

Ćwiczenie Nr 2

Temat: **Zaprojektowanie i praktyczna realizacja prostych hydraulicznych układów sterujących i napędów**

1. Wprowadzenie

Sterowanie prędkością tłoczyska siłownika lub wału silnika hydraulicznego wymaga zastosowania w układzie jednego z zaworów umożliwiających zmianę natężenia przepływu cieczy albo pompy wyporowej o zmiennej wydajności. W pierwszym przypadku otrzymujemy układ dławieniowego, a w drugim objętościowego sterowania prędkością.

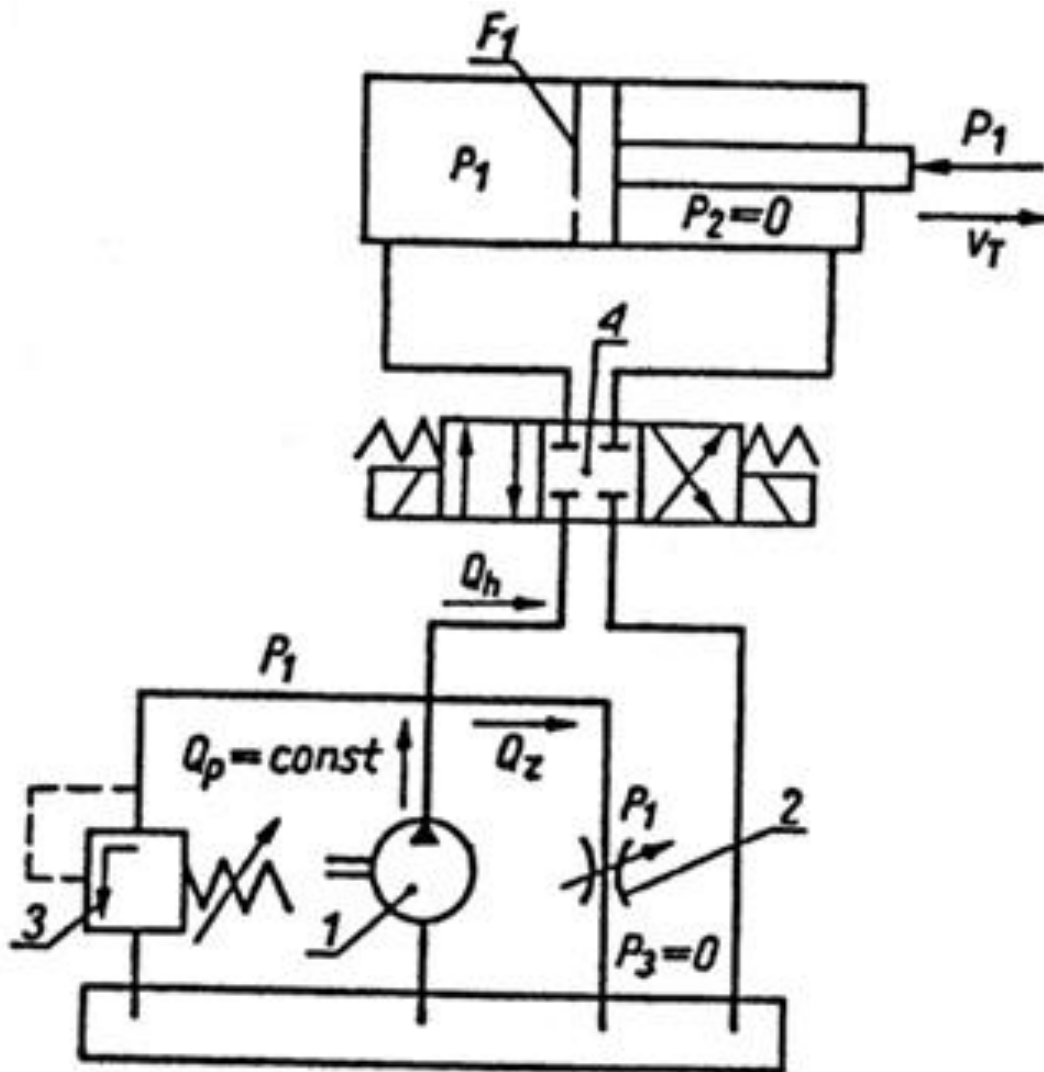
Sterowanie siłą rozwijaną przez tłoczysko siłownika lub momentem rozwijanym przez wał silnika wymaga natomiast zastosowania jednego z zaworów umożliwiających ciągłą zmianę ciśnienia w komorze siłownika lub silnika, ponieważ między siłą lub momentem a ciśnieniem zachodzą jednoznaczne relacje.

W układzie sterowania prędkością zmiana natężenia przepływu prowadzi do zmiany prędkości tłoczyska lub wału silnika, ponieważ między prędkością a natężeniem przepływu zachodzą również jednoznaczne relacje. Jako zawory z ciągłą zmianą natężenia przepływu w konwencjonalnych układach dławieniowego sterowania prędkością stosuje się zawory dławiące albo dwudrogowe regulatory przepływu. Zawór dławiący lub dwudrogowy regulator przepływu mogą być umieszczone na wlocie lub wylocie odbiornika albo w przewodzie bocznikującym pompę. W pierwszym przypadku mamy układ sterowania (dla zaworu dławiącego) lub regulacji (dla regulatora przepływu) dławieniowej szeregowej, a drugim układ sterowania lub regulacji dławieniowej równoległej, przy czym w obu przypadkach układ może być zasilany ze źródła stałego natężenia przepływu lub stałego ciśnienia.

Schemat ideowy układu dławieniowego sterowania prędkością, zasilanego ze źródła stałego natężenia przepływu, dla zaworu dławiącego umieszczonego w przewodzie bocznikującym pompę przedstawia rys.1. W układzie tym pompa 1 o stałej wydajności, jeśli pominięte zostaną straty ciśnienia na odcinku pompa – komora silnika, wytwarza zawsze ciśnienie wynikające z zewnętrznego obciążenia siłownika.

$$p_1 = \frac{P_1}{F_1}$$

Zawór bezpieczeństwa 3 zabezpiecza jedynie układ przed nadmiernym wzrostem ciśnienia i jest całkowicie zamknięty. Część wydajności Q_P pompy 1 jest odprowadzana przez zawór dławiący 2 do zbiornika, reszta – to znaczy Q_h - wpływa do komory siłownika decydując o prędkości v_T jego tłoczyska. Rozdzielacz hydrauliczny 4 służy do sterowania kierunkiem ruchu tłoczyska siłownika (wysuw lub wsuw tłoczyska).



Rys. 1. Schemat ideowy hydraulicznego układu sterowania dławieniowego zasilanego ze źródła stałego natężenia przepływu

Stan ustalony tego układu opiszemy następującymi równaniami algebraicznymi:

- równaniem bilansu natężeń przepływu

$$Q_p = Q_h + Q_z$$

- równaniem chłonności siłownika

$$Q_h = F_1 v_T$$

- równaniem natężenia przepływu cieczy odprowadzonej do zbiornika przez zawór dławiący

$$Q_z = \alpha f \sqrt{p_1}$$

gdzie:

f - przekrój szczeliny dławiącej, α - współczynnik przepływu równy

$$\mu \sqrt{2g/\gamma}$$

gdzie:

μ - współczynnik natężenia przepływu cieczy;

γ - ciężar właściwy cieczy;

g - przyspieszenie ziemskie.

