

Instrukcja do ćwiczeń laboratoryjnych

**Sterowanie dławieniowe-szeregowe
prędkością ruchu odbiornika
hydraulicznego**

Wstęp teoretyczny

Prędkość silnika hydrostatycznego lub siłownika zależy od skierowanego do niego natężenia przepływu oraz od parametrów konstrukcyjnych danego odbiornika hydraulicznego. Prędkość obrotową silnika można przedstawić wzorem (1), w którym n_s - prędkość obrotowa silnika [obr/s], Q_s - natężenie przepływu skierowane do silnika [m^3/s], q_s - chłonność jednostkowa silnika [m^3/obr].

$$n_s = \frac{Q_s}{q_s} \quad (1)$$

Prędkość siłownika natomiast można przedstawić wzorem (2), w którym v_s - prędkość siłownika [m/s], Q_s - natężenie przepływu skierowane do siłownika [m^3/s], A_s - pole powierzchni pod którą wpływa ciecz (na przykład przy wysuwie jest to powierzchnia tłoka).

$$v_s = \frac{Q_s}{A_s} \quad (2)$$

Ze wzoru (1) oraz (2) widać wyraźnie, że aby móc sterować prędkością odbiornika hydraulicznego należy sterować skierowanym do niego natężeniem przepływu. Warto zauważyć tutaj, że można sterować prędkością silnika hydrostatycznego także zmieniając jego chłonność jednak dotyczy to tylko odbiorników specjalnie do tego przeznaczonych – silników zmiennej chłonności. Ten rodzaj sterowania jest jednym z rodzajów sterowania objętościowego.

Warto dodać, że we wzorach (1) oraz (2) pomija się sprawność wolumetryczną. O ile siłowniki mają bardzo dużą szczelność i sprawność tę można traktować jako równą 1, o tyle w silnikach hydrostatycznych przecieki są znaczne i przy bardziej szczegółowych obliczeniach należy je wziąć po uwagę.

Wróćmy jednak do nadawania odbiornikowi hydraulicznemu wymaganej prędkości poprzez zmianę wartości kierowanego do niego natężenia przepływu. Można to zrealizować dwoma sposobami.

Pierwszy z nich to zastosowanie pompy zmiennej wydajności lub zastosowanie pompy stałej wydajności połączonej z silnikiem pierwotnym, w którym w sposób ciągły można zmieniać jego prędkość obrotową. Ten rodzaj sterowania prędkością odbiornika nazywa się sterowaniem objętościowym. Ma ono tę zaletę, że cały strumień cieczy jaki podaje pompa jest kierowany do odbiornika hydraulicznego. Sprawność energetyczna takiego układu jest więc bardzo duża i zależy jedynie od strat objętościowych elementów hydraulicznych.

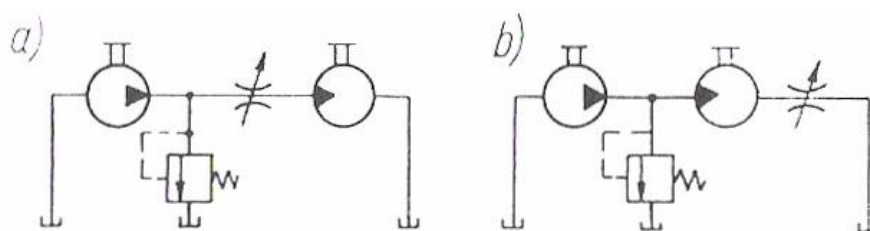
Drugi z nich to zastosowanie pompy stałej wydajności zasilanej silnikiem pierwotnym o stałej prędkości obrotowej oraz wykorzystanie specjalnych zaworów, które część strumienia pochodzącego od pompy odprowadzą bezpośrednio do zbiornika. Pozostała część będzie wpływać do odbiornika nadając mu wymaganą prędkość. Ten rodzaj sterowania nazywa się sterowaniem dławieniowym. Łatwo zauważyć, że sterowanie to ma dużo niższą sprawność niż sterowanie objętościowe, gdyż część energii jaką podaje pompa jest marnowana wraz z cieczą wracającą do zbiornika nie przepływającą przez silnik.

Sterowanie objętościowe jest więc wykorzystywane w układach, które przenoszą duże moce oraz pracują w sposób ciągły. Jeśli przenoszone moce są małe, a ruch elementów wykonawczych odbywa się rzadko i jest to ruch przerywany, dużo lepiej stosować jest

sterowanie dławieniowe. Ten rodzaj sterowania mimo ewidentnej wady jaką jest niska sprawność jest dużo prostszy, bardziej niezawodny i tańszy.

Sterowanie dławieniowe podzielić można na sterowanie szeregowe i równoległe. Niniejsza instrukcja poświęcona jest pierwszemu rodzajowi sterowania.

