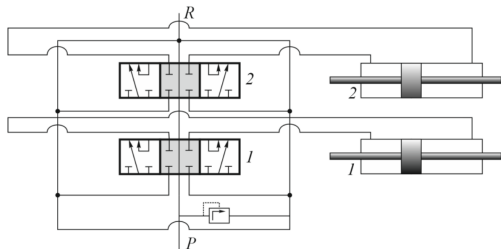
$$p_1 = p_4 + \frac{F_1}{A_1} + \frac{F_2}{A_2}$$



- разлика притисака потисног и повратног вода, коју треба да оствари пумпа ($\Delta p_p = p_1 - p_4$) треба да буде довољна да серијски везани хидроцилиндри савладају спољашња оптерећења и да се савладају сви успутни отпори (који ове нису приказани)
- поново се види да серијска веза захтева висок притисак на излазу из пумпе, што је неповољно

како се мења проток кроз систем?

Серијска веза извршних претварача



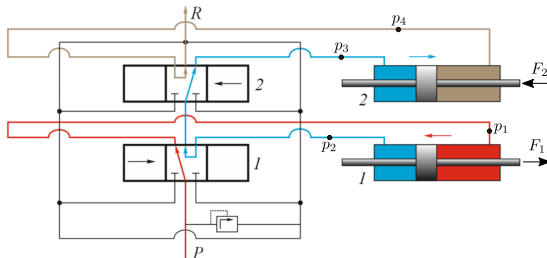
како се мења проток кроз систем?

- процуривање ка спољашњости се занемарује
- проток се не мења у систему, исти је у свим деоницама

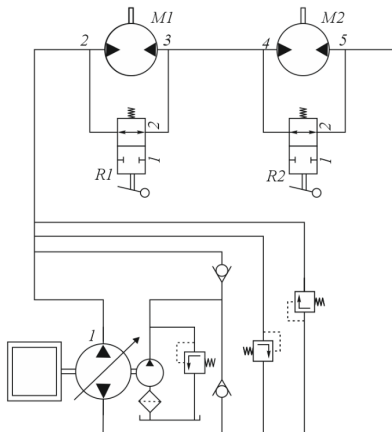
$$Q_p = Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = \text{const}$$

- брзине кретања клипњача и клипова ће зависити од активних површина клипова

$$v_1 = \frac{Q_p}{A_1} \quad v_2 = \frac{Q_p}{A_2}$$



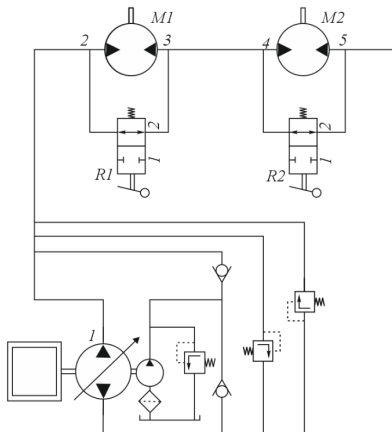
- разводници омогућавају да само један хидроцилиндар буде укључен, а да други остане у закоченом положају



- приказано је затворено хидрауличко коло којим се обезбеђује:
 - окретање оба (серијски везана) хидромотора истовремено у једном или другом смеру
 - окретање само једног хидромотора (било ког од два расположива) у једном или другом смеру
- промена смера могућа јер јер се у систему налазе двосмерна пумпа и двосмерни хидромотори
- укључивање и искључивање хидромотора омогућено је разводником у обилазном (опточном) воду
- размотримо 4 случаја положаја разводника R1 и R2

(1) R1 у положају 2, R2 у положају 2

- ако се разводници налазе у положају 2, како је приказано на слици, ни један хидромотор неће давати излазни момент
- уље ће преко обилазног вода и разводника R1 и R2 обилазити оба хидромотора, јер се креће линијом мањег отпора
- хидромотори ће стајати, мада неће бити укочени



(2) R1 у положају 1, R2 у положају 2

- обилазни вод 2-3 је затворен, тако да уље пролази кроз хидромотор 1
- ту се догађа пад притиска Δp_{m1}
- целокупним протоком уље наставља даље. Пошто је обилазни вод 4-5 отворен, уље ће проћи кроз њега (мањи отпор)
- хидромотор 2 не врши користан рад (мирује али није уочен)

(3) R1 у положају 2, R2 у положају 1

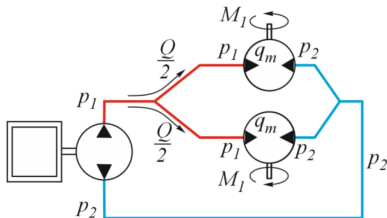
- обрнут случај у односу на претходни
- уље обилази хидромотор 1 кроз обилазни вод
- уље пролази кроз хидромотор 2, који даје излазни момент M_2 и на којем се догађа пад притиска Δp_{m2}

(4) R1 у положају 1, R2 у положају 1

- оба обилазна вода су затворена
- уље пролази најпре кроз један хидромотор, а затим целокупним протоком пролази кроз други
- укупно повећање притиска које је потребно да оствари пумпа је $\Delta p_p = \Delta p_{m1} + \Delta p_{m2} + \Delta p_g$