Z powyższych równań otrzymamy

$$v_T = \frac{Q_p}{F_1} - \alpha f \sqrt{\frac{P_1}{F_1^3}}$$

A zatem prędkość tłoczyska siłownika jest funkcją dwu zmiennych: siły obciążającej tłoczysko P_1 i przekroju szczeliny dławiącej f .

$$v_T = \varphi(P_1, f)$$

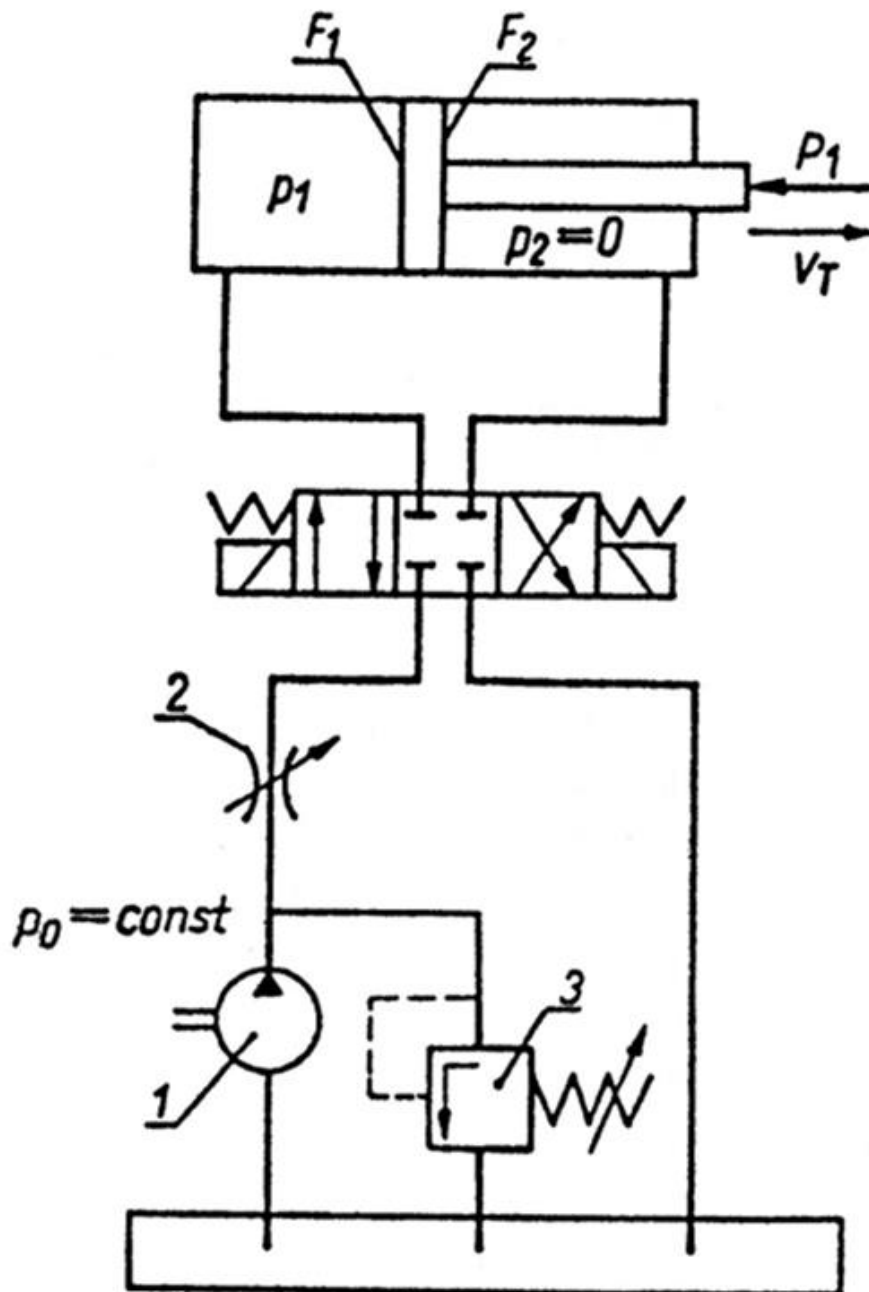
Z tego związku będącego charakterystyką statyczną omawianego układu widać, że prędkość v_T będzie tym większa, im bardziej przymknięty będzie zawór dławiący. Maksymalną prędkość otrzymamy dla zupełnie zamkniętego zaworu dławiącego ($f = 0$)

$$v_{Tmax} = \frac{Q_p}{F_1}$$

2. Układy dławieniowego sterowania prędkością

W układzie przedstawionym na rys.2 część cieczy wypływającej z pompy 1 wpływa przez zawór dławiący 2 do siłownika, decydując o prędkości tłoczyska, a część przez zawór przelewowy 3 powraca do zbiornika. Ponieważ odpływ oleju z pompy do siłownika następuje przez zawór dławiący o dużym oporze hydraulicznym, dlatego pompa pracuje przy stałym ciśnieniu p_0 ustalonym zaworem przelewowym 3. Prędkość tłoczyska może być wyznaczona ze wzoru

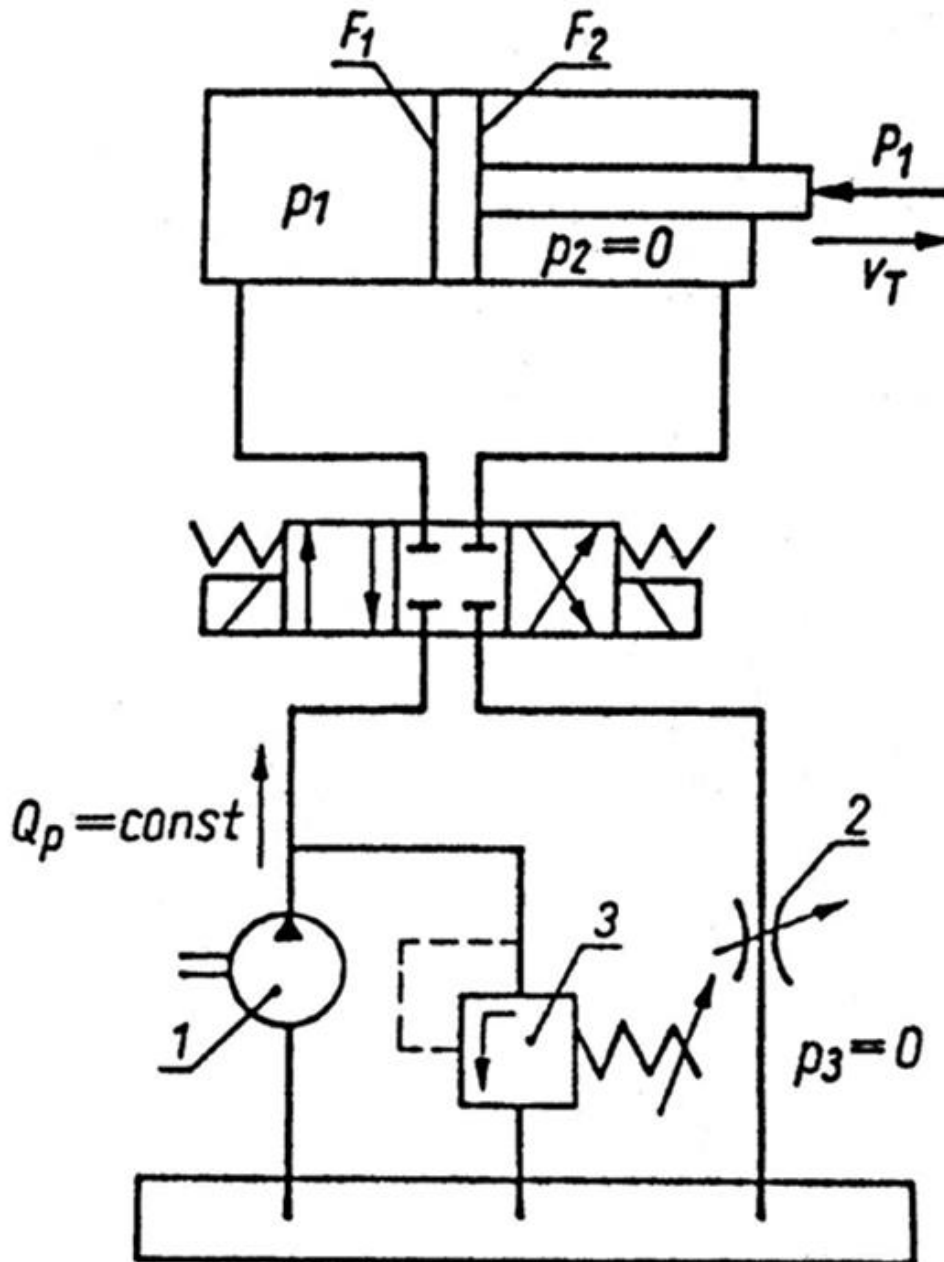
$$v_T = \frac{\alpha f}{F_1} \sqrt{p_0 - \frac{P_1}{F_1}}$$