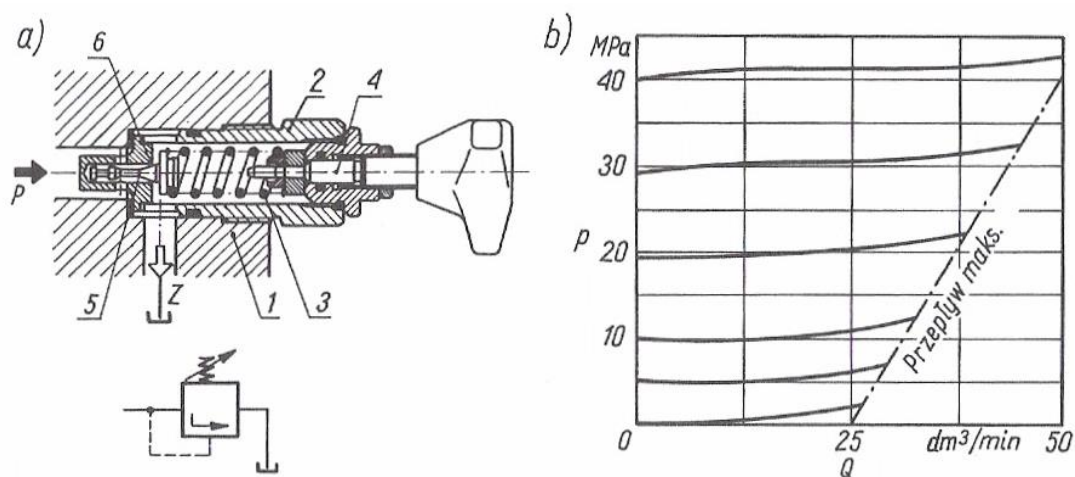
W sterowaniu dławieniowym szeregowym wykorzystuje się jednocześnie zawór maksymalny pełniący funkcję zaworu przelewowego oraz nastawny zawór dławiący. Zawór przelewowy musi być umiejscowiony tuż za pompą, natomiast nastawny zawór dławiący powinien być umieszczony na linii pompa-silnik-zbiornik. Może on być umieszczony na dopływie do silnika, jak to obrazuje rysunek 1a) lub na odpływie z silnika jak to obrazuje rysunek 1b).



Rys. 1. Sterowanie dławieniowe szeregowe a) na dopływie, b) na odpływie; [2]

Zanim opisane zostanie na czym polega istota sterowania dławieniowego szeregowego omówione zostaną zawory, które umożliwiają tego rodzaju sterowanie.

Pierwszy z zaworów niezbędny do sterowania dławieniowego szeregowego to zawór maksymalny pełniący funkcję zaworu przelewowego. Schemat konstrukcyjny tego zaworu oraz przykładowe charakterystyki znajdują się na rysunku 2. Jest to najprostsz rodzaj zaworu – zawór bezpośredniego działania.

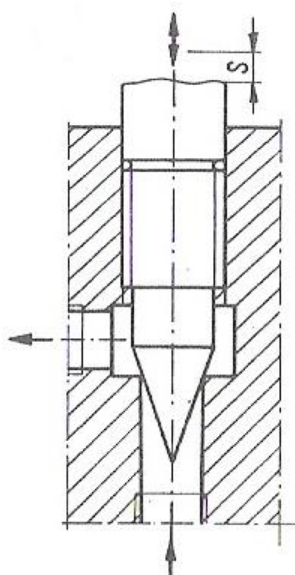


Rys. 2. Zawór maksymalny bezpośredniego działania oraz jego charakterystyki; [1]

Zasada działania tego zaworu jest następująca: Grzybek 5 przesunie się w prawo umożliwiając przepływ z P do Z w momencie gdy ciśnienie na drodze P przekroczy ustaloną wartość. Wartość tego ciśnienia zwanego ciśnieniem otwarcia ściśle zależy od ugięcia wstępnej sprężyny 3, które zadaje się za pomocą pokrętła 4. Na rysunku 2b) narysowano 6 krzywych. Każda z tych krzywych odpowiada zależności ciśnienia przed zaworem o natężenia przepływu płynącego przez zawór dla 6 różnych napięć wstępnej sprężyny.

Warto zauważyć, że zawór po skierowaniu do niego natężenia przepływu będzie utrzymywał w miarę stałe ciśnienie po stronie P, zależne od nastawy ugięcie wstępnej sprężyny. Im bardziej płaskie są charakterystyki zaworu tym mniej zależy wartość ciśnienia przed zaworem od natężenia przepływu skierowanego na zawór. Tę właśnie własność zaworu wykorzystuje się przy sterowaniu dławieniowym szeregowym.

Drugim elementem hydraulicznym niezbędnym do sterowania dławieniowego szeregowego jest nastawny zawór dławiący. Przykład takiego zaworu przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Szkic konstrukcyjny przykładowego nastawnego zaworu dławiącego; [1]

Zawory dławiące wykorzystują zjawiska związane z przepływem cieczy przez różnego rodzaju szczeliny dławiące. W szczelinie takiej zawsze następuje spadek ciśnienia ściśle związany z natężeniem przepływu. Dla przepływu laminarnego zależność wiążąca te dwie wielkości przedstawiona jest wzorem (3), w którym k_l jest współczynnikiem zależnym od kształtu gniazda i trzcienia oraz od własności cieczy, f_d jest polem powierzchni szczeliny dławiącej, Δp jest różnicą ciśnień przed i za zaworem. Dla przepływu burzliwego natomiast zależność ta jest określona wzorem (4), w którym k jest współczynnikiem zależnym od kształtu gniazda i trzcienia oraz od własności cieczy, a pozostałe wielkości są takie same jak we wzorze (3). Warto dodać, że w większości zaworów dławiących występuje przepływ zbliżony do burzliwego.

$$Q = k_l f_d \Delta p \quad (3)$$

$$Q = k f_d \sqrt{\Delta p} \quad (4)$$

W nastawnym zaworze dławiącym wartość pola powierzchni f_d dławiącej nastawia się za pomocą przesunięcia trzcienia s . Łatwo więc zauważyć, że jeżeli między drogą wejściową, a wyjściową zaworu dławiącego będzie utrzymywana stała różnica ciśnień Δp to za poprzez zmiany przesunięcia trzcienia s będzie można sterować natężeniem przepływu przez zawór dławiący. To właśnie jest istota sterowania dławieniowego.