на хидрауличкој шеми се још виде секунарна пумпа са пратећим елементима, неповратни и сигурносни вентили

Паралелна веза извршних претварача



- приказана је **паралелна веза** два истоветна хидромотора
- хидромотори имају јединичне протоке q_m и оптерећени су истим моментима M_1
- хидрауличка шема затворене циркулације је поједностављена (није приказана секундарна пумпа са пратећим елементима)
- притисак повратног вода p_2 ће владати на излазима оба хидромотора
- притисак потисног вода p_1 , који остварује пумпа, ће владати на улазу у оба хидромотора

- оба хидромотора ће се окретати, јер им је исто оптерећење, исти јединични проток, па ће и потребан притисак за покретање бити исти
- на хидромоторима се догађа исти пад притиска

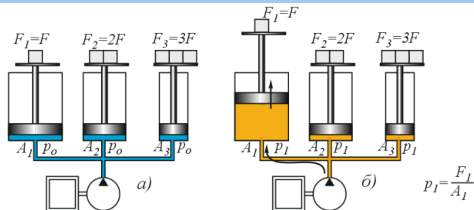
$$\Delta p_m = p_1 - p_2 = \frac{M_1 2\pi}{q_m \eta_m^h}$$

- Бернулијевом једначином од леве до десне рачве се може показати да су гране у којима се налазе хидромотори две хидраулички паралелне гране
- при једнаким оптерећењима проток који шаље пумпа ће се равномерно поделити у две гране

$$Q_{m1} = Q_{m2} = \frac{Q_p}{2}$$

- на следећем примеру је приказана паралална веза три различита извршна претварача (хидроцилиндра) која су изложена различитим оптерећењима

Паралелна веза извршних претварача

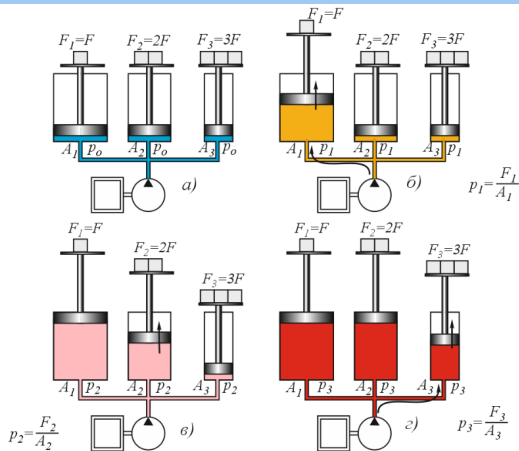


- три различita хидроцилиндра са различитим оптерећењем су везана **паралелно**
- површине клипова су $A_1 > A_2 > A_3$, а спољашња оптерећења $F_1 < F_2 < F_3$
- притисци потребни за покретање клипова износе

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad p_2 = \frac{F_2}{A_2} \quad p_3 = \frac{F_3}{A_3}$$

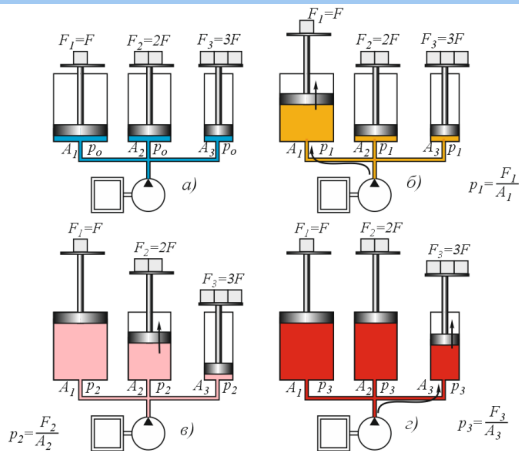
- очигледно да важи $p_1 < p_2 < p_3$
- радни простори ова три хидроцилиндра су спојени, што значи да ће у њима владати исти притисак
- размотримо шта ће се десити након укључивања пумпе
- на **слици (а)** је приказан почетни тренутак
- након укључивања пумпе притисак почиње да расте
- први ће бити достигнут притисак p_1 јер је најмањи. Тај притисак покреће клип првог хидроцилиндра (**слика б**)
- даљи рад пумпе резултује убацивањем уља у хидроцилиндар 1 и подизањем клипа, а не повећањем притиска!

Паралелна веза извршних претварача



- током подизања првог клипа притисак у целом систему има константи вредност $p = p_1$
- тај притисак није довољан да се подигну клипови 2 и 3, тако да ће они остати у стању мировања
- вредност притиска се не мења све док клип 1 не удари у гоњи граничник
- тада даљи рад пумпе доводи до повећања притиска
- када притисак порасте на вредност p_2 , доћи ће до покретања другог клипа (слика в)
- током подизања другог клипа притисак у целом систему је p_2 .
- пошто је $p_2 > p_1$, клип 1 ће остати у горњем положају, а пошто је $p_2 < p_3$, клип 3 се неће померити
- када клип 2 удари у горњи граничник притисак ће се повећати
- пумпа повећава притисак до вредности p_3 и тада долази до покретања трећег клипа (слика г)
- док се подиже клип 3 притисак у целом систему је p_3