Rys. 2. Schemat ideowy hydraulicznego dławieniowego układu sterowania prędkością z zaworem dławiącym na wlocie siłownika

Natomiast w układzie przedstawionym na rys.3, jeżeli pominięte zostaną straty ciśnienia na odcinku pompa- siłownik, pompa wytwarza ciśnienie zależne od obciążenia siłownika. Dla tego przypadku prędkość tłoczyska możemy obliczyć ze wzoru

$$v_T = \frac{\propto f \sqrt{p_2}}{F_2}$$

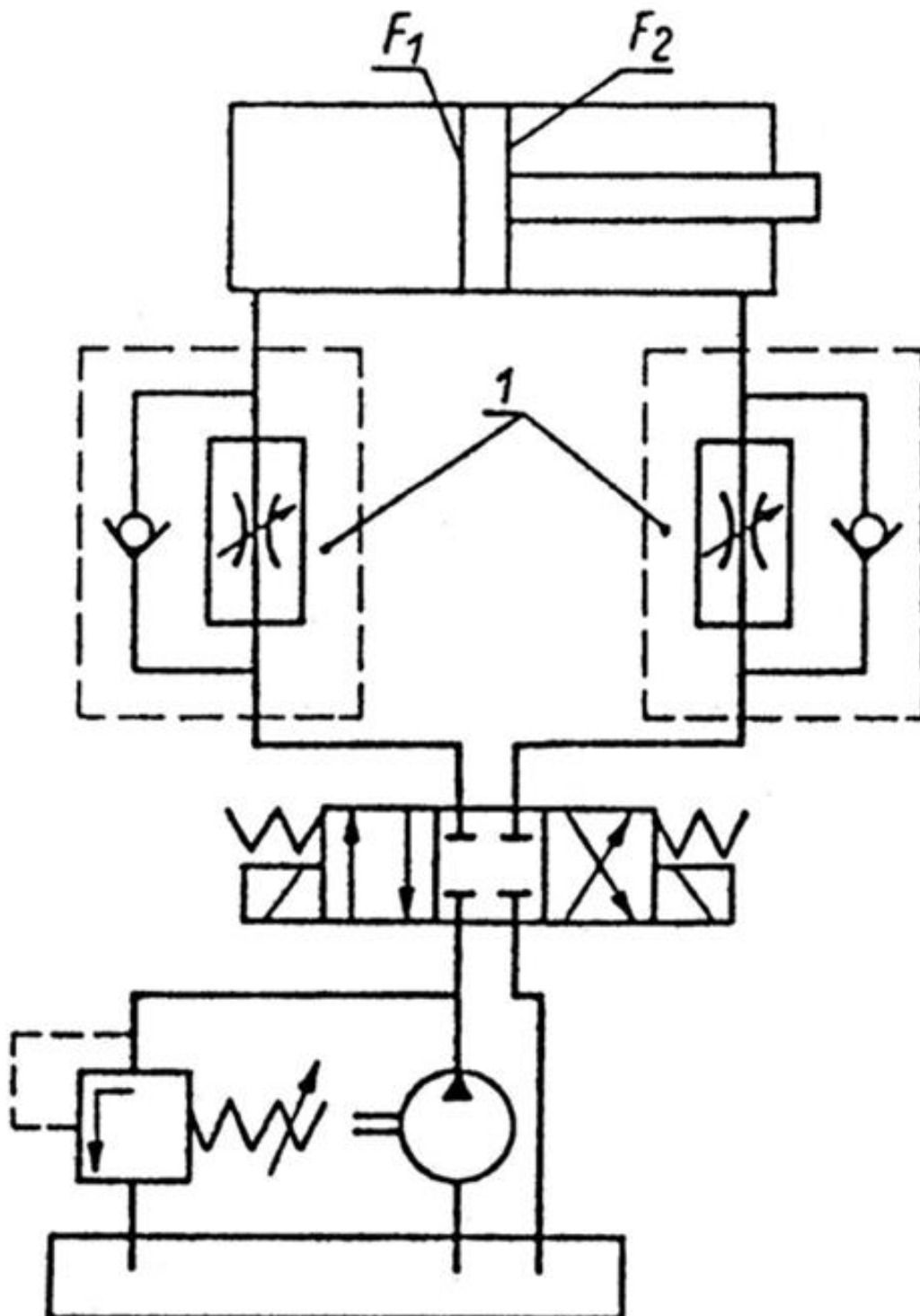


Rys. 3. Schemat ideowy hydraulicznego dławniowego układu sterowania prędkością z zaworem dławniczym na wylocie siłownika

Widzimy więc, że w przypadku umieszczenia zaworu dławnicowego na wylocie siłownika i zamkniętego zaworu bezpieczeństwa prędkość tłoczyska nie zależy od siły P_1 , a tylko od przekroju szczeliny dławniczej f , gdyż ciśnienie p_2 jest także funkcją przekroju tej szczeliny.

Przedstawione układy nie gwarantowały stałej prędkości tłoczyska siłownika przy zmiennym obciążeniu i zmiennej temperaturze oleju.

Aby wyeliminować wpływ ciśnienia i temperatury oleju na prędkość tłoczyska, stosuje się w układzie dwudrogowy regulator przepływu ze swobodnym przepływem w jednym kierunku. Schemat ideowy tego układu przedstawiono na rys.4.



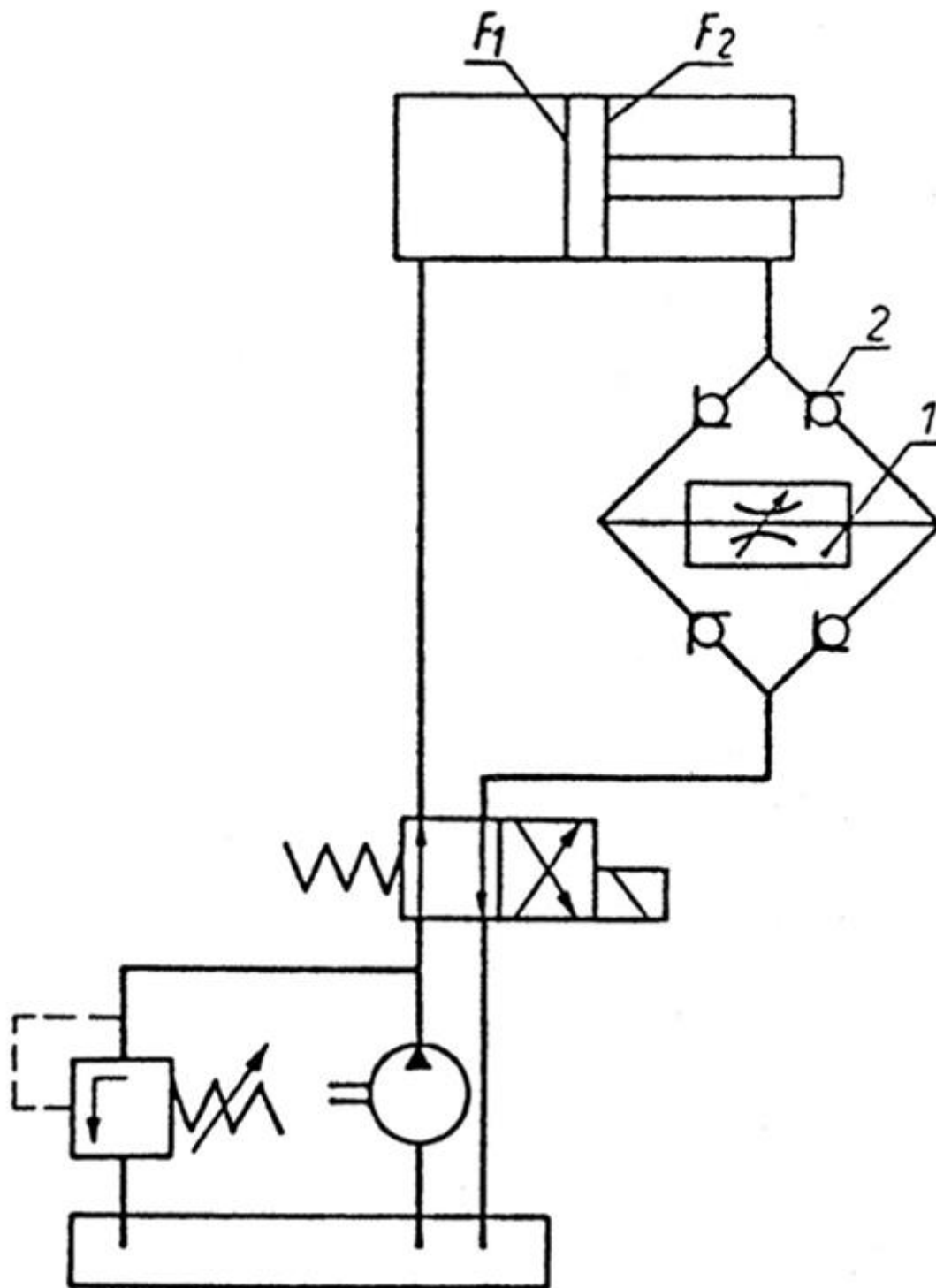
Rys. 4. Schemat ideowy hydraulicznego dławnieniowego układu sterowania prędkością z regulatorem przepływu na wylocie siłownika