Przyjrzyjmy się baczniej rysunkowi 1a). Zawór przelewowy jest ustawiony na pewną wartość ciśnienia otwarcia p_0 . Załóżmy, że zawór dławiący jest w pełni otwarty, czyli

powierzchnia dławiąca jest największa. Na zaworze dławiącym występuje więc pewna wartość spadku ciśnienia Δp , która na razie jest jednak dużo mniejsza od ciśnienia p_0 . Cała ciecz pompowana przez pompę płynie więc do silnika, gdyż zawór przelewowy jest zamknięty.

Przymykając zawór dławiący początkowo zwiększamy jedynie wartość spadku ciśnienia na zaworze dławiącym Δp , bez zmiany natężenia przepływu jaki płynie przez zawór. Dzieje się tak do momentu, gdy wartość spadku ciśnienia Δp będzie równa ciśnieniu otwarcia zaworu przelewowego p_0 . Wtedy dalsze zmniejszanie szczeliny dławiącej spowoduje rozdział strumienia idącego od pompy na strumień płynący do silnika oraz na strumień płynący przez zawór przelewowy bezpośrednio do zbiornika. W tej sytuacji zgodnie z charakterystykami zaworu przelewowego przed zaworem dławiącym jest utrzymywane w miarę stałe ciśnienie p_0 – zwiększające się nieznacznie wraz ze wzrostem natężenia przepływu (zgodnie z charakterystyką zaworu).

Za zaworem dławiącym ciśnienie jest funkcją obciążenia silnika hydrostatycznego (przy pominięciu strat w przewodzie odprowadzającym ciecz z silnika do zbiornika). Dla silnika hydrostatycznego ciśnienie to można przedstawić za pomocą wzoru (5), w którym p_s ciśnienie przed silnikiem hydrostatycznym [Pa], M_s moment obciążenia silnika hydrostatycznego [Nm], q_s wydajność jednostkowa silnika hydrostatycznego [m^3/obr]. Gdy elementem wykonawczym jest siłownik idea sterowania dławieniowego szeregowego nie zmienia się. Ciśnienie za zaworem dławiącym można zapisać za pomocą wzoru (6), w którym p_s ciśnienie przed siłownikiem [Pa], F_s siła obciążająca siłownik [N], A_s pole powierzchni pod którą wpływa ciecz [m^2].

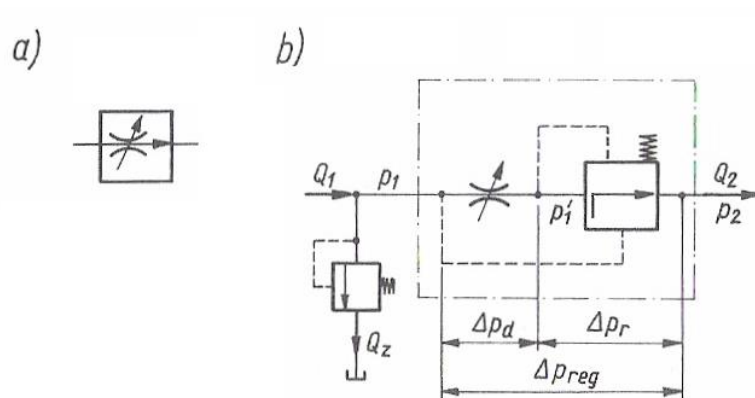
$$p_s = \frac{2\pi M_s}{q_s} \quad (5)$$

$$p_s = \frac{F_s}{A_s} \quad (6)$$

Warto zauważyć, że we wzorach (5) i (6) pomija się sprawność hydrauliczno-mechaniczną odbiornika hydraulicznego, dlatego też w rzeczywistych układach ciśnienia te są nieco większe.

Jeżeli przed zaworem dławiącym ciśnienie zależy od ugięcia wstępnego sprężyny zaworu przelewowego, a za zaworem dławiącym ciśnienie zależy od obciążenia silnika to przy stałym obciążeniu spadek ciśnienia na zaworze jest stały. Tak więc natężenie przepływu, a co za tym idzie prędkość silnika hydrostatycznego lub prędkość siłownika może być płynnie sterowana za pomocą przesunięcia trzpienia zaworu dławiącego s .

Problemy w sterowania dławieniowym szeregowym są widoczne wtedy, gdy obciążenie odbiornika hydraulicznego nie jest stałe. Wtedy jego prędkość zgodnie ze wzorem (3) lub (4) nie zależy jedynie od powierzchni szczeliny dławiącej, ale także od różnicy ciśnień na zaworze dławiącym, na co ma wpływ obciążenie siłownika. Aby skompensować niekorzystny wpływ obciążenia odbiornika hydraulicznego na jego prędkość do sterowania dławieniowego szeregowego stosuje się dwudrogowe regulatory przepływu. Schemat ogólny tego elementu znajduje się na rysunku 4a) natomiast schemat szczegółowy na rysunku 4b)