Паралелна веза извршних претварача



- након што и трећи клип удари у горњи граничник, притисак наставља да расте
- притисак би растао до максималне вредности притиска коју пумпа може да оствари (уколико не постоји сигурносни вентил)

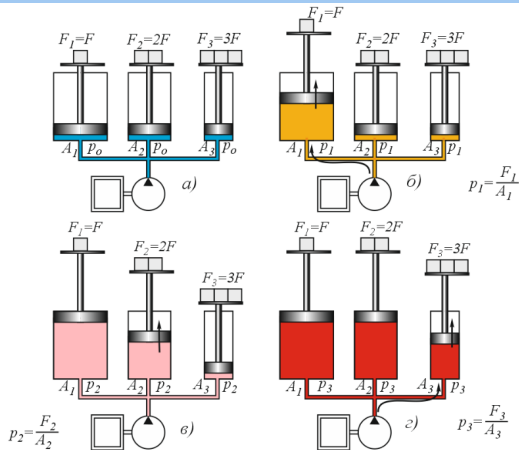
Закључак

Код паралелне везе најпре се активира актуатор коме је потребан најмањи притисак. Редослед којим ће се активирати остали извршни претварачи је одређен величином потребног притиска.

Колико траје подизање клипова и којом брзином се крећу?

- хидрауличке пумпе су такве да проток који испоручују (у одређеном опсегу радних притисака) не зависи од оптерећења, тј. од притиска
- па се може сматрати да у сва три случаја пумпа испоручује проток Q_p

Паралелна веза извршних претварача



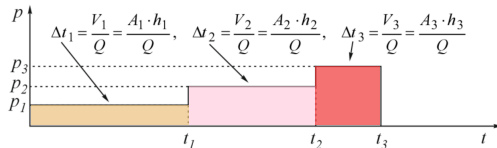
- брзине кретања клипова зависе од протока и површине клипова

$$v_1 = \frac{Q_p}{A_1} \quad v_2 = \frac{Q_p}{A_2} \quad v_3 = \frac{Q_p}{A_3}$$

- слиди да је $v_1 < v_2 < v_3$
- време подизања клипова зависи од висине хидроцилиндара h_1, h_2, h_3 и износи

$$\Delta t_1 = \frac{h_1}{v_1} \quad \Delta t_2 = \frac{h_2}{v_2} \quad \Delta t_3 = \frac{h_3}{v_3}$$

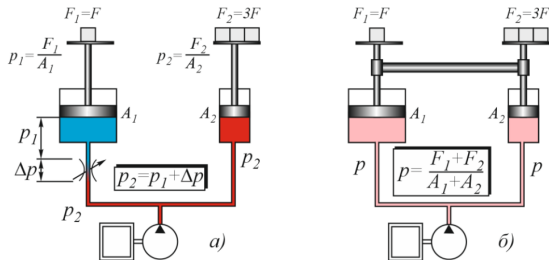
- ако су сви хидроцилиндри исте висине, биће $\Delta t_1 > \Delta t_2 > \Delta t_3$
- сада се може приказати промена притиска у систему у току времена



Паралелна веза извршних претварача

Ако је за покретање два паралелно везана клипа потребан различит притисак, како се може синхронизовати њихов рад?

- за подизање клипа 1 потребан је мањи притисак него за подизање десног клипа 2 $p_1 < p_2$
- то значи да ће након укључивања пумпе прво доћи до подизања левог клипа при притиску p_1
- када он дође до горњег граничника, притисак даље расте до p_2 , након чега долази до подизања и другог клипа
- како је могуће ускалдити покретање ова два клипа?



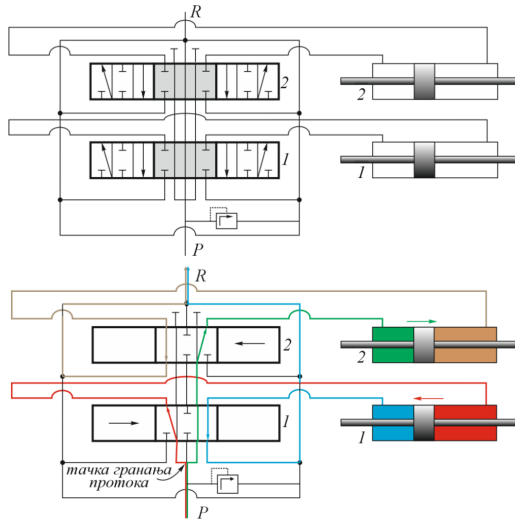
- на слици (а) је приказан хидраулички начин решавања
- у грану хидроцилиндра за чије покретање је потребан нижи притисак се уграђује подесива пригушница
- кретање флуида кроз пригушницу праћено је падом притиска Δp , који се код подесиве пригушнице може мењати
- она се може подесити тако да када пумпа оствари већи притисак p_2 , који је потребан за покретање десног хидроцилиндра, пригушница снизи притисак у левом хидроцилиндру до вредности p_1 која је потребна за покретање левог цилиндра

$$p_1 = p_2 - \Delta p$$

- на овај начин у два хидроцилиндра истовремено владају различити притисци, који су потребни за савладавање различитих спољашњих оптерећења
- на слици (б) је приказано механичко решење заједничког кретања клипова
- клипњаче хидроцилиндара су механички спојене, па се ова конструкција понаша као један клип активне површине $A_1 + A_2$ на који је постављено оптерећење $F_1 + F_2$