W celu stworzenia możliwości sterowania prędkością tłoczyska w obydwu kierunkach jest konieczne zastosowanie dwu dwudrogowych regulatorów przepływu 1. Regulatory przepływu można zainstalować w położeniu odpowiadającym dławieniu na wlocie lub wylocie siłownika. W układzie na rys.4 dławienie ma miejsce na wylocie siłownika. W pewnych przypadkach zachodzi potrzeba uzyskania jednakowych prędkości w obydwu kierunkach ruchu tłoka siłownika z jednostronnym tłoczyskiem (różne czynne powierzchnie tłoka). Można to uzyskać przez zastosowanie układu przedstawionego na rys.5. W układzie tym zastosowano dwudrogowy regulator przepływu 1 i cztery zawory zwrotne 2, tworzące razem tak zwany hydrauliczny układ Graetza (analogia do układu prostownika elektrycznego). Regulator przepływu 1 dla wysuwu tłoczyska jest zainstalowany na wylocie siłownika, a dla wsuwu na wlocie siłownika. Dla obydwu kierunków ruchu tłoczyska kierunek przepływu oleju przez regulator 1 pozostaje nie zmieniony. Regulator przepływu oprócz umieszczenia go na wlocie lub wylocie siłownika może zostać zainstalowany w przewodzie bocznikującym pompę. (rys.6) Nastawienie prędkości w tym układzie nie jest tak dokładne jak w układach omawianych poprzednio. Ponadto nie ma możliwości niezależnego ustawiania prędkości w obydwu kierunkach ruchu tłoka. Można stosunkowo łatwo otrzymać bardzo małe prędkości tłoczyska, ponieważ dla dużych powierzchni otwarcia regulatora przepływu otrzymujemy nieznaczne prędkości tłoka.

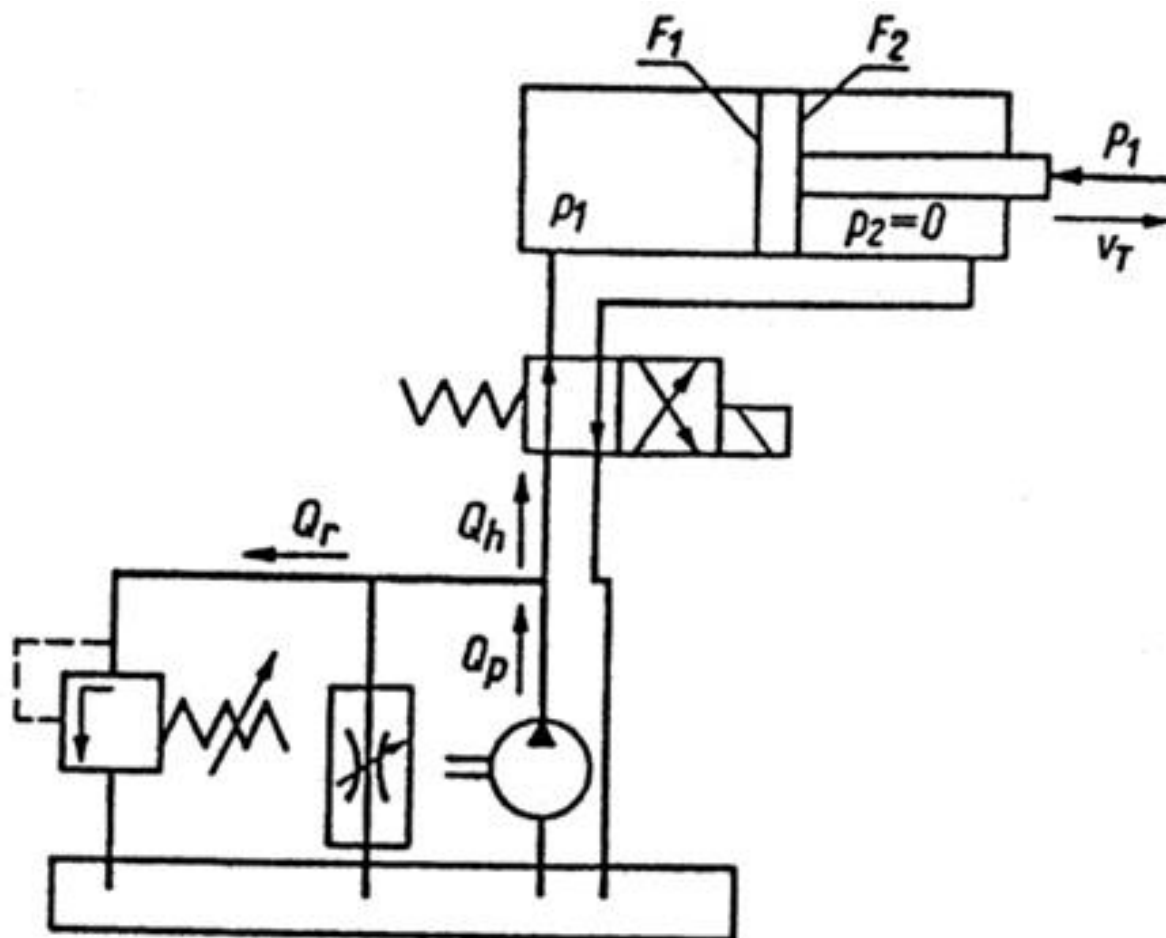
Aby otrzymać jednakowe prędkości w obydwu kierunkach ruchu tłoka siłownika z jednostronnym tłoczyskiem lub dodatkowo otrzymać zwiększoną prędkość wysuwu i wsuwu, można zastosować połączenie różnicowe. Zasada połączenia różnicowego polega na tym, że ciecz wypychana z komory siłownika nie zostaje odprowadzona do zbiornika, lecz do drugiej komory siłownika połączonej aktualnie z pompą.

3. Układy dławieniowej synchronizacji prędkości

Problem synchronizacji prędkości pojawia się wówczas, gdy kilka odbiorników hydraulicznych (siłowników lub silników) obciążonych siłami lub momentami o różnym charakterze i wartości, zasilanych z jednego źródła, ma jednocześnie pracować. Bez wprowadzenia odpowiednich elementów synchronizujących, jednoczesny ruch postępowy tłoczysk siłowników lub obrotowy wałów silników hydraulicznych z jednakową prędkością jest niemożliwy, ponieważ rozdział cieczy wypływającej ze źródła zasilania zależy od różnicy obciążeń tłoczysk lub wałów odbiorników hydraulicznych.

