

Zajęcia laboratoryjne

Napęd Hydrauliczny

Instrukcja do ćwiczenia nr 10

Badania porównawcze układów sterowania i regulacji prędkości odbiornika hydraulicznego

Opracowanie: H. Kuczvara, Z. Kudźma, P. Osiński, J. Rutański, M. Stosiak,

Wrocław 2016

Spis treści

Wstęp teoretyczny	3
1. Sterowanie	3
1.1 Sterowanie a regulacja	3
1.2 Metody sterowania prędkością odbiornika hydraulicznego	2
1.3 Sterowanie objętościowe	4
1.4 Sterowanie dławieniowe	4
2. Zawory	5
3. Regulatory	5
3.1 Regulatory dwudrogowe i trójdrogowe	5
3.1.1. Regulator dwudrogowy	5
3.1.2. Regulator trójdrogowy	7
4. Sterowanie dławieniowe a regulacja dławieniowa	8
4.1 Sterowanie dławieniowe szeregowo	9
4.2 Regulacja dławieniowa szeregowo	9
4.3 Sterowanie dławieniowe równoległe	9
4.4 Sterowanie dławieniowa równoległa	10
Część praktyczna	10
Bibliografia	14

Wstęp teoretyczny

1. Sterowanie

1.1. Sterowanie a regulacja

Sterowaniem nazywa się określoną nastawę wielkości wyjściowej, która charakteryzuje dany przebieg lub proces za pomocą odpowiedniego sygnału wejściowego.

Regulacja natomiast jest szczególnym przypadkiem sterowania. Jest to proces, w którym zadana wielkość wejściowa jest porównywana z wielkością wyjściową, a w momencie wystąpienia różnicy między tymi sygnałami, następuje przesterowanie dążące do jej likwidacji. Aby możliwe było porównanie sygnału wyjściowego z wejściowym, konieczne jest zastosowanie tzw. sprzężenia zwrotnego, przez co układ otrzymuje informację o własnym stanie.

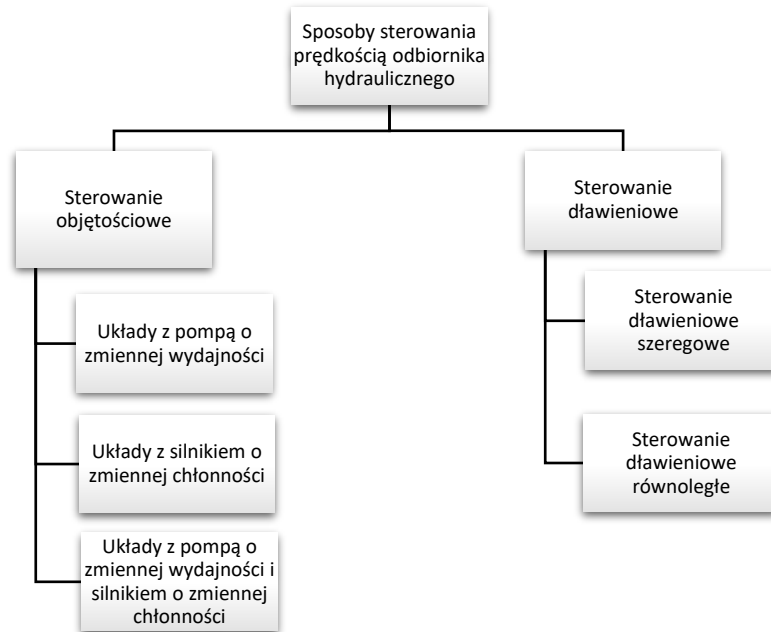
W związku z tym, o sterowaniu prędkością hydraulicznego elementu wykonawczego mówimy wtedy, gdy w układzie możliwe jest sterowanie natężeniem przepływu. Zastosowanie regulatora przepływu sprowadza się do pojęcia regulacji. Podział ten spowodowany jest istnieniem nierównomiernego obciążenia odbiornika, co wymaga innego spojrzenia na technikę dławieniową.

1.2. Metody sterowania prędkością odbiornika hydraulicznego.

Prędkość odbiornika hydraulicznego w hydrostatycznych układach napędowych, zarówno silnika jak i siłownika, zależy od natężenia przepływu i parametrów konstrukcyjnych tego odbiornika. Dlatego też zmiana prędkości odbiornika zależna jest od zmiany natężenia przepływu. Zmiana parametrów konstrukcyjnych (np. chłonności silnika) również jest możliwa, używana jednak rzadziej, do specjalnych zastosowań.

Aby możliwe było sterowanie prędkością tłoczyska siłownika lub wału silnika hydraulicznego, konieczne jest zastosowanie w układzie generatora o zmiennej wydajności lub zaworów umożliwiających ciągłą zmianę natężenia przepływu cieczy. W pierwszym przypadku mówimy o sterowaniu objętościowym, natomiast w drugim o dławieniowym.

Podział sposobów sterowania prędkością odbiornika hydraulicznego obrazuje poniższy schemat.



Rys 1. Podział sposobów sterowania prędkością odbiornika hydraulicznego.