Паралелна веза извршних претварача

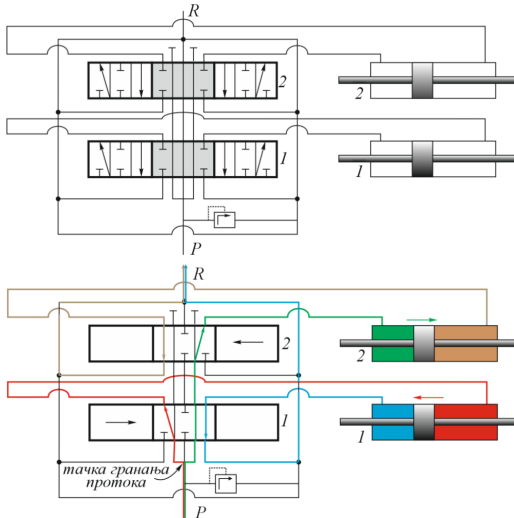
Паралелна веза два хидроцилиндра остварена разводничком секцијом



- на првој слици су приказани разводници у неутралном положају (имају 10 прикључака и 3 положаја)
 - уље из пумпе одлази у резервоар, а хидроцилиндри су укочени
 - разводници омогућавају да буде укључен један од два хидроцилиндра и да врши кретање у једном или другом смеру
 - у том случају кретаће се клип оног хидроцилиндра који је укључен (ако је постигнут довољан притисак)
 - сав проток који шаље пумпа одлази у укључени хидроцилиндар
-
- могућа је и паралелна веза хидроцилиндара, при чему смер кретања једног не утиче на смер кретања другог хидроцилиндра
 - на другој слици је остварена паралелна веза два хидроцилиндра, при чему је жељени смер кретања супротан

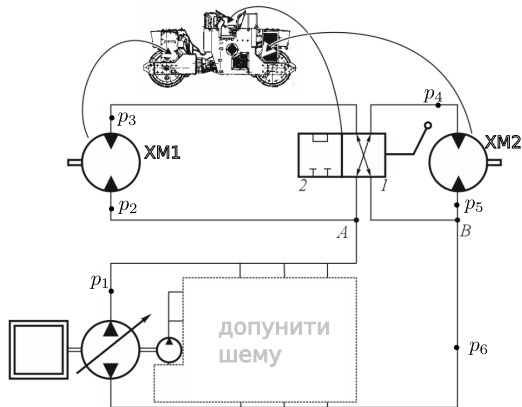
Паралелна веза извршних претварача

Паралелна веза два хидроцилиндра остварена разводничком секцијом



- оба клипа ће се кретати истовремено ако је оптерећење оба хидроцилиндра исто и ако су површине клипова једнаке
- проток пумпе се дели на два дела па је **брзина кретања клипа двоструко мања** него у случају када је укључен само један хидроцилиндар
- ако оптерећења нису иста (и/или су различите површине клипова) за покретање хидроцилиндара ће бити потребни **различити притисци**
- тада ће се прво покренути хидроцилиндар којем је потребан мањи притисак, а када он дође до граничника, притисак ће даље порасти до вредности која је потребна за покретање и другог хидроцилиндра

Промена паралелне везе у серијску и обрнуто

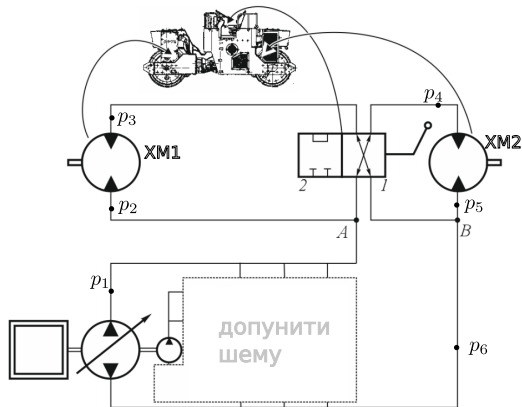


- серијска и паралелна веза имају своје предности и мане, па је некад пожељно да постоји могућност преласка са једне на другу везу
- на слици је приказано решење које серијску везу претвара у паралелну и обрнуто, на примеру ваљка ДВВ-11 (14 октобар Крушевац)
- сус мотор покреће двосмерну пумпу променљиве специфичне запремине
- она уљем снабдева два **иста** хидромотора који покрећу предњи и задњи ваљак (**исто оптерећење**)
- ако је разводник у положају 1 (као на слици) проток уља Q_p се у тачки А дели на два једнака дела, од којих један иде у предњи хидромотор, а други кроз разводник долази до задњег хидромотора (**паралелна веза**)

$$Q_p = Q_{m1} + Q_{m2} \rightarrow Q_{m1} = Q_{m2} = \frac{Q_p}{2}$$

- исти хидромотори добијају исту количину уља па ће се окретати једнаким угаоним брзинама

$$\omega_{m1} = \omega_{m2} = \frac{2\pi \frac{Q_p}{2}}{q_m} \eta_m^v \quad (1)$$