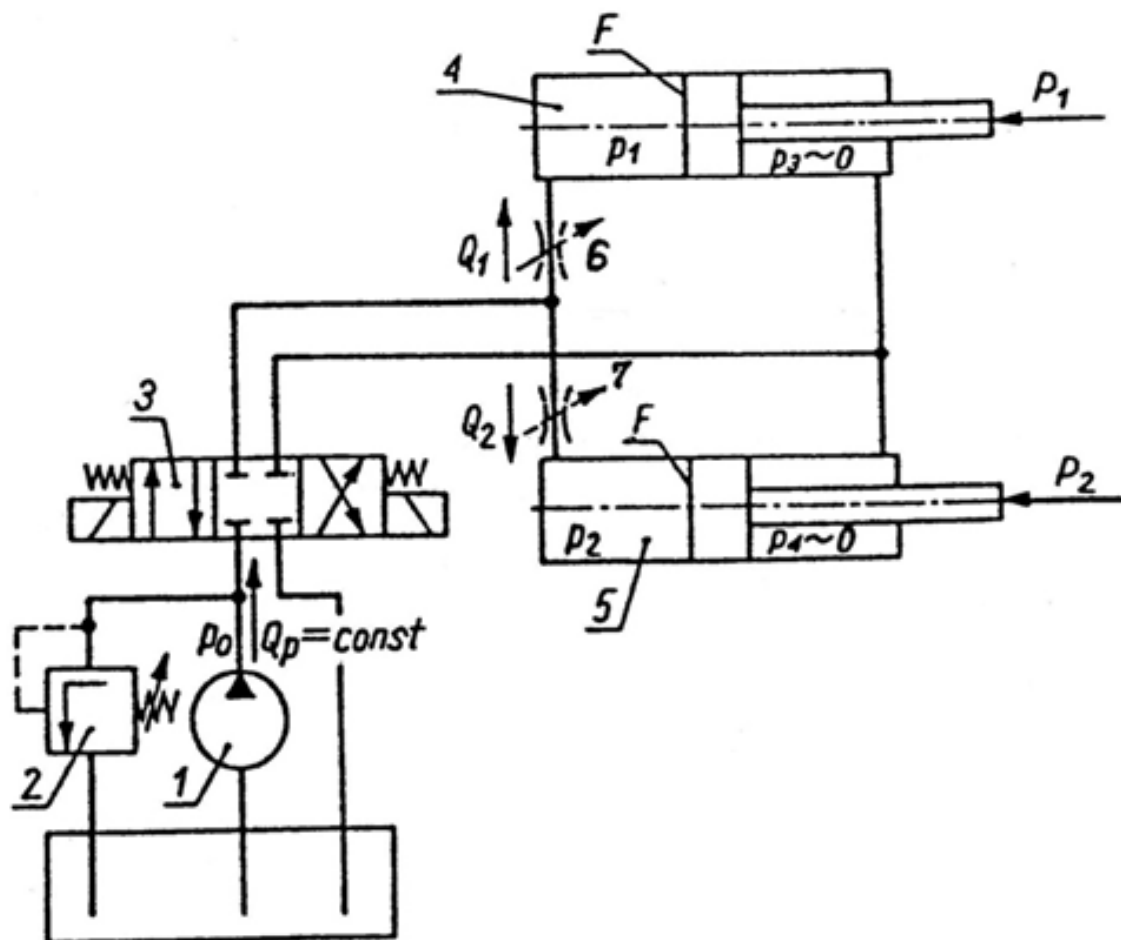


Rys. 5. Schemat ideowy hydraulicznego zapewniającego jednakową prędkość wysuwu i wsuwu tłoczyska siłownika z jednostronnym tłoczyskiem



Rys. 6. Schemat ideowy hydraulicznego dławnieniowego układu sterowania prędkością z regulatorem przepływu w przewodzie bocznikującym pompę

W celu lepszego wyjaśnienia, na czym polega problem synchronizacji prędkości, rozpatrzmy prosty układ hydrauliczny przedstawiony na rys.7. W układzie tym dwa identyczne siłowniki 4 i 5 są zasilane z jednej pompy 1, a wsuw i wysuw tłoczków jest sterowany rozdzielaczem czterodrogowym trójpozycyjnym 3. Zawór maksymalny 2 jest nastawiony na ciśnienie przekraczające znacznie ciśnienie p_0 panujące w czasie pracy obciążonych siłowników, w związku z czym spełnia rolę zaworu bezpieczeństwa. Cała wydajność pompy $Q_p = \text{const}$ jest więc kierowana do komór siłowników 4 i 5. Jeżeli siła P_1 obciążająca tłoczek siłownika 4 będzie znacznie większa od siły P_2 obciążającej tłoczek siłownika 5, to wtedy będzie wysuwać się tylko tłoczek siłownika 5, podczas gdy tłoczek siłownika 4 będzie pozostawać w spoczynku. Dopiero, gdy tłok mniej obciążonego tłoczyska siłownika 5 osiągnie skrajne położenie (lub natrafi na opór przekraczający obciążenie tłoczyska siłownika 4), możliwy będzie wysuw tłoczyska siłownika 4 obciążonego znacznie większą siłą. Tak więc w układzie według rys.7 nie jest możliwy jednoczesny ruch tłoczków siłowników obciążonych różnymi siłami.



Rys. 7. Schemat ideowy układu hydraulicznego w którym dwa siłowniki są zasilane z jednej pompy wyporowej

Przedstawiony problem synchronizacji prędkości tłoczków dwu (lub więcej) siłowników hydraulicznych jest najczęściej rozwiązywany przez wprowadzenie do każdej równolegle zasilanej gałęzi siłownika dodatkowego oporu hydraulicznego nastawianego ręcznie lub automatycznie. W przypadku oporu hydraulicznego nastawianego ręcznie sprowadza się to do zastosowania zaworu dławiącego, a w przypadku oporu hydraulicznego nastawianego automatycznie - do zastosowania regulatora przepływu. W obydwu przypadkach idea rozwiązania problemu synchronizacji prędkości sprowadza się do wytworzenia w gałęziach zasilania poszczególnych odbiorników (siłowników) dodatkowych takich spadków ciśnienia, żeby ciśnienie p_0 panujące w przewodzie tłocznym pompy, wyznaczone z równań równowagi ciśnień ułożonych dla gałęzi zasilania poszczególnych odbiorników, było takie samo. Wracając do układu hydraulicznego przedstawionego na rys.7, po wprowadzeniu zaworów dławiących 6 i 7 na wlocie siłowników, warunek synchronizacji ruchów tłoczków siłowników 4 i 5 przyjmuje postać