1.3. Sterowanie objętościowe

Sterowanie objętościowe można zastosować zarówno w przypadku, gdy odbiornikiem jest silnik hydrauliczny, jak i siłownik. Zmianę prędkości ruchu siłownika możemy uzyskać jedynie poprzez zmianę wydajności pompy, co wymaga zastosowania w układzie pompy o zmiennym wydatku. Natomiast, gdy odbiornikiem jest silnik hydrauliczny możliwe jest sterowanie prędkością obrotową wału w sposób trojaki:

- przez zmianę wydajności pompy (silnik i stałej chłonności),
- przez zmianę chłonności silnika hydraulicznego (pompa o stałej wydajności),
- przez zmianę wydajności pompy i chłonności silnika hydraulicznego.

Sterowanie objętościowe charakteryzuje się wysoką sprawnością, gdyż całkowity strumień cieczy pochodzący z generatora (pomijając straty objętościowe na elementach) jest dostarczany do odbiornika, natomiast ciśnienie obciążające pompę wynika z obciążenia odbiornika. Z kolei wadą sterowania objętościowego jest cena i ciężar generatora o nastawialnej wydajności, w stosunku do generatora o stałej wydajności (jest on, co najmniej pięciokrotnie droższy i trzykrotnie cięższy).

1.4. Sterowanie dławieniowe

W sterowaniu dławieniowym, jak już wcześniej wspomniano, wykorzystywane są zawory umożliwiające odprowadzenie części generowanego strumienia, bezpośrednio do zbiornika. Pozostała część wpływa do odbiornika nadając mu wymaganą prędkość. Stąd też, z powodu zwiększonych strat mocy, takie układy charakteryzują się zdecydowanie niższą sprawnością od opisanych powyżej.

Mimo niskiej sprawności układów o sterowaniu dławieniowym są one powszechnie stosowane w hydraulicznych układach napędowych małych mocy, w których ruch elementów

odbywa się rzadko i jest to ruch przerywany. Wynika to z prostoty, niezawodności i niskiej ceny tego rozwiązania.

2. Zawory

W przypadku sterowania dławieniowego w układzie zastosowane powinny być dwa zawory. Pierwszy to zawór maksymalny, pełniący różne funkcje w sterowaniu szeregowym i równoległym – w szeregowym jest on zaworem przelewowym. Zawór maksymalny bezpośredniego działania pozwala na przepływ dopiero w momencie, gdy przekroczone zostanie graniczne ciśnienie, tzw. ciśnienie otwarcia. Podczas sterowania równoległego zawór maksymalny jest zaworem bezpieczeństwa i podczas normalnej pracy powinien być zamknięty.

Drugi zawór to zawór nastawny dławiący. Wykorzystuje on zjawiska związane z przepływem cieczy przez różnego rodzaju szczeliny dławiące. W szczelinie takiej zawsze następuje spadek ciśnienia ściśle związany z natężeniem przepływu. Poniższe wzory obrazują te zależności.

Przepływ laminarny

$$Q = k_l f_d \Delta p \quad (1)$$

Przepływ burzliwy

$$Q = k_l f_d \sqrt{\Delta p} \quad (2)$$

k_l – współczynnik zależny od kształtu gniazda i trzpienia oraz od własności cieczy

f_d – pole powierzchni szczeliny

Δp – różnica ciśnień przed i za zaworem

Warto dodać, że w większości zaworów dławiących występuje przepływ zbliżony do burzliwego. Pole powierzchni szczeliny zależy od ustawienia trzpienia, czyli od tego, co ustawimy pokrętkiem na zaworze. Jeżeli między drogą wejściową a wyjściową zaworu dławiącego będzie utrzymywana stała różnica ciśnień Δp , to we wzorach jedyną zmienną będzie pole powierzchni szczeliny, co oznacza, że poprzez zmiany przesunięcia trzpienia zaworu będzie można sterować natężeniem przepływu. To tłumaczy istotę sterowania dławieniowego.