- за анализу промене притиска у систему уочено је 6 тачака
- напор пумпе представља разлику притиска потисног и повратног вода $\Delta p_p = p_1 - p_6$
- ако се занемаре сви падови притиска осим оних који се догађају на хидромоторима, следи да за систем са слике важи

$$p_1 = p_2 = p_4 \quad \text{и} \quad p_6 = p_3 = p_5$$

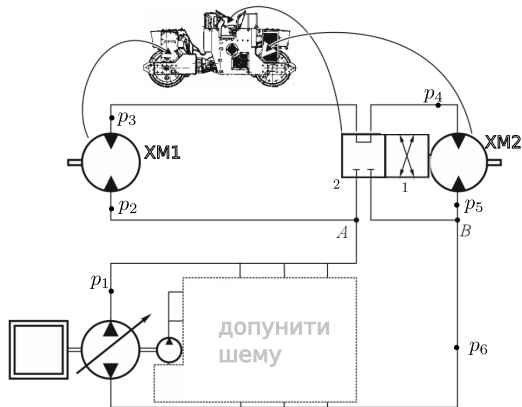
- даље следи да је

$$\Delta p_{m1} = \Delta p_{m2} = \Delta p_p$$

- излазни момент на вратилима хидромотора износи

$$M_{m1} = M_{m2} = \frac{\Delta p_p q_m}{2\pi} \eta_m^h \quad (2)$$

- Прелазак са приказане **паралелне** везе хидромотора на **серијску** се може остварити померањем разводника у положај 2, како је приказано на следећој слици



- разводник у положају 2 обезбеђује серијску везу хидромотора
- целокупан проток који остварује пумпа пролази најпре кроз XM1, а затим кроз XM2

$$Q_p = Q_{m1} = Q_{m2}$$

- угаоне брзине хидромотора су

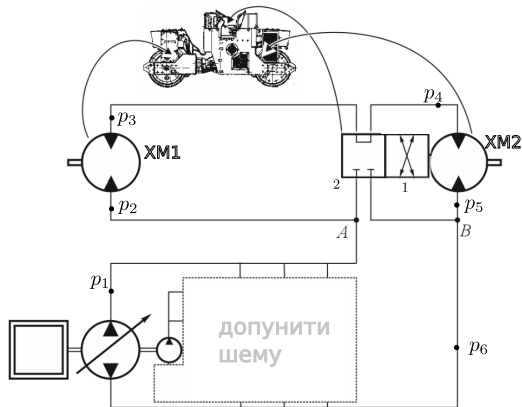
$$\omega_{m1} = \omega_{m2} = \frac{2\pi Q_p}{q_m} \eta_m^v \quad (3)$$

- расподела притиска је сада другачија
- крећући се од повратног вода до потисног, супротно смеру протицања уља, показује се да је

$$p_6 + \Delta p_{m2} + \Delta p_{m1} = p_1 \rightarrow \Delta p_p = \Delta p_{m2} + \Delta p_{m1}$$

- пошто су хидромотори и њихова оптерећења исти, следи веза

$$\Delta p_{m1} = \Delta p_{m2} = \frac{\Delta p_p}{2}$$

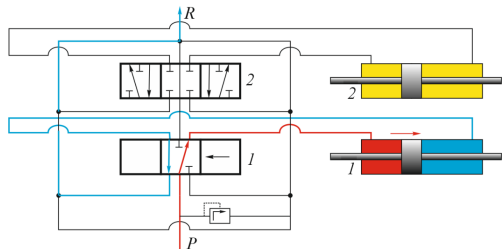
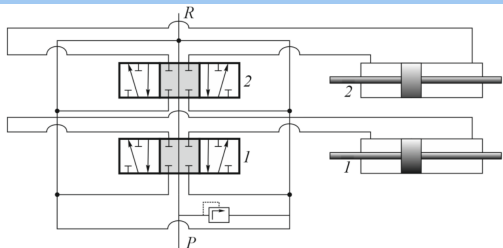


- следи да су моменти на излазним вратилима хидромотора исти и да износе

$$M_{m1} = M_{m2} = \frac{\frac{\Delta p_p}{2} q_m}{2\pi} \eta_m^h \quad (4)$$

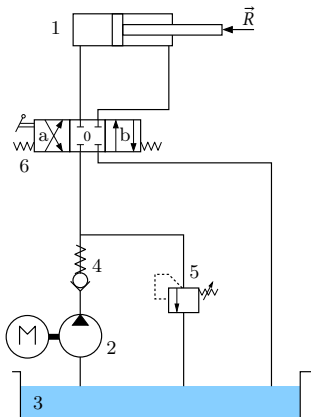
- поређењем израза (1), (2), (3) и (4) види се разлика паралелне и серијске везе
- **паралелном везом** хидромотори добијају мање протока $Q_p/2$, али им је на располагању максимална разлика притисака Δp_p , што значи да у овој вези могу савладати **веће моменте**, али се обрћу **спорије**
- **серијска веза** обезбеђује да хидромотори добијају целокупан проток Q_p , али им је на располагању мања разлика притисака $\Delta p_p/2$, што значи да у овој вези могу савладати **мање моменте**, али могу остварити **већу брзину обртања**
- паралелна веза се користи као **радни ход** где су отпори кретања велики, а серијска као **транспортни ход** при преласку машине са једног места на друго