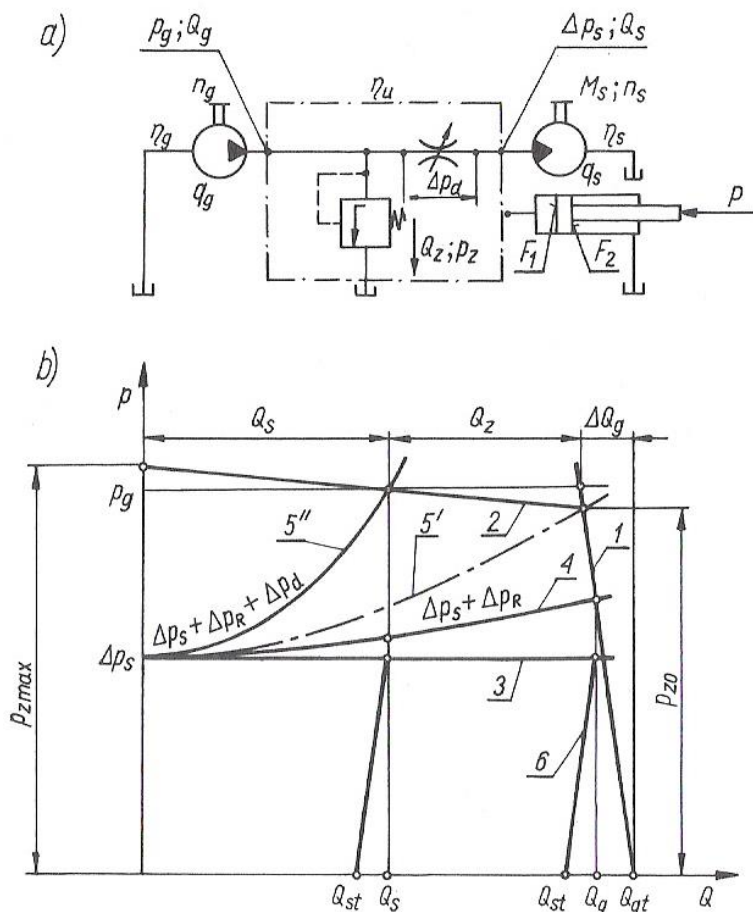
Rys. 4. Dwudrogowy regulator przepływu a) symbol b) schemat obrazujący zasadę działania; [1]

Dwudrogowy regulator przepływu składa się z nastawnego zaworu dławiącego oraz zaworu ciśnieniowego różnicowego. Zasada działania dwudrogowego regulatora przepływu jest taka, że zawór różnicowy utrzymuje stały spadek ciśnienia na zaworze dławiącym Δp_d niezależnie od ciśnienia p_2 . Dla każdej nastawy zaworu dławiącego będzie więc określone natężenie przepływu przez ten zawór niezależnie od ciśnienia p_2 . Zobrazujmy to przykładem. Wyobraźmy sobie, że ciśnienie p_2 wzrasta, wzrasta więc również ciśnienie p_i' . Jako, że ciśnienie p_1 jest stałe i zależne tylko od zaworu przelewowego to szczelina regulacyjna zaworu różnicowego ulega zwiększeniu. Skutkuje to tym, że spadek ciśnienia na niej Δp_r ulega zmniejszeniu i ciśnienie p_i' wraca do stanu pierwotnego. Ten sposób nadawania określonego natężenia przepływu nazywany jest regulacją dławieniową szeregową.

Przyjrzyjmy się jeszcze rysunkowi 1b). Zasada sterowania dławieniowego szeregowego na odpływie jest identyczna jak na dopływie. Łatwo zauważyć, że w obu przypadkach ciśnienie za pompą jest równe ciśnieniu ustawionemu przez zawór przelewowy, które jednocześnie jest sumą spadku ciśnienia na zaworze dławiącym oraz spadku ciśnienia na silniku hydrostatycznym. Przy sterowaniu na odpływie ciśnienie za zaworem przelewowym jest równe atmosferycznemu (ciecz swobodnie wypływa z niego do zbiornika). Natomiast ciśnienie przed zaworem dławiącym jest równe różnicy ciśnienia zaworu przelewowego oraz ciśnienia pochodzącego od obciążenia silnika (wzór (5)). Tak więc jeśli obciążenie silnika jest stałe, to spadek ciśnienia na zaworze dławiącym również jest stały.

Zarówno sterowanie na dopływie jak i na odpływie ma swoje wady i zalety. Sterowanie na dopływie ma tę zaletę, że ciśnienie panujące przed siłownikiem lub silnikiem jest mniejsze w stosunku do sterowania na odpływie i zależy tylko od obciążenia elementu wykonawczego. Ma więc to tę zaletę, że pracuje on z większą sprawnością, gdyż mniejsze są opory tarcia w węzłach uszczelniających. Kolejną zaletą sterowania na dopływie w stosunku do sterowania na odpływie jest mniejsza objętość cieczy poddanej działaniu ciśnienia, a więc mniejsza jest podatność układu (kapacytancja). Sterowanie na dopływie ma jednak pewną wadę. Ciśnienie na wyjściu z odbiornika hydraulicznego jest bliskie zeru. Tak więc niekontrolowane zmiany obciążenia zewnętrznego mogą powodować drgania elementu wykonawczego, jego niekontrolowane ruchy lub nawet wytwarzanie się podciśnienia w jednej z komór elementu wykonawczego.

Zasadę sterowania dławieniowego szeregowego można zobrazować tworząc odpowiedni wykres we współrzędnych p oraz Q i nakładając na niego charakterystyki wszystkich elementów hydraulicznych, co przedstawia rysunek 5.



Rys. 5. a) Schemat hydrauliczny układu ze sterowaniem dławieniowym szeregowym wraz z oznaczeniami wielkości b) Wykres obrazujący istotę sterowania dławieniowego szeregowego; [2]

Na wykresie z rysunku 1a) prosta 1 obrazuje charakterystykę rzeczywistą pompy wyporowej. Wydajność jej nieznacznie maleje wraz ze wzrostem ciśnienia. Prosta 2 natomiast jest odwróconą charakterystyką zaworu przelewowego – odwróconą dlatego, że przepływ jaki jest kierowany do odbiornika hydraulicznego Q_s jest równy różnicy przepływu jaki daje pompa Q_g oraz przepływu jaki idzie przez zawór przelewowy bezpośrednio do zbiornika Q_z . Przykładowo punkt o współrzędnej $Q=0$ jest równoznaczny temu, że cały przepływ idzie przez zawór przelewowy $Q_z=Q_g$ a przepływ przez odbiornik hydrauliczny jest równy zero $Q_s=0$.