3. Regulatory

3.1. Regulatory dwudrogowe i trójdrogowe

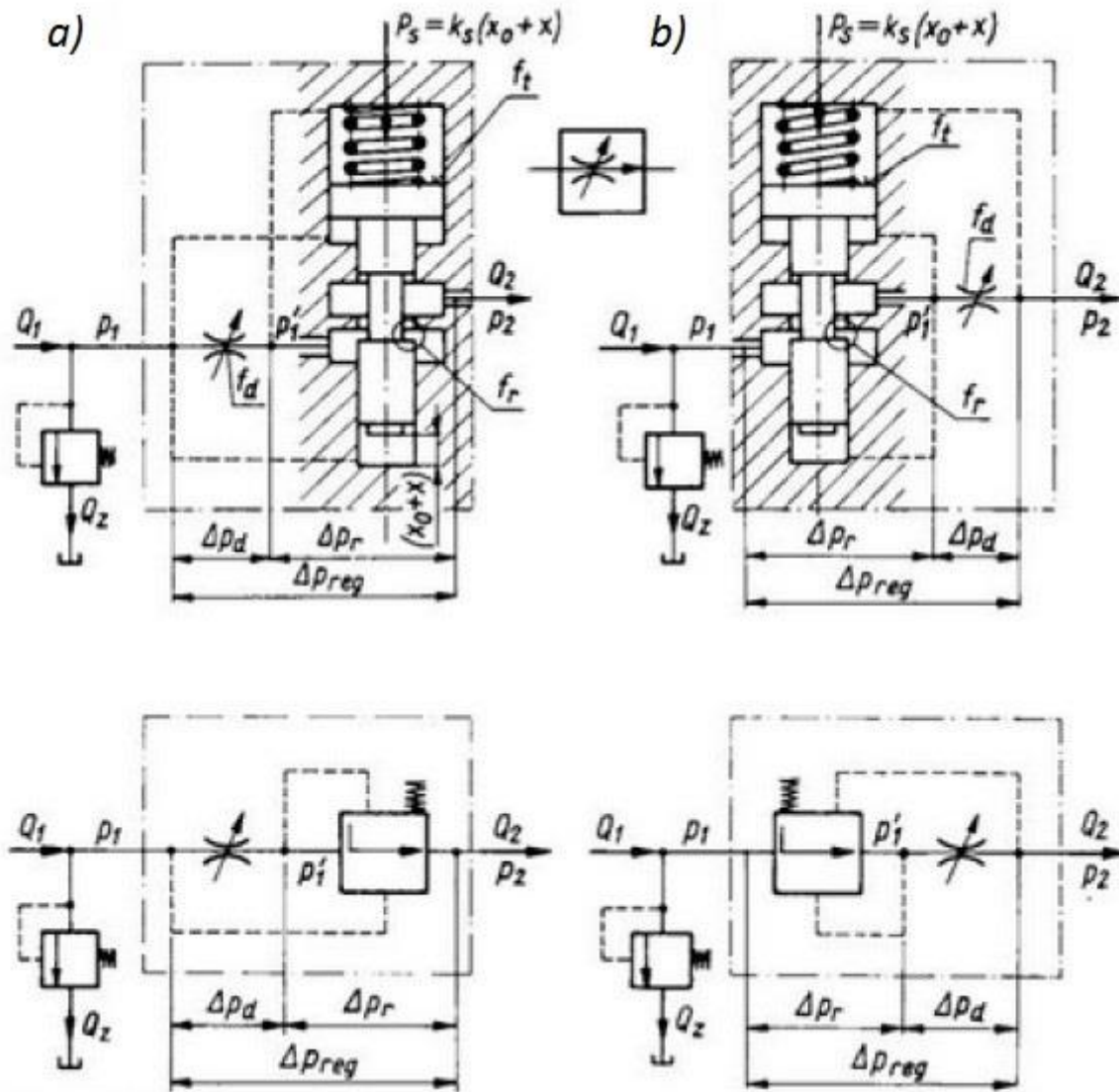
Regulatory dwudrogowe i trójdrogowe są regulatorami przepływu, których zadaniem jest samoczynne dławienie ciśnienia tak, aby niezależnie od obciążenia odbiornika ich przepustowość była stała.

3.1.1. Regulator dwudrogowy

Regulator dwudrogowy składa się z zaworu dławiącego oraz zaworu różnicowego, połączonych ze sobą szeregowo (jak na rysunku). Jego działanie polega na tym, aby niezależnie od ciśnienia p_2 utrzymać stałą wartość natężenia Q_2 na wyjściu. Strumień Q_1 jest strumieniem zasilającym regulator przy stałej wartości ciśnienia p_1 . Jego natężenie nastawia się za pomocą zaworu przelewowego. Strumień ten rozdziela się na strumień użyteczny Q_2 , który przepływa przez regulator, oraz strumień Q_z , który przez zawór przelewowy przepływa do zbiornika. Zależność między wartościami natężenia tych strumieni przedstawia wzór:

$$Q_1 = Q_2 + Q_z \quad (3)$$

Żeby układ działał prawidłowo, spełniony musi być następujący warunek: źródło, którym zasilany jest dany układ, musi mieć wydajność (Q_1) większą niż natężenie przepływu strumienia użytecznego (Q_2). Na wartość tego natężenia wpływ ma przede wszystkim zawór dławiący, który przy pomocy zaworu różnicowego utrzymuje stałą wartość spadku ciśnienia Δp_d .



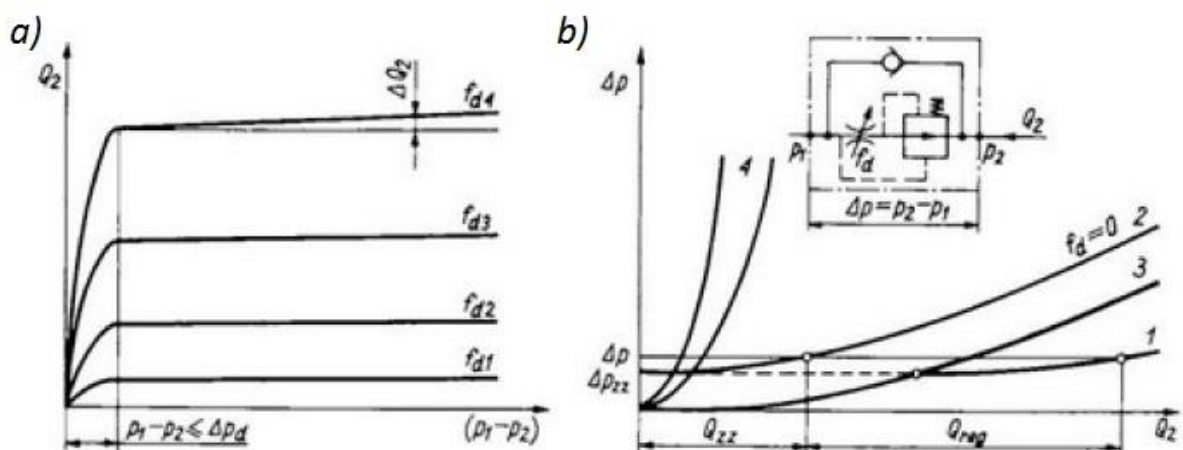
Rys. 2. Schematy konstrukcyjne i symbole graficzne dwudrogowych regulatorów przepływu: a) z zaworem różnicowym na wyjściu, b) z zaworem różnicowym na wejściu [1].