$$p_0 = \Delta p_{01} + p_1 = \Delta p_{02} + p_2$$

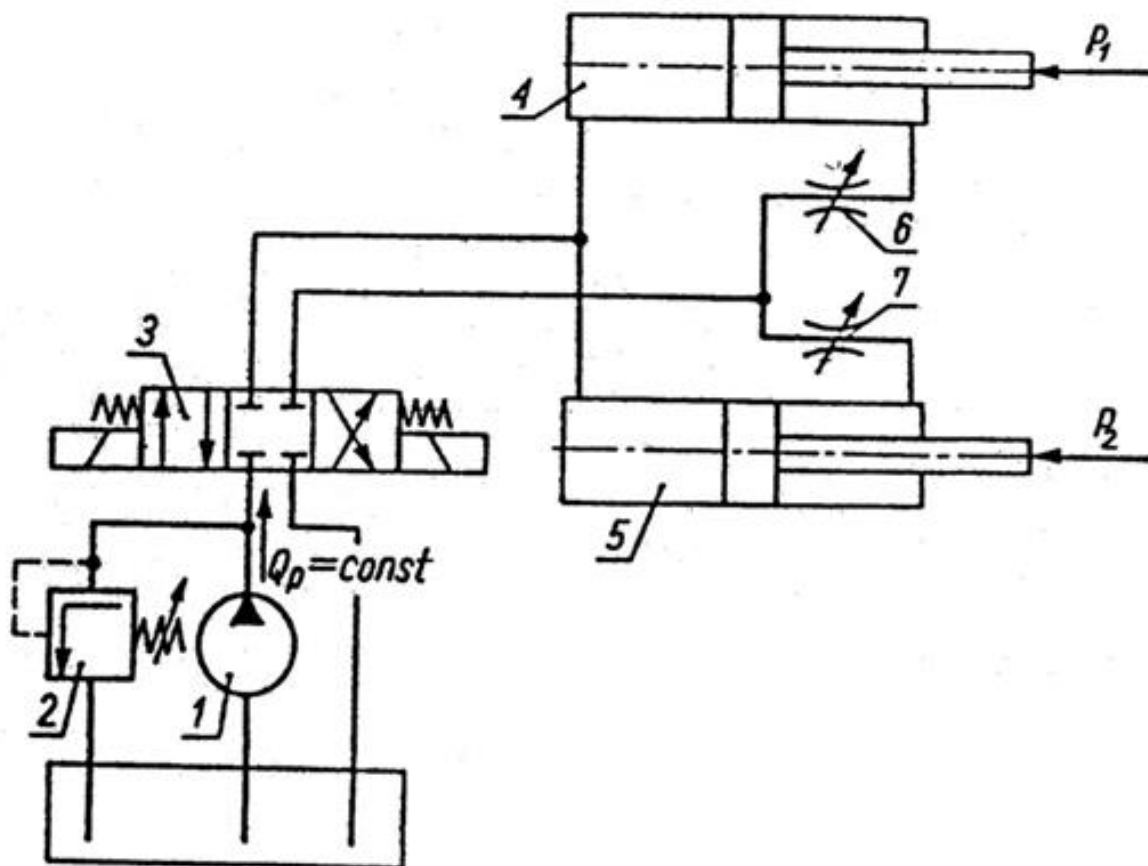
gdzie:

p_0 - ciśnienie panujące w przewodzie tłocznym pompy;

p_1, p_2 - ciśnienia panujące w komorach siłowników 4 i 5;

$\Delta p_{01}, \Delta p_{02}$ - spadki ciśnień na zaworach dławiących 6 i 7.

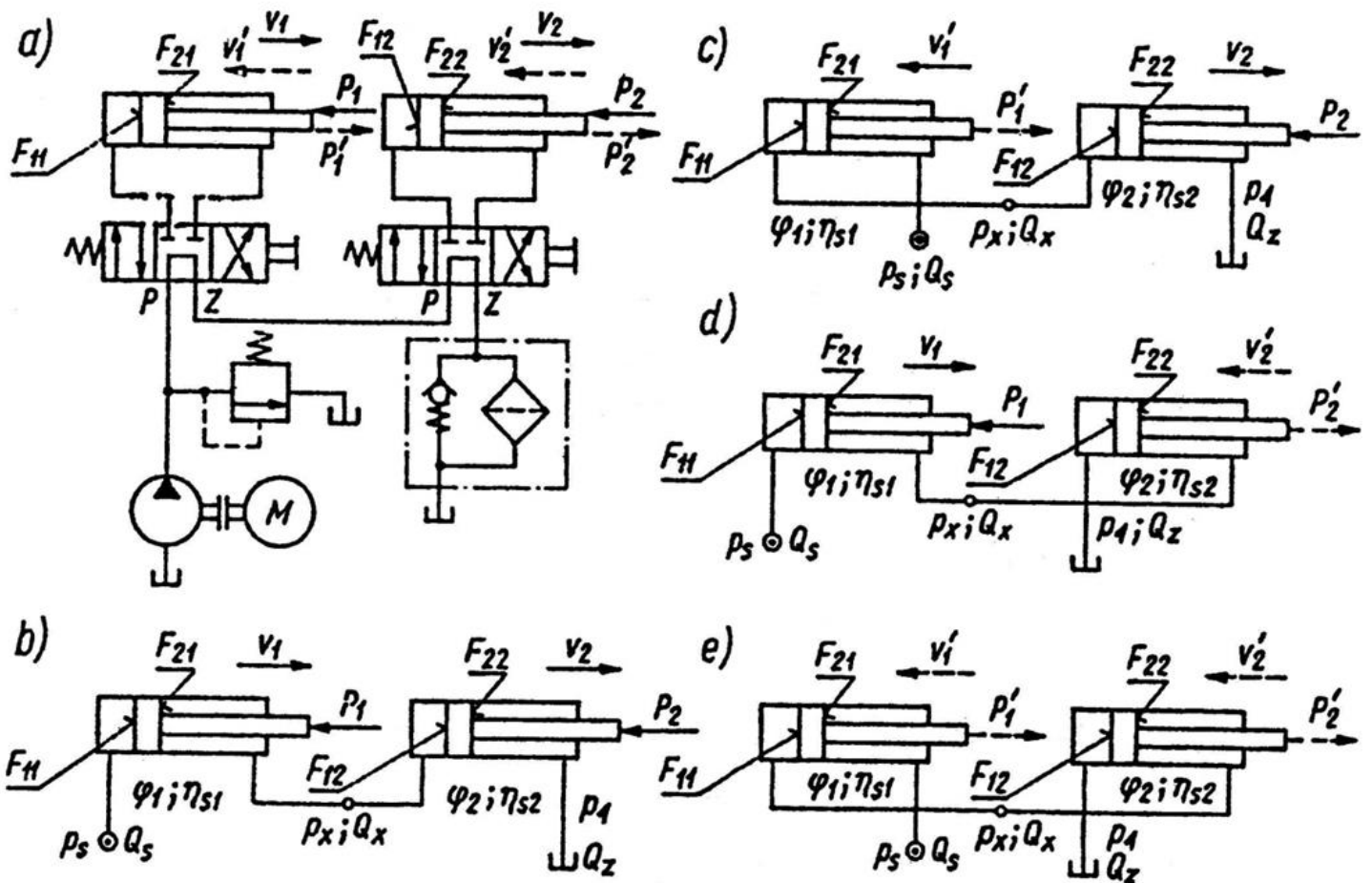
Najprostszy sposób synchronizacji prędkości tłoczków dwu równolegle połączonych siłowników hydraulicznych polega na umieszczeniu zaworów dławiących na wlocie lub wylocie siłowników, przy czym z uwagi na dużą ilość ciepła wywiązującą się na zaworze dławiącym zaleca się stosować raczej układ z zaworami dławiącymi na wylocie siłowników (rys.8). Zastosowanie w układzie zaworów dławiących 6 i 7 pozwala na jednoczesną pracę siłowników 4 i 5, których tłoczyska są obciążone siłami o różnej wartości, o ile obciążenie na całej długości skoku tłoczyska ma charakter stałej siły oporu technologicznego.



Rys. 8. Schemat ideowy hydraulicznego układu synchronizacji prędkości z zaworami dławiącymi na wylocie siłowników

4. Szeregowe łączenie odbiorników

Przykład połączenia szeregowego odbiorników w postaci dwóch siłowników dwustronnego działania, zasilanych jedną pompą i sterowanych rozdzielaczem 4/3, podano na rys.9. Rozdzielacze te muszą mieć, jak widać na rysunku, otwory P i Z połączone w położeniu neutralnym, ponieważ tylko w tym położeniu wszystkich jednostek sterujących pompa może pracować na przelew do zbiornika. Opory przepływu poszczególnych jednostek dodają się, a więc trudno tu mówić o całkowitym obciążeniu pompy. Jej obciążenie, wynikające z sumy oporów przepływu całej linii spływowej, może osiągać istotne wartości w bilansie mocy. Ze schematu widać, że przy równoczesnym włączeniu obu siłowników siła dyspozycyjna na tłoczysku jednego z nich zależy od obciążenia drugiego. Ciśnienie robocze pompy, określone nastawą zaworu bezpieczeństwa, jest sumą obciążeń poszczególnych siłowników. Także prędkość siłownika następnego zależy od tego, z której komory siłownika poprzedzającego będzie on zasilany. Oddziaływanie multiplikacyjne, wyrażane przez wielkość stosunku F_1/F_2 , należy uwzględnić zarówno przy obliczaniu obciążenia pompy, jak i prędkości ruchu tłoków w poszczególnych siłownikach.