Proste 1 oraz 2 tworzą zbiór wszystkich możliwych punktów pracy układu hydrostatycznego. Prosta 3 natomiast obrazuje ciśnienie przed odbiornikiem hydrostatycznym, którego wartość zależy od jego obciążenia zgodnie ze wzorami (5) lub (6) Jest to prosta pozioma. Krzywa 4 obrazuje charakterystykę przepływowo-ciśnieniową zespołu elementów: rurociągu, zaworu dławiącego oraz odbiornika hydraulicznego. Dla przepływu równego 0 ciśnienie zależy jedynie od obciążenia siłownika, natomiast dla większych przepływów zależy ono również od oporów przepływu w przewodach Δp_R oraz na zaworze dławiącym Δp_d . Punkt przecięcia krzywej 4 z układem prostych 1 i 2 jest punktem pracy układu hydrostatycznego. W sterowaniu dławieniowym szeregowym za pomocą zaworu dławiącego możemy zmieniać kształt krzywej 4. Jeżeli zmniejszymy szczelinę dławiącą to zmienimy charakterystykę przepływowo-ciśnieniową zespołu elementów: rurociągu, zaworu dławiącego oraz odbiornika hydraulicznego z krzywej 4 na krzywą 5'. Dalsze zmniejszanie szczeliny spowoduje kolejną zmianę na krzywą 5''. Widać wyraźnie, że

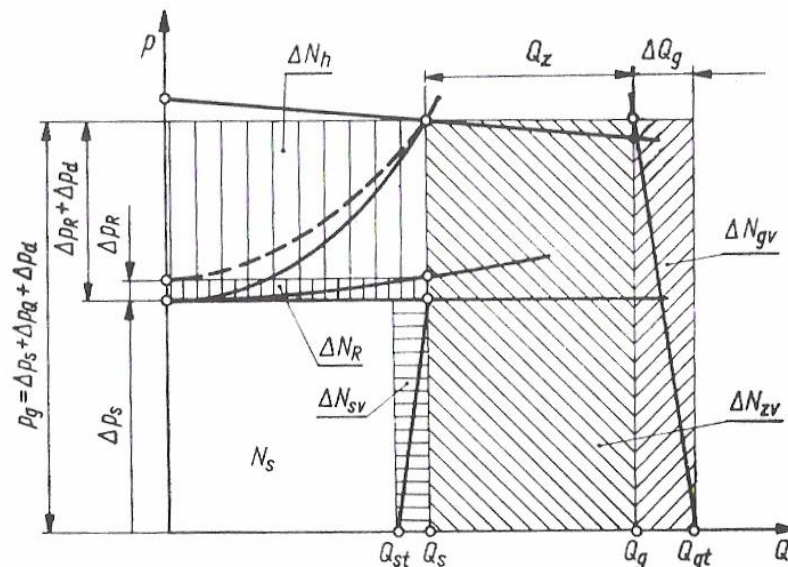
zmieniając tę krzywą sterujemy natężeniem przepływu kierowanym do silnika Q_s , jednak płynne sterowanie zaczyna się dopiero przy mniejszych szczelinach dławiących niż ta, której rezultatem jest prosta 5'. Przy większych szczelinach zmniejszanie szczeliny powoduje jedynie zwiększenie ciśnienia panującego w układzie i nieznaczne zmniejszenie natężenia przepływu będące efektem charakterystyki pompy.

Prosta 6 obrazuje rzeczywistą charakterystykę silnika hydrostatycznego z uwzględnieniem strat objętościowych, czyli przecieków. Przepływ użyteczny Q_{st} na podstawie którego możemy obliczyć prędkość obrotową silnika hydrostatycznego (wzór (1)), jest nieznacznie mniejszy od przepływu kierowanego do silnika Q_s .

Warto zauważyć, że charakterystyka układu z rysunku 1b) jest identyczna dla układu z dławieniem na dopływie co na odpływie.

Przyjrzyjmy się jeszcze problemom energetycznym układu ze sterowaniem dławieniowym szeregowym. Podczas pracy takiego układu pompa pracuje cały czas z jednakową wydajnością oraz z jednakowym ciśnieniem, które jest nastawione na zaworze przelewowym. Moc jest iloczynem ciśnienia oraz natężenia przepływu, tak więc moc pompy cały czas jest stała. Silnik lub siłownik odbiera jedynie pewną część tej mocy, która w skrajnym przypadku może być bardzo małą częścią mocy pompy. Zoobrazować to można za pomocą rysunku 6.

Na rysunku tym przedstawiona jest przykładowa charakterystyka układu z dławieniem szeregowym w jednym z punktów pracy. Pole dużego prostokąta jest mocą jaka idzie od pompy. Ten duży prostokąt dzieli się na mniejsze prostokąty, z których wszystkie zakreskowane prostokąty są mocami traconymi. Jedynie ten niezakreskowany prostokąt jest mocą odbieraną przez silnik.