Редна веза извршних претварача



- редна веза извршних претварача подсећа на серијску, са једном битном разликом: ако је један претварач укључен, то онемогућава укључивање било ког претварача иза њега
- на првој слици хидроцилиндри су укочени
- друга слика приказује укључен положај хидроцилиндра 1
- у његовом разводнику прекинут је ток који је доводио уље од пумпе до разводника хидроцилиндра 2, тако да овај не може бити укључен
- тек када је разводник хидроцилиндра 1 у неутралном положају остварује се веза пумпе и разводника хидроцилиндра 2 и ствара се могућност за његово укључивање

(5) Подела према могућности регулације



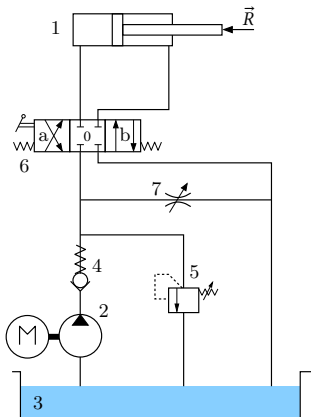
- више пута је речено да је задатак хидрауличког система да пренесе и трансформише снагу
- улаз у хидраулички систем је снага са својим параметрима M_1 и ω_1 (улазне величине)

- излаз из хидрауличког система је снага са својим параметрима M_2 и ω_2 (излазне величине)
- у току рада хидрауличког система, може бити потребе за променом излазних величина
- ако систем не поседује могућност регулације, једини начин да дође до промене излазних величина је да се промене улазне величине

Хидраулички системи чије излазне величине не могу да се промене без промене улазних величина, су **нерегулисани хидраулички системи**.

- пример једног таквог система је дат на слици
- брзина кретања клипа зависи од протока уља који му се доводе
- једини начин да се промени проток који испоручује пумпа са слике је да се промени угаона брзина вратила које покреће пумпу, а она представља улазну величину система

(5) Подела према могућности регулације



- регулација унутар самог хидрауличког система (промена излазних величина без промене улазних) се може извршити на више начина

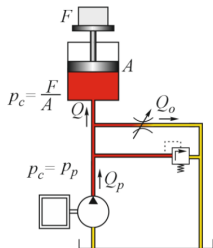
- (1) пригушна регулација
- (2) запреминска регулација
- (3) комбинована пригушно-запреминска регулација

- пригушна регулација** предвиђа уградњу **регулатора протока (вентила протока или пригушнице)** у деоници која спаја потисни и повратни вод
- када је пригушница потпуно затворена сав проток из пумпе одлази у хидроцилиндар - брзина кретања клипа је највећа
- да би се брзина кретања смањила, пригушница се делимично отвара, тако да део протока одлази из потисног у повратни вод
- мањи проток долази у хидроцилиндар, па се клип креће мањом брзином
- овај вид регулације је непожељан јер део уља под притиском одлази у резервоар, што представља **губитак** хидрауличке снаге

Хидраулички системи чије излазне величине се могу мењати без промене улазних величина, су **регулисани хидраулички системи**.

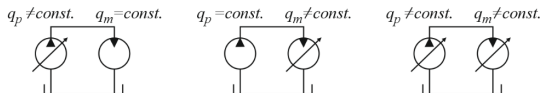
(5) Подела према могућности регулације

- пригушна регулација се користи за системе мање снаге $\leq 7,5 \text{ kW}$



- запеминска регулација** представља могућност пумпе или хидромотора да у току рада мењају своју специфичну запремину q_p, q_m
- о овоме ће бити више речи када буду разматране конструкције пумпи и хидромотора
- ако пумпа промени своју специфичну запремину q_p , при непромењеној улазној величини ω_1 промениће се вредност протока који пумпа испоручује

- промена протока који се шаље ка извршном елементу (хидромотору) довешће до промене излазне величине ω_2
- могућност пумпе и хидромотора да мења специфичну запремину се означава стрелицом преко шематксе ознаке



- на првој слици само пумпа има могућност промене специфичне запремине. Ово је најчешћи случај
- на другој слици приказан је случај где само хидромотор има могућност промене специфичне запремине
- оваква конструкција се скоро никада не користи
- хидромотор се обично налази постављен уз сам уређај који погони (точак, гусеницу, пропелер...) или се чак налази унутар њега, што отежава одржавање и управљање
- случај са треће слике, где и пумпа и хм. имају могућност регулације обезбеђује регулацију у најширем опсегу, али се ретко користи због повећане цене оваквог система

Задатак 2. (Пример 4-7 из књиге *Класична и уљна хидраулика*)

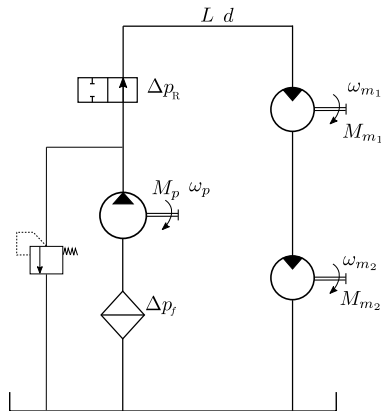
У хидрауличком систему се налазе два иста хидромотора који имају специфичну запремину $q_m = 30 \text{ cm}^3/\text{o}$, запремински и укупни степен корисности $\eta_m^v = 0,98$, $\eta_m = 0,9$. Хидромотори савладавају обртне моменте $M_{m1} = 40 \text{ Nm}$ и $M_{m2} = 30 \text{ Nm}$.