Zawór dławiący i zawór różnicowy mogą być ustawione względem siebie w dwóch konfiguracjach: zawór różnicowy na wyjściu lub zawór różnicowy na wejściu, jednak nie ma to wpływu na zasadę działania regulatora. Różnica występuje natomiast w temperaturze cieczy. W przypadku pierwszego układu temperatura czynnika, który dopływa do zaworu dławiącego, nie zależy od zmian obciążenia, a co za tym idzie jest bardziej stabilna. Sprawia to, że ten układ jest znacznie korzystniejszy od drugiej konfiguracji, w której zmiany obciążenia zmieniają spadek ciśnienia na zaworze różnicowym, co bezpośrednio wpływa zarówno na temperaturę cieczy, jak i natężenie przepływu strumienia Q_2 .

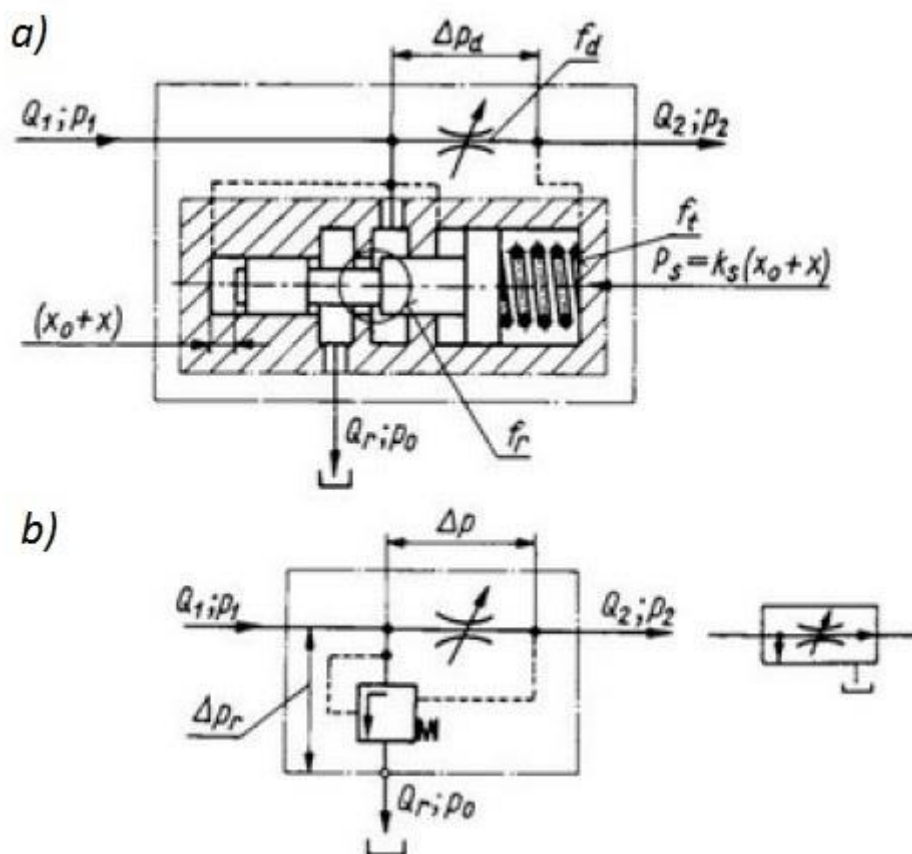
Na rysunku poniżej przedstawiono przykładowe charakterystyki $Q_2=f(p_1-p_2)$ regulatora nastawnego dla kilku wartości pola przekroju szczeliny f_d zaworu dławiącego. Istotnym jest fakt, że działanie regulatora uzasadnione jest dopiero w momencie, gdy $(p_1-p_2) \geq \Delta p_d$. Dzieje się tak, ponieważ w przypadku, gdy $(p_1-p_2) < \Delta p_d$, różnica ciśnień na zaworze dławiącym jest zbyt mała, by regulator działał poprawnie. Na wykresie zaznaczono odchylenie charakterystyki od poziomu ΔQ_2 , które jest wartością błędu regulacji.

3.1.2. Regulator trójdrogowy

Regulator trójdrogowy składa się z tych samych elementów, tj. zaworu dławiącego i różnicowego, z tą różnicą, że są one połączone ze sobą równolegle (jak na rysunku). Strumień Q_1 , doprowadzony od źródła zasilającego, tak jak w poprzednim przypadku zostaje podzielony na strumień użyteczny Q_2 oraz na strumień Q_r . W tym regulatorze jednak za odprowadzenie strumienia Q_r odpowiada zawór różnicowy, który w tym układzie pełni również rolę zaworu przelewowego.