Rys. 6. Przykładowa charakterystyka dla sterowania dławieniowego szeregowego wraz z podziałem na prostokąty obrazujące dane moce; [2]

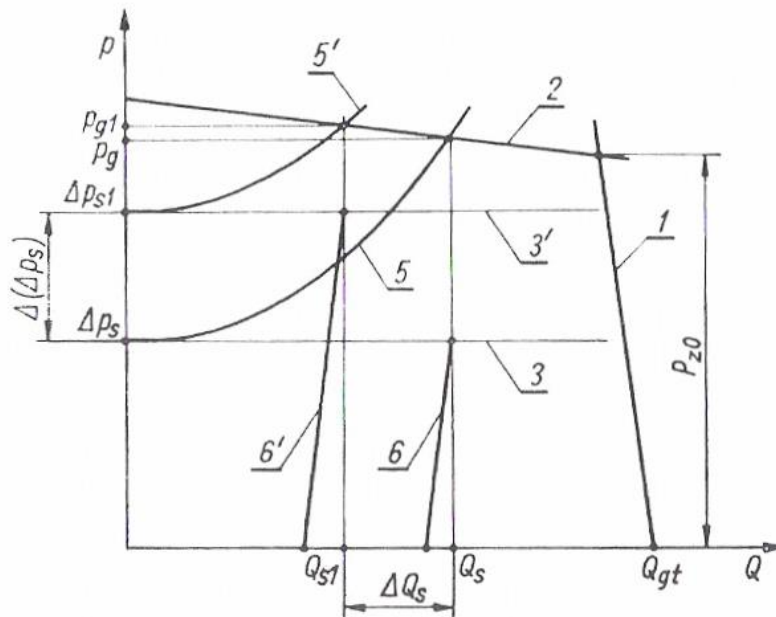
Tak więc sprawność całkowita układu jest stosunkiem pola prostokąta niezakreskowanego do pola dużego prostokąta. Sprawność ta w ogólnym przypadku jest niska, gdyż moc jest tracona poprzez odprowadzanie niewykorzystanego przez silnik strumienia cieczy do zbiornika przez zawór przelewowy, poprzez straty ciśnienia wywołane oporami przepływu zarówno na zaworze przelewowym jak i na zaworze dławiącym.

Pytanie do samodzielnego przeanalizowania:

Które prostokąty odpowiadają za straty mocy na straty mocy na poszczególnych elementach?

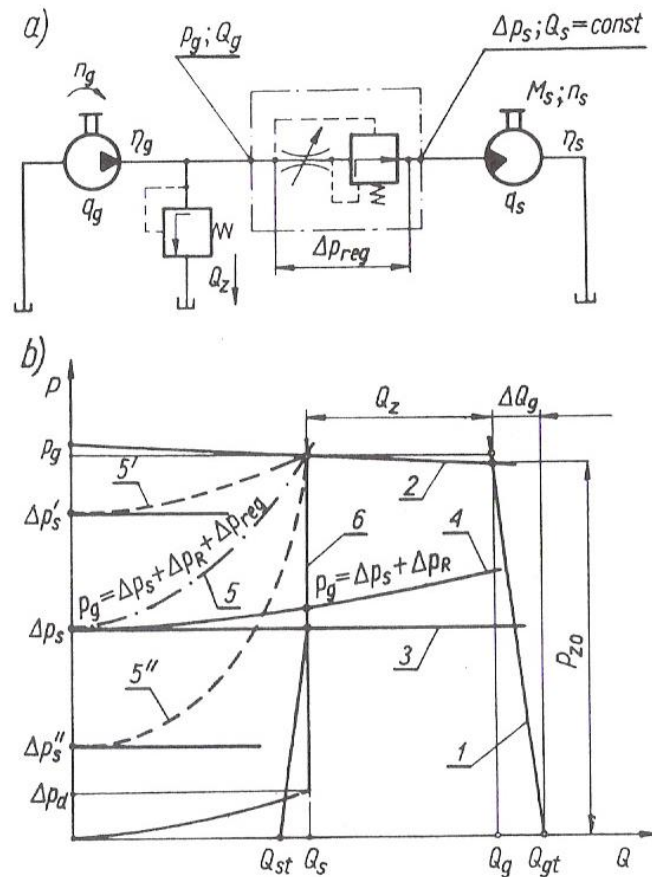
Jak powinna być dobrana wydajność pompy oraz ciśnienie otwarcia zaworu przelewowego aby sprawność układu przy sterowaniu dławieniowym szeregowym była możliwie największa?

Wróćmy jeszcze do problemu wpływu zmian obciążenia odbiornika hydraulicznego na zmiany jego prędkości przy tej samej nastawie szczeliny dławiącej. Można to zobrazować charakterystyką przedstawioną na rysunku 7. Przy wzroście obciążenia krzywa 5 przechodzi na krzywą 5'' i zmniejsza się natężenie przepływu kierowane do odbiornika.



Rys. 7. Wpływ zmiany obciążenia odbiornika hydraulicznego na zmiany natężenia przepływu kierowanego do niego; [2]

Kompensacja niepożądanego wpływu zmian obciążenia na prędkość silnika hydrostatycznego zobrazowana jest za pomocą rysunku 8. Przy wzroście obciążenia krzywa 5 przechodzi na krzywą 5', a przy spadku na krzywą 5''. Zawór różnicowy tak steruje regulacyjną szczeliną dławiącą, aby punkt pracy układu był zawsze w tym samym miejscu o współrzędnej, a współrzędna przepływowa była zawsze równa Q_s .



Rys. 8. Charakterystyka układu z regulacją dławieniową szeregową z użyciem dwudrogowego regulatora przepływu; [2]

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z działaniem prostych układów hydrostatycznych sterowanych w sposób dławieniowy szeregowy oraz wyznaczenie dla jednego z układów zależności między prędkością silnika hydrostatycznego, a sprawnością całkowitą układu.