Хидромоторе покреће пумпа специфичне запремине $q_p = 20 \text{ cm}^3/\text{o}$, запреминског и укупног степена корисности $\eta_p^v = 0,97$, $\eta_p = 0,9$, која се окреће са $n_p = 1450 \text{ o/min}$.

Познати су подаци: падови притиска на филтеру и разводнику $\Delta p_f = 0,3 \text{ bar}$, $\Delta p_R = 2 \text{ bar}$, густина и кинематска вискозност уља $\rho = 850 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$, дужина и пречник цевовода $L = 20 \text{ m}$, $d = 20 \text{ mm}$.

Одредити:

- бројеве обртаја хидромотора
- снагу коју погонски агрегат предаје вратилу пумпе
- степен корисности хидрауличног система



Задатак 3. (Пример 4-8 из књиге *Класична и уљна хидраулика*)



На слици је приказан хидраулички систем у који је уграђена пума степена корисности $\eta_p = 0,9$ и три хидромотора. Два иста хидромотора ХМ1 се користе за покретање два ваљка пречника $D_1 = 800 \text{ mm}$. Они треба да савладају силе $R_1 = 9,5 \text{ kN}$ (видети слику) и да остваре обимску брзину $v_0 = 5 \text{ m/s}$. Хидромотори ХМ1 имају специфичну запремину $q_{m1} = 1238,9 \text{ cm}^3/\text{o}$, запремински степен корисности $\eta_{m1}^v = 0,98$ и укупни степен корисности $\eta_{m1} = 0,95$.

У другом делу система се налази хидромотор ХМ2 који има задатак да савлада обртни момент $M_{m2} = 3840 \text{ Nm}$ и да оствари број обртаја $n_{m2} = 68,2 \text{ o/min}$. Његова специфична запремина, запремински и укупни степен корисности износе:

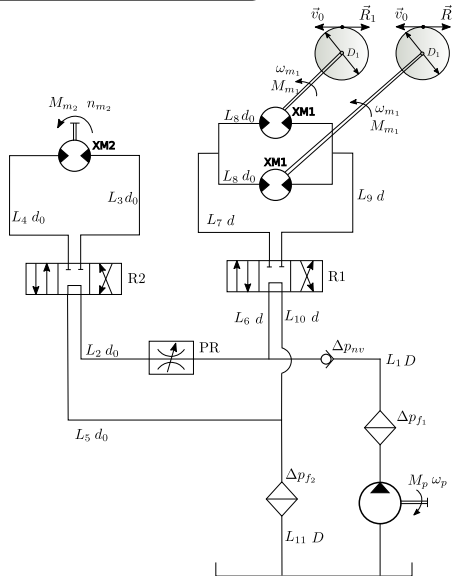
$q_{m2} = 1440,6 \text{ cm}^3/\text{o}$, $\eta_{m2}^v = 0,98$, $\eta_{m2} = 0,96$.

Остали познати подаци: $D = 80 \text{ mm}$, $d = 60 \text{ mm}$, $d_0 = 40 \text{ mm}$, дужине деоница $L_1 = 2 \text{ m}$, $L_2 = L_5 = 5 \text{ m}$, $L_3 = L_4 = 6 \text{ m}$, $L_6 = L_{10} = 4 \text{ m}$, $L_7 = L_9 = 8 \text{ m}$, $L_8 = 4 \text{ m}$, $L_{11} = 10 \text{ m}$.

Густина и кинематска вискозност флуида су $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$ и $\nu = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. Падови притиска на филтерима, неповратном вентилу и разводницима су $\Delta p_{f1} = 0,3 \text{ bar}$, $\Delta p_{f2} = 0,2 \text{ bar}$, $\Delta p_{nv} = 0,1 \text{ bar}$, $\Delta p_{R1} = 4 \text{ bar}$ и $\Delta p_{R2} = 1 \text{ bar}$.

Одредити:

- потребну снагу пумпе за погон система
- пад притиска на пригушници Δp_{PR} који омогућава жељено кретање ХМ2
- степен корисности хидрауличног преносника снаге



Задатак 4. (Пример 4-20 из књиге *Класична и уљна хидраулика*)

Извршни елемент приказаног хидрауличног система је хидроцилиндар са двостраном клипњачом чије су димензије $D = 60 \text{ mm}$ и $D_0 = 20 \text{ mm}$. На клипњачи се при радном и повратном ходу савладава сила $F = 12 \text{ kN}$ при брзини кретања $v_k = 4 \text{ cm/s}$.