Rys. 3. Charakterystyki regulatorów przepływu: a) przepływowe, b) oporów przepływu [1].



Rys. 4. Trójdrogowy regulator przepływu: a) schemat konstrukcyjny, b) symbole graficzne: szczegółowy i uproszczony [1].

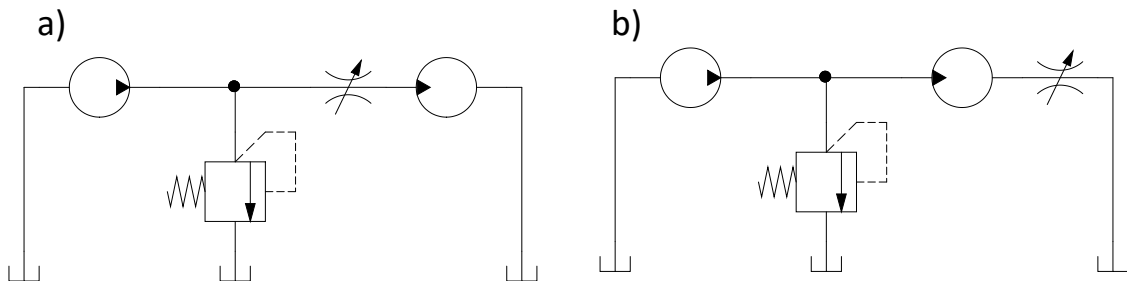
Podobnie jak w przypadku regulatora dwudrogowego, aby układ działał poprawnie spełniony musi być warunek $Q_1 > Q_2$. Charakterystyki przepływu dla regulatora trójdrogowego są analogiczne jak dla regulatora dwudrogowego.

4. Sterowanie dławieniowe a regulacja dławieniowa

Zasada pracy regulacji dławieniowej i układów sterowania oraz ich sprawność zależą od umiejscowienia zaworu dławiącego lub regulatora przepływu w stosunku do silnika. Jeżeli jeden z tych elementów jest ustawiony w linii pompa-silnik-zbiornik, wówczas mówi się o sterowaniu lub regulacji dławieniowej szeregowej, jeżeli jednak zawór dławiący zostanie umieszczony w odgałęzieniu przewodu łączącego generator z silnikiem, a więc równolegle z nim w stosunku do generatora, jako źródła zasilającego, mamy do czynienia z układem ze sterowaniem dławieniowym równoległym. Jeżeli z kolei zamienimy zawór dławiący na regulator przepływu dwu- lub trzydrogowy, mówimy wówczas o regulacji dławieniowej.

4.1. Sterowanie dławieniowe szeregowe

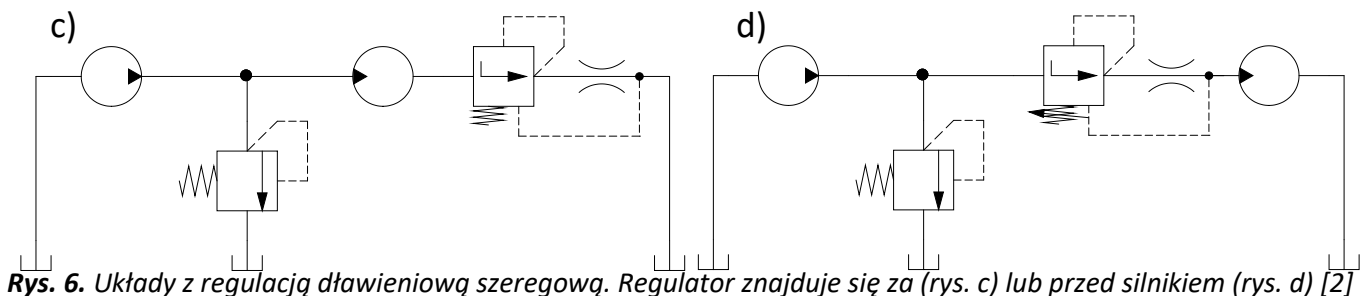
Jak już wspomniano wcześniej, sterowanie dławieniowe szeregowe występuje wówczas, gdy zawór dławiący zostanie ustawiony w linii pompa-silnik-zbiornik. Układ taki umożliwia dowolną nastawę prędkości obrotowej od zera do wartości maksymalnej, którą uzyskujemy przez pełne otwarcie zaworu dławiącego.



Rys. 5. Układy sterowane szeregowo z dławieniem na wejściu (rys. a) lub na wyjściu silnika (rys. b) [2].

4.2. Regulacja dławieniowa szeregową

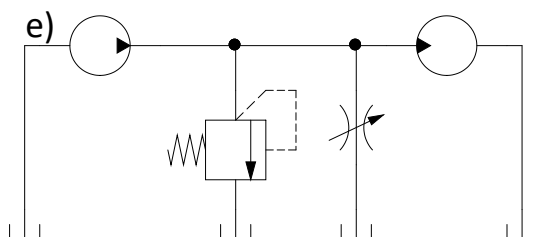
Jeżeli układ wyposażony jest w regulator przepływu dwudrogowy uzyskuje się możliwość stabilizacji silnika na zadanym poziomie. Taki typ układu nazywamy układem z regulacją dławieniową szeregową.