Rys. 9. Szeregowe połączenie siłowników: a) schemat hydrauliczny układu, b–e) schematy połączeń siłowników dla różnych położenia sterujących rozdzielaczy

5. Zadanie laboratoryjne

Po zapoznaniu się ze stanowiskiem dydaktycznym, dotyczącym poznawania elementów i układów hydraulicznych, firmy Festo Didactic (poprzez identyfikację elementów składowych: układu zasilania, elementów sterujących, odbiorników hydraulicznych, kabli połączeniowych, elektrycznych elementów komutacyjno-sterujących) należy zbudować i z ich wykorzystaniem i przeprowadzić badania funkcjonalne następujących hydraulicznych układów sterowania:

1. Hydraulicznego układu sterowania dławieniowego zasilanego ze źródła stałego natężenia przepływu (rys.1).
2. Hydraulicznego dławieniowego układu sterowania prędkością z zaworem dławiącym na wlocie siłownika (rys.2).
3. Hydraulicznego dławieniowego układu sterowania prędkością z zaworem dławiącym na wylocie siłownika (rys.3).
4. Hydraulicznego dławieniowego układu sterowania prędkością z regulatorem przepływu na wylocie siłownika (rys.4).
5. Hydraulicznego dławieniowego układu sterowania zapewniającego jednakową prędkość wysuwu i wsuwu tłoczyska siłownika z jednostronnym tłoczyskiem (rys.5).
6. Hydraulicznego dławieniowego układu sterowania prędkością z regulatorem przepływu w przewodzie bocznikującym pompę (rys.6).
7. Układu hydraulicznego, w którym dwa siłowniki są zasilane z jednej pompy wyporowej (rys.7).
8. Układu hydraulicznego synchronizacji prędkości z zaworami dławiącymi na wylocie siłowników (rys.8).
9. Układu hydraulicznego szeregowym połączeniem siłowników (rys.9).

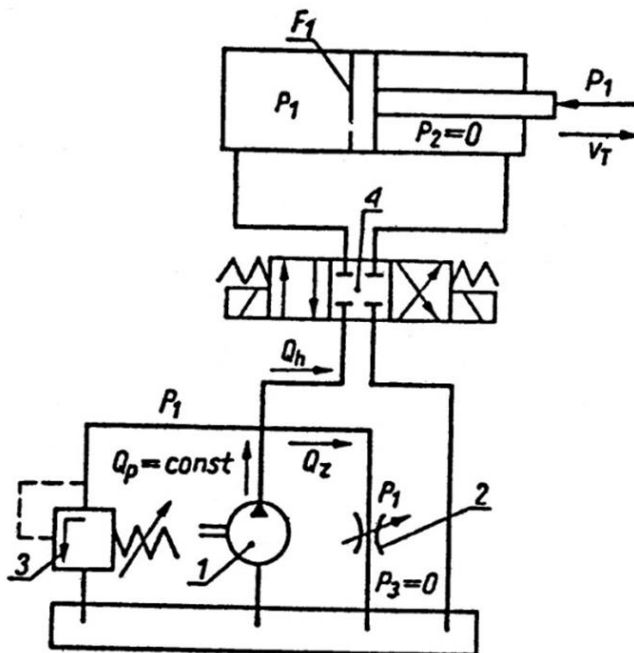
6. Sprawozdanie z ćwiczenia laboratoryjnego powinno zawierać:

- schematy symboliczne zbudowanych trakcie ćwiczenia hydraulicznych układów sterowania,
- spostrzeżenia dotyczące funkcjonowania zbudowanych układów hydraulicznych,

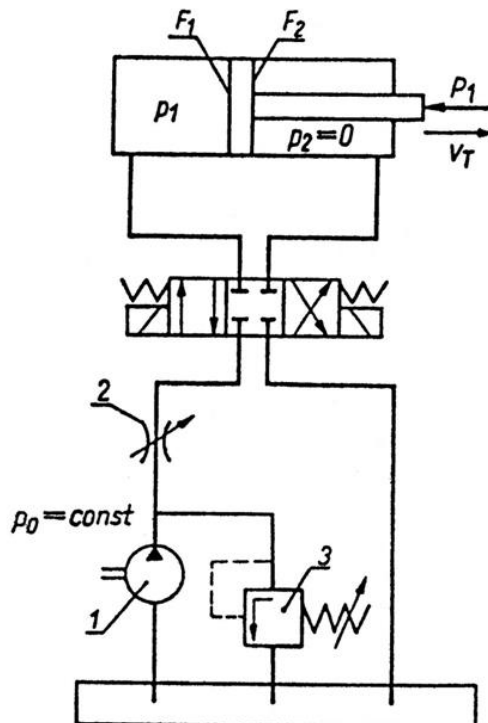
- otrzymane z przeprowadzonych pomiarów, dla wskazanych przez prowadzącego układów, ich charakterystyki statyczne, tj. prędkości tłoczyska siłownika w funkcji siły obciążającej tłoczysko i przekroju szczeliny dławiącej,
- wnioski.

Literatura:

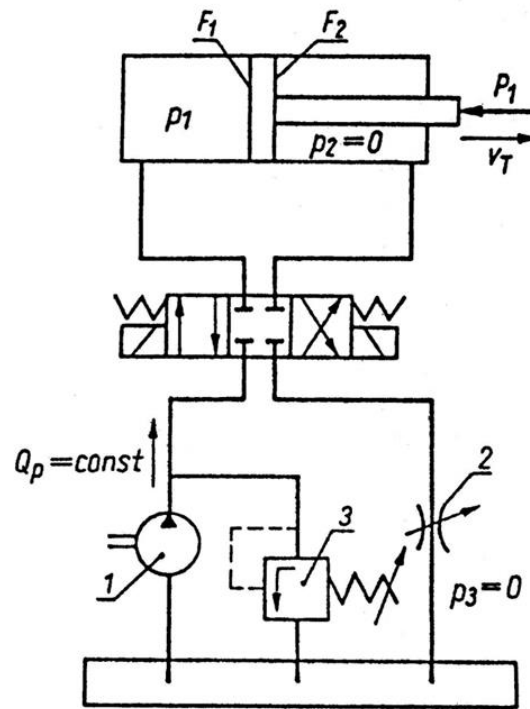
- Osiecki A. : Hydrostatyczny napęd maszyn. WNT, Warszawa 1998.
- Stryczek St. : Napęd hydrostatyczny, Tom II Układy, WNT, Warszawa 1997.



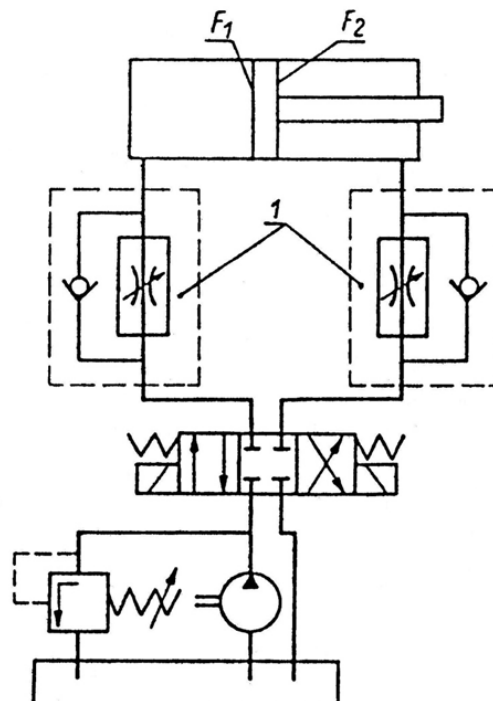
Rys. 1. Schemat ideowy hydraulicznego układu sterowania ciśnieniowego zasilanego ze źródła stałego natężenia przepływu