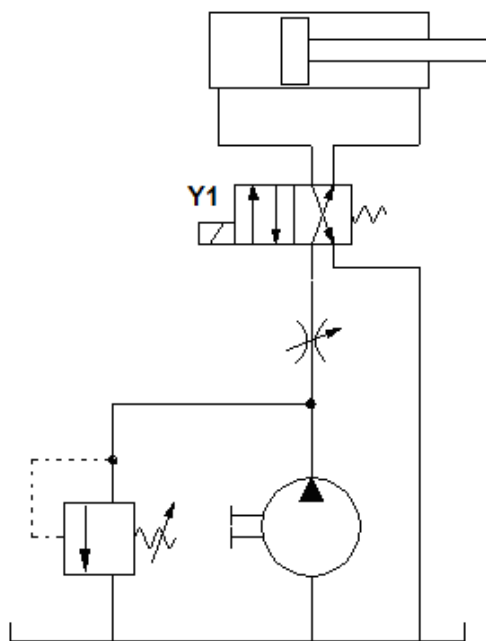
Przebieg ćwiczenia

Podczas realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

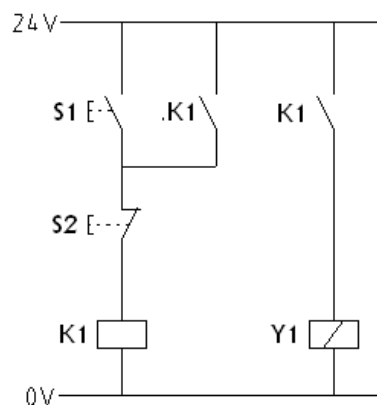
1. Zmontować układ hydrauliczny przedstawiony na rysunku 9, wraz z połączeniami elektrycznymi znajdującymi się na rysunku 10. Zaobserwować zmiany prędkości silownika wraz ze zmianą szczeliny dławiącej nastawnego zaworu dławiącego oraz zmianą ciśnienia otwarcia zaworu przelewowego.
2. Zmontować układ hydrauliczny przedstawiony na rysunku 11, wraz z połączeniami elektrycznymi znajdującymi się na rysunku 12. Przeanalizować którądy porusza się ciecz trzech różnych położzeń rozdzielacza. Czy jest to układ z dławieniem na dopływie, czy odpływie? Zaobserwować zmiany prędkości silownika wraz ze zmianą szczeliny dławiącej nastawnego zaworu dławiącego oraz zmianą ciśnienia otwarcia zaworu przelewowego.
3. Zmontować układ hydrauliczny przedstawiony na rysunku 13. Zaobserwować zmiany prędkości silownika wraz ze zmianą szczeliny dławiącej nastawnego zaworu

dławiącego oraz zmianą ciśnienia otwarcia zaworu przelewowego. Wykonać następujące czynności:

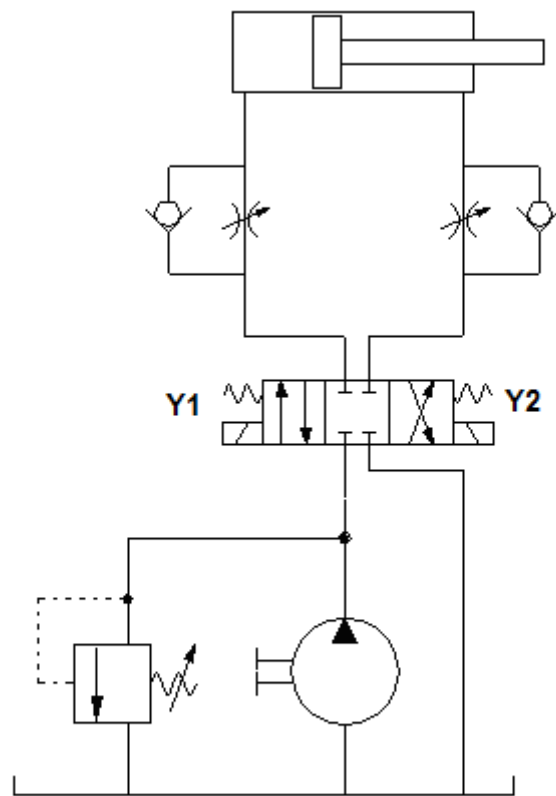
- 3a. Nastawić szczelinę dławiącą zaworu dławiącego na maksymalną.
- 3b. Zmierzyć za pomocą tachometru prędkość obrotową silnika (wartość wskazania należy podzielić przez sześć)
- 3c. Zmierzyć ciśnienie za pompą p_p oraz przed silnikiem hydrostatycznym p_s .
- 3d. Zmierzyć czas zmiany napełnienia się zbiornika o określonej wartości (na przykład 0,5 litra). Dzieląc zmianę objętości przez czas obliczyć przepływ.
- 3e. Punkty 3a do 3d wykonywać dla różnych nastaw szczeliny dławiącej tak długo aż zawór dławiający ulegnie całkowitemu zamknięciu.
- 3f. Punkty 3a do 3e wykonywać dla trzech różnych nastaw ciśnienia otwarcia zaworu przelewowego.



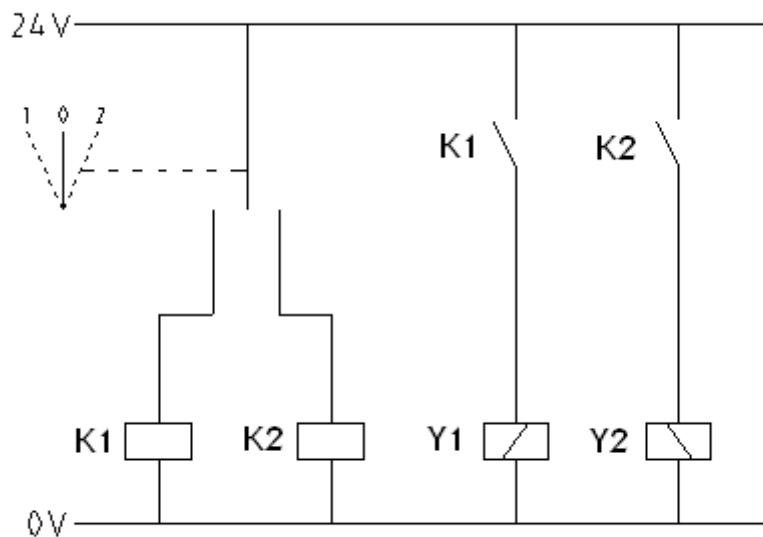
Rys. 9. Schemat hydrauliczny układu pierwszego