Rys. 6. Układy z regulacją dławieniową szeregową. Regulator znajduje się za (rys. c) lub przed silnikiem (rys. d) [2]

4.3. Sterowanie dławieniowe równoległe

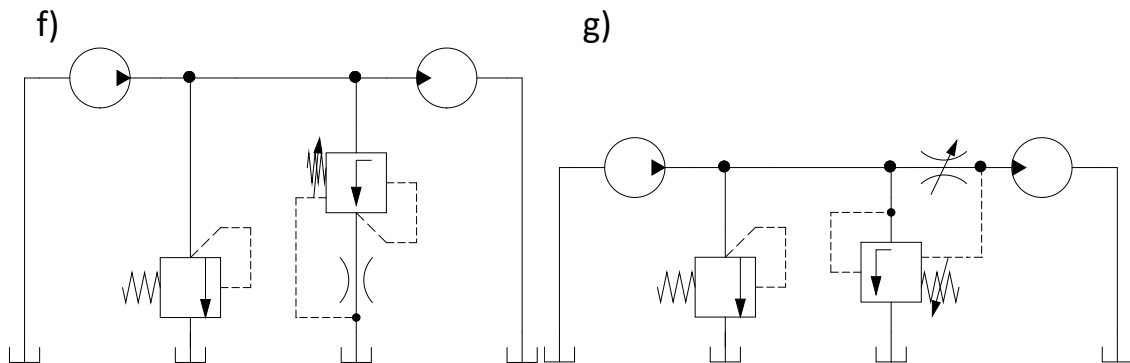
W przypadku, gdy zawór dławiący zostanie umieszczony w odgałęzieniu przewodu łączącego generator z silnikiem, a więc równoległe z nim w stosunku do generatora, taki układ nazywamy układem ze sterowaniem dławieniowym równoległym.



Rys. 7. Układ z zaworem dławiącym umieszczonym równoległe do silnika (rys. e)

4.4. Regulacja ciśnieniowa równoległa

W sytuacji, gdy w układzie zamiast zaworu ciśnieniowego zainstalujemy regulator przepływu dwudrogowy otrzymujemy układ z regulacją ciśnieniową równoległą (rys. f). To rozwiązanie pozwala na ustalanie prędkości obrotowej silnika. Istnieje również możliwość zastosowania w linii zasilającej regulatora przepływu trójdrogowego (rys. g).

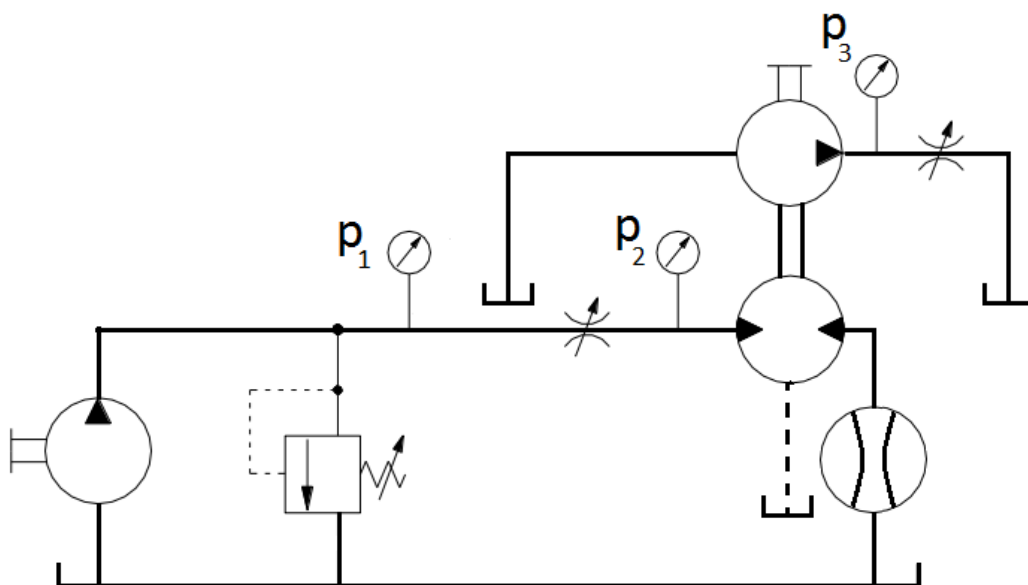


Rys. 8. Układ regulacji ciśnieniowej równoległej z zastosowaniem regulatora przepływu dwudrogowego (rys. f) oraz regulatora przepływu trójdrogowego (rys. g)