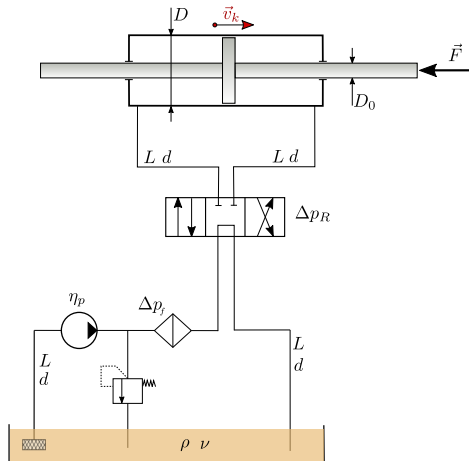
Кроз цевовод дужине $4L$ ($L = 2 \text{ m}$) и пречника $d = 10 \text{ mm}$, уље потискује пумпа степена корисности $\eta_p = 0,85$. Уље је густине $\rho = 905 \text{ kg/m}^3$ и кинематске вискозности $\nu = 0,47 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Падови притиска на филтеру и хидрауличком разводнику износе $\Delta p_f = 0,1 \text{ bar}$ и $\Delta p_R = 0,55 \text{ bar}$.

Запреминске и хидромеханичке губитке хидроцилиндра занемарити. Занемарити и кинетичку енергију струје и остале локалне отпоре.

Одредити:

- снагу пумпе и
- степен корисности хидрауличног система.



Задатак 5. (Пример 4-21 из књиге *Класична и уљна хидраулика*)

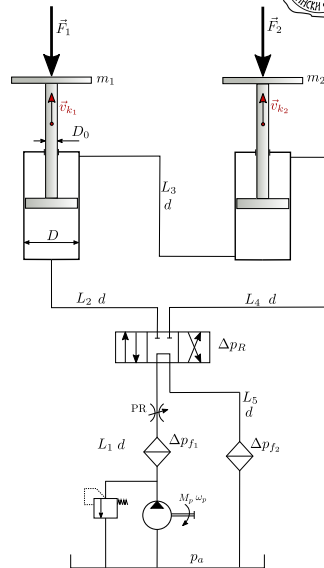
У хидрауличком систему са слике се налазе два иста хидроцилиндра димензија $D = 160 \text{ mm}$, $D_0 = 80 \text{ mm}$, који имају запремински степен корисности $\eta_c^v = 95\%$. Маса покретних делова хидроцилиндара је $m_1 = 150 \text{ kg}$ и $m_2 = 200 \text{ kg}$. На хидроцилиндрима се савладавају силе $F_1 = 100 \text{ kN}$ и F_2 , при брзини кретања клипова $v_{k1} = 5 \text{ cm/s}$ и v_{k2} .

У систему се налази пумпа која има напор $\Delta p = 10 \text{ MPa}$ и степен корисности $\eta_p = 85\%$. Падови притиска на филтерима за пречишћавање уља и пригушници износе $\Delta p_{f1} = 0,5 \text{ bar}$, $\Delta p_{f2} = 0,4 \text{ bar}$, $\Delta p_{PR} = 3,95 \text{ bar}$. Пад притиска на разводнику зависи од протока уља према једначини $\Delta p_R = aQ^2$ ($a = 8,12 \cdot 10^{-4} \text{ bar}/(\text{lit}/\text{min})^2$).

Кинетичку и потенцијалну енергију флуидне струје, остале локалне отпоре и силу трења у хидрауличким цилиндрима занемарити.

Остали познати подаци су $d = 25 \text{ mm}$, $L_1 = 1,5 \text{ m}$, $L_2 = 4 \text{ m}$, $L_3 = 3 \text{ m}$, $L_4 = 4 \text{ m}$, $L_5 = 1,5 \text{ m}$, $\rho = 900 \text{ kg}/\text{m}^3$ и $\nu = 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$.

Одредити степен корисности хидрауличног система.



Задатак 6. (Пример 4-23 из књиге *Класична и уљна хидраулика* - са изменама)

У систему се налазе два истоветна, вертикална, паралелно повезана хидроцилиндра ($D = 100 \text{ mm}$, $D_0 = 56 \text{ mm}$) који служе за синхронизовано подизање платформе на којој се савладава сила $F = 70 \text{ kN}$, при брзини кретања $v_k = 5 \text{ cm/s}$. Укупна тежина платформе, клипова и клипњача је $G = 10 \text{ kN}$.

Хидрауличка карактеристика разводника је дата на [дијаграму](#). Познати подаци су: пречници цеви $d_0 = 20 \text{ mm}$, $d = 16 \text{ mm}$, дужине деоница $L_1 = 2 \text{ m}$ (од резервоара до рачве), $L_2 = 2,5 \text{ m}$, $L_3 = 3 \text{ m}$, $L_4 = 2 \text{ m}$ (од рачве до резервоара), пад притиска на филтеру $\Delta p_f = 0,3 \text{ bar}$. Густина и кинематска вискозност уља су $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Степен корисности пумпе износи $\eta_p = 85\%$.

Занемарити све остале локалне отпоре, кинетичку и потенцијалну енергију уља, запреминске и хидромеханичке губитке у хидроцилиндрима.

Одредити:

- снагу пумпе и
- степен корисности хидрауличног система.