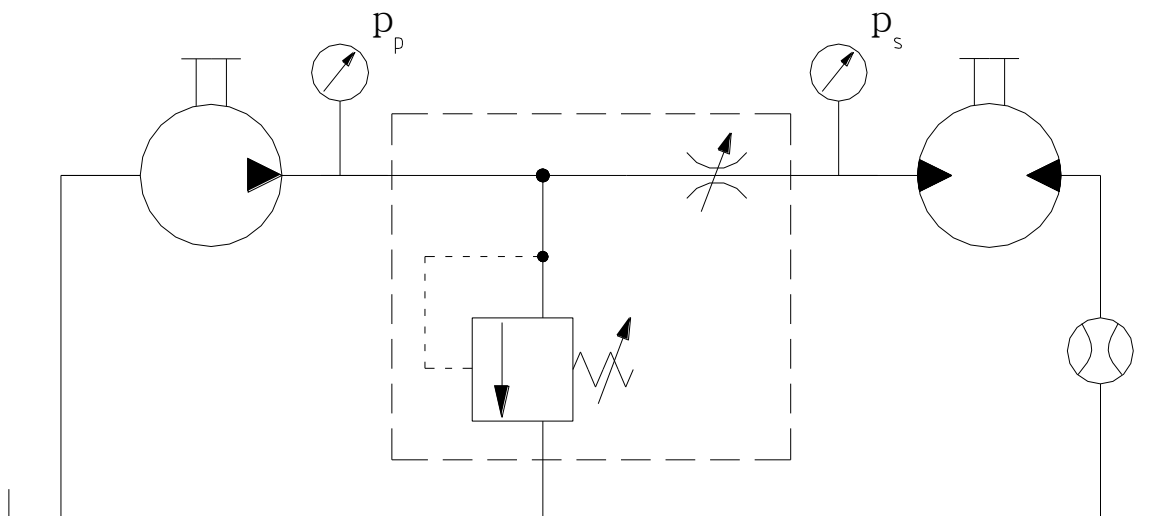
Rys. 10. Schemat elektryczny układu pierwszego



Rys. 11. Schemat hydrauliczny układu drugiego



Rys. 12. Schemat elektryczny układu drugiego



Rys. 13. Schemat hydrauliczny układu trzeciego

Wytyczne do sprawozdania

W sprawozdaniu powinien znaleźć się krótki opis działania każdego z montowanych na zajęciach układów hydrostatycznych. Dla układu z rysunku 13 należy sporządzić wykres zależności między prędkością obrotową silnika hydrostatycznego zmierzoną tachometrem, a sprawnością układu dla trzech różnych nastaw ciśnienia otwarcia zaworu przelewowego.

Do obliczeń należy przyjąć następujące dane:

- Obroty pompy $n_p=1500$ obr/min
- Najmniejsza wydajność jednostkowa pompy (przy maksymalnym ciśnieniu równym 7MPa) $q_p=4,3$ cm³/obr
- Chłonność jednostkowa silnika $q_s=5$ cm³/obr

W tabeli pomiarowej powinny znaleźć się dla każdego punktu pomiarowego następujące wielkości:

- Ciśnienie za pompą p_p [MPa]
- Ciśnienie przed silnikiem p_s [MPa]
- Prędkość obrotowa silnika hydrostatycznego n_s [obr/min] odczytana z tachometru.
- Wzrost objętości zbiornika V [dm³]
- Czas po którym nastąpiła zmiana objętości t [s]
- Natężenie przepływu ciecży wypływającej ze zbiornika Q_s [dm³/min] liczone ze wzoru:

$$Q_s = \frac{V}{t}$$

g) Natężenie przepływu cieczy płynącej przez zawór przelewowy Q_{ZP} [dm³/min] liczone ze wzoru:

$$Q_{ZP} = Q_p - Q_s, \text{ gdzie } Q_p \text{ można policzyć ze wzoru: } Q_p = n_p q_p$$

h) Moc wejściowa do układu podawana przez pompę N_w [kW], liczona ze wzoru:

$$N_w = p_p Q_p$$

i) Moc wyjściowa z układu wykorzystywana przez silnik N_u [kW]

$$N_u = p_s Q_s$$

j) Sprawność układu η podawana w procentach liczona ze wzoru:

$$\eta = \frac{N_u}{N_w} * 100\%$$

W sprawozdaniu należy sporządzić jeden wykres, na którym mają być przedstawione trzy krzywe obrazujące zależność między sprawnością, a prędkością obrotową silnika dla różnych nastaw zaworu przelewowego. Sprawozdanie należy wykonać w formie elektronicznej i zakończyć je wnioskami.

Uwaga!!!

Wszystkie obliczenia powinny być wykonywane po sprowadzeniu jednostek do układu SI.

Problem do rozważenia podczas wykonywania sprawozdania: Czy przepływ przez zawór przelewowy może być ujemny? Jak jest przyczyna, że z obliczeń może wyjść ujemny przepływ przez zawór przelewowy?

Literatura

1. Stryczek S.: Napęd hydrostatyczny, tom I elementy Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 2003
2. Stryczek S.: Napęd hydrostatyczny, tom II układy Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Warszawa 2003