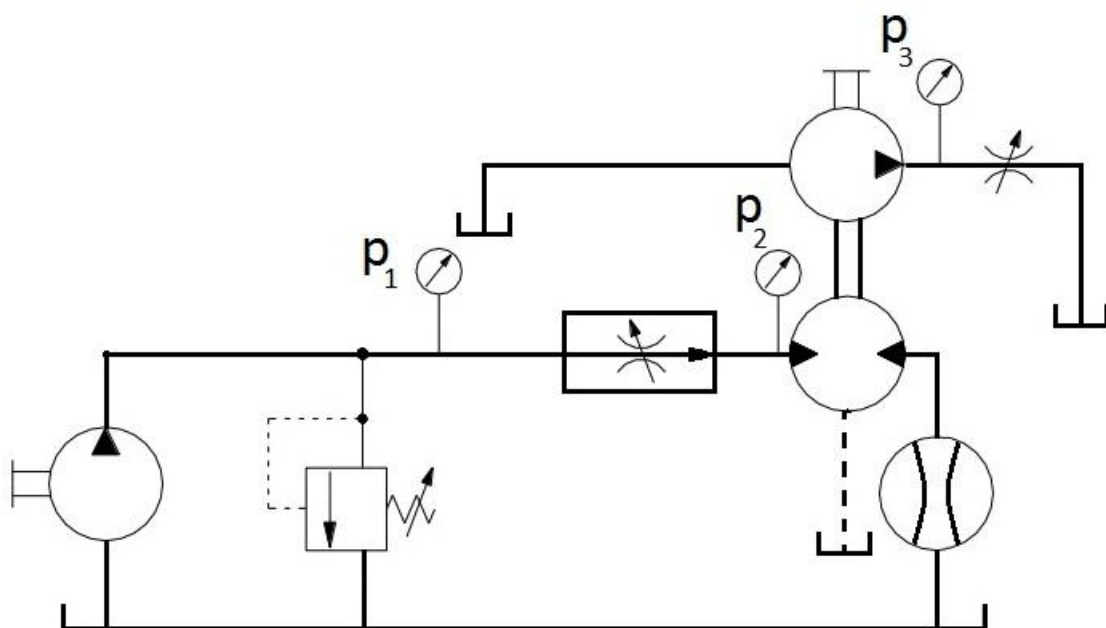
Część praktyczna

Cel ćwiczenia

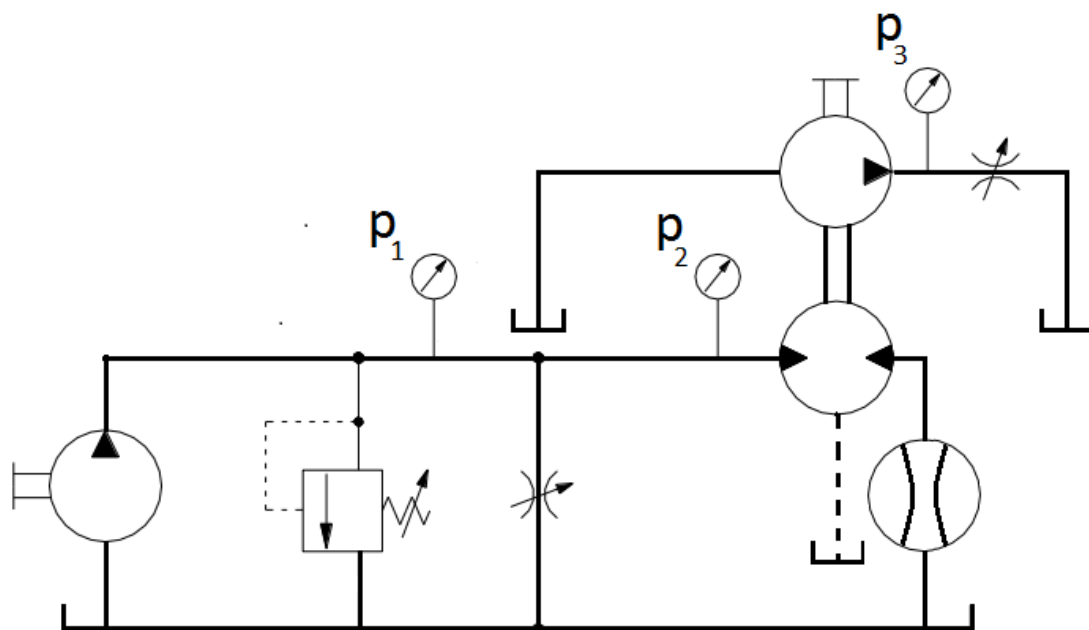
Istotą laboratorium jest porównanie układu sterowanego z regulowanym. Aby tego dokonać, układ szeregowy i/lub równoległy (rysunki 9-12) steruje się najpierw zaworem ciśnieniowym, a następnie reguluje dwudrogowym regulatorem. Obydwa układy poddaje się zmiennemu obciążeniu przy stałej wartości nastawy zaworu ciśnieniowego i regulatora. W sprawozdaniu należy porównać wartość uchybu od wartości przy zerowym obciążeniu dla regulacji i sterowania.