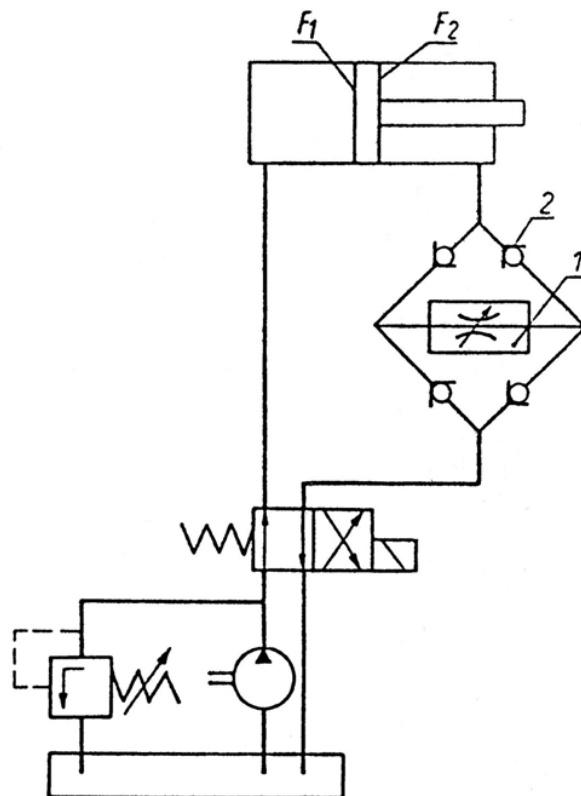
Rys. 2. Schemat ideowy hydraulicznego ciśnieniowego układu sterowania prędkością z zaworem ciśnieniowym na wlocie siłownika



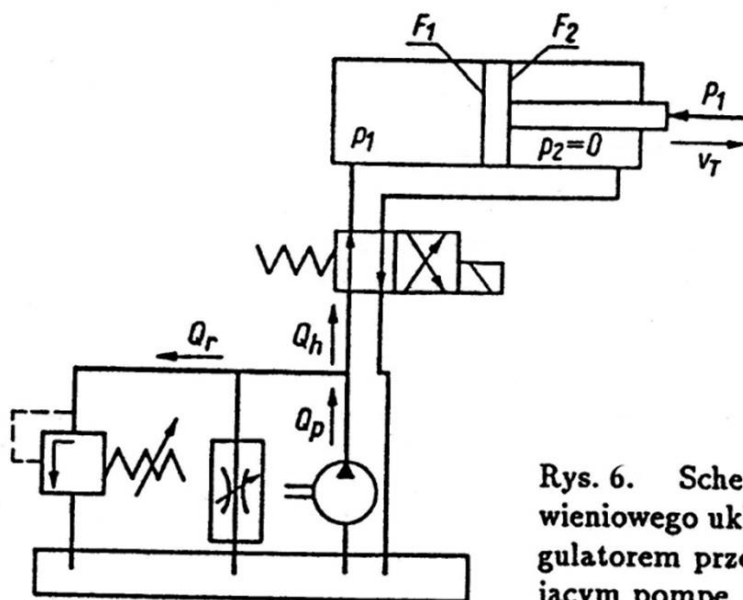
Rys. 3. Schemat ideowy hydraulicznego dławieniowego układu sterowania prędkością z zaworem dławiącym na wylocie siłownika



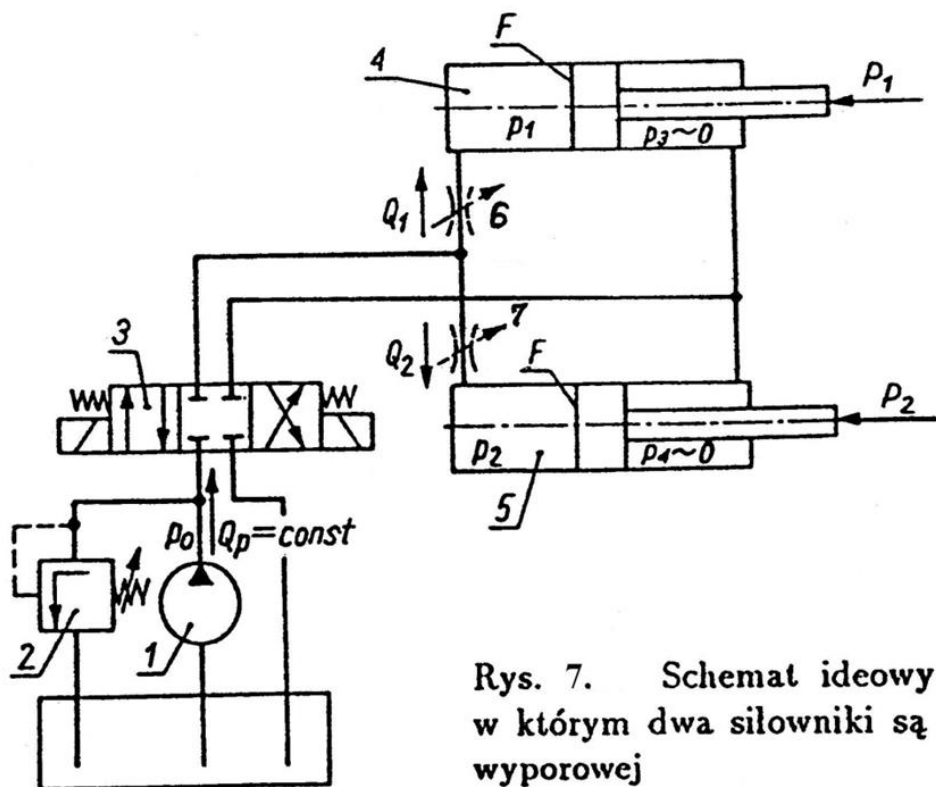
Rys. 4. Schemat ideowy hydraulicznego dławieniowego układu sterowania prędkością z regulatorem przepływu na wylocie siłownika



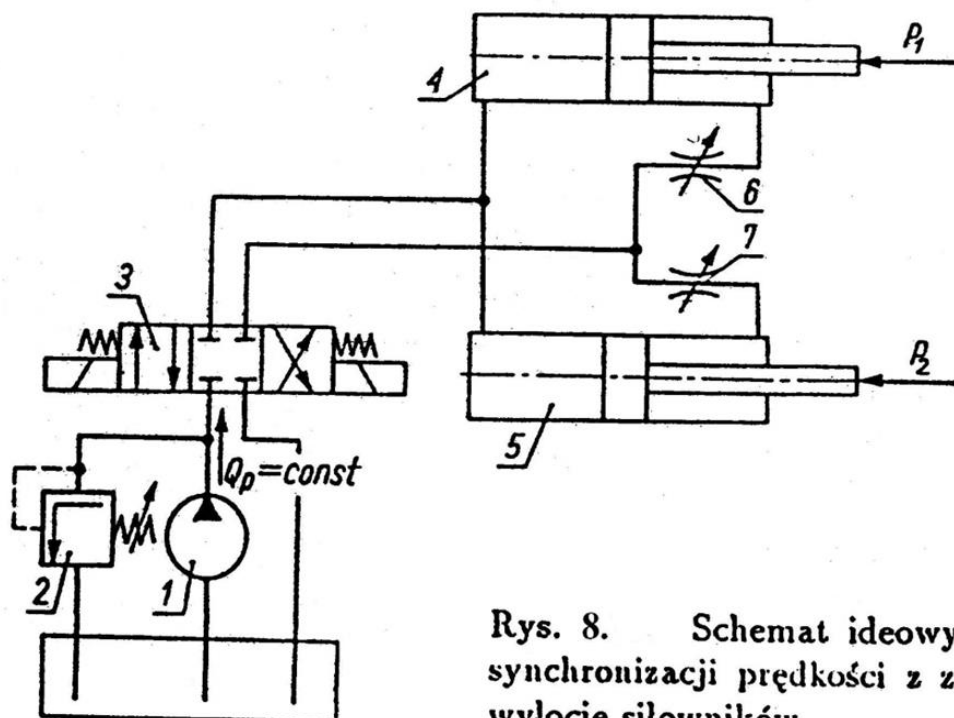
Rys. 5. Schemat ideowy układu hydraulicznego zapewniającego jednakową prędkość wysuwu i wsuwu tłoczyska siłownika z jednostronnym tłoczyskiem