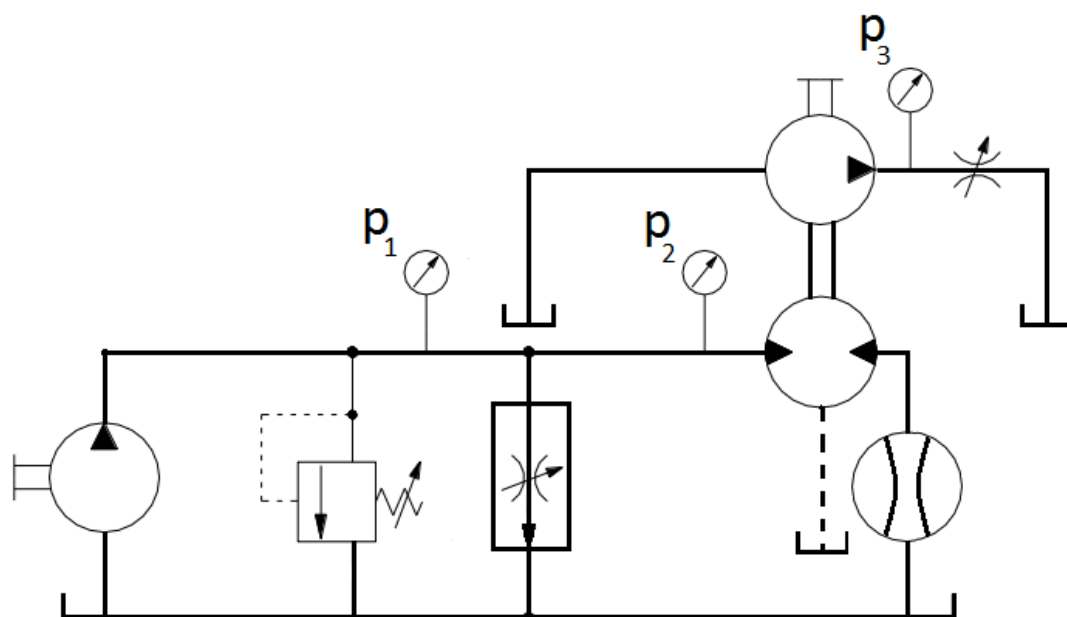
Rys. 9. Schemat układu hydraulicznego do badań sprawności w sterowaniu ciśnieniowym szeregowym.



Rys. 10. Schemat układu hydraulicznego do badań sprawności w regulacji dwudrogowym regulatorze przepływu w połączeniu szeregowym.



Rys. 11. Schemat układu hydraulicznego do badań sprawności w sterowaniu dławieniowym równoległym.



Rys. 12. Schemat układu hydraulicznego do badań sprawności w regulacji dwudrogowym zaworem przepływu w połączeniu równoległym.

Przebieg ćwiczenia

Podczas realizacji ćwiczenia należy wykonać następujące czynności:

Zmontować układy hydrauliczne przedstawione na rysunkach 9 oraz 10 (połączenia szeregowe z wykorzystaniem zaworu dławiącego i dwudrogowym regulatorem przepływu). Zaobserwować uchyb dla poszczególnych układów. Następnie (jeżeli wystarczy czasu) zmontować układy przedstawione na rysunkach 11 oraz 12 (połączenia równoległe) i również porównać uchyby tych układów przy zastosowaniu zaworu dławiącego i dwudrogowego regulatora przepływu.

Po zmontowaniu układu należy wykonać następujące czynności:

1. Otworzyć zawór przeznaczony do obciążania silnika.
2. Nastawić szczelinę zaworu służącego do sterowania prędkością na maksymalną.
3. Uruchomić układ.
4. Zamknąć zawór służący do sterowania/regulacji prędkością.
5. Ustawić ciśnienie obciążenia na wartość 1,5 MPa.

6. Zmierzyć ciśnienie przy pompie p_p , ciśnienie przed silnikiem p_s , czas zmiany objętości zbiornika o określoną wartość (np 0,5 litra), aby móc obliczyć natężenie przyprływu, jaki płynie przez silnik hydrostatyczny Q_s .

7. Powtórzyć czynności z punktu 6 dla wartości ciśnienia obciążenia 2 MPa, 2,5 MPa oraz 3 MPa przy stałej nastawie zaworu służącego do sterowania/regulacji prędkości.

Wytyczne do sprawozdania

Należy sporządzić wykres zależności między ciśnieniem obciążenia a prędkością obrotową silnika hydrostatycznego dla układu ze sterowaniem oraz regulacją.

Do obliczeń należy przyjąć chłonność jednostkową silnika $q_s = 5 \text{ cm}^3/\text{obr}$

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

- a) Ciśnienie za pompą p_p [MPa]
- b) Ciśnienie przed silnikiem p_s [MPa]
- c) Moment obciążenia silnika M_s [Nm] liczony ze wzoru:

$$M = \frac{q_s p_s}{2\pi} \quad (4)$$

- d) Wzrost objętości zbiornika V [dm³]
- e) Czas po którym nastąpiła zmiana objętości t [s]
- f) Natężenie przepływu cieczy wypływającej ze zbiornika Q_s [dm³/min] liczone ze wzoru:

$$Q_s = \frac{V}{t} \quad (5)$$

- g) Prędkość obrotowa silnika hydrostatycznego n_s [obr/min] obliczona ze wzoru:

$$n = \frac{Q_s}{q_s} \quad (6)$$

W sprawozdaniu należy sporządzić wykres, na którym mają być przedstawione krzywe obrazujące zależność między obciążeniem a prędkością obrotową silnika dla danych parametrów nastawy sterowania/regulacji. Sprawozdanie należy zakończyć wnioskami.

Bibliografia:

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
3. Pizoń A.: *Hydrauliczne i elektrohydrauliczne układy sterowania i regulacji*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1987
4. Tomasiak E.: *Napędy i sterowania hydrauliczne i pneumatyczne*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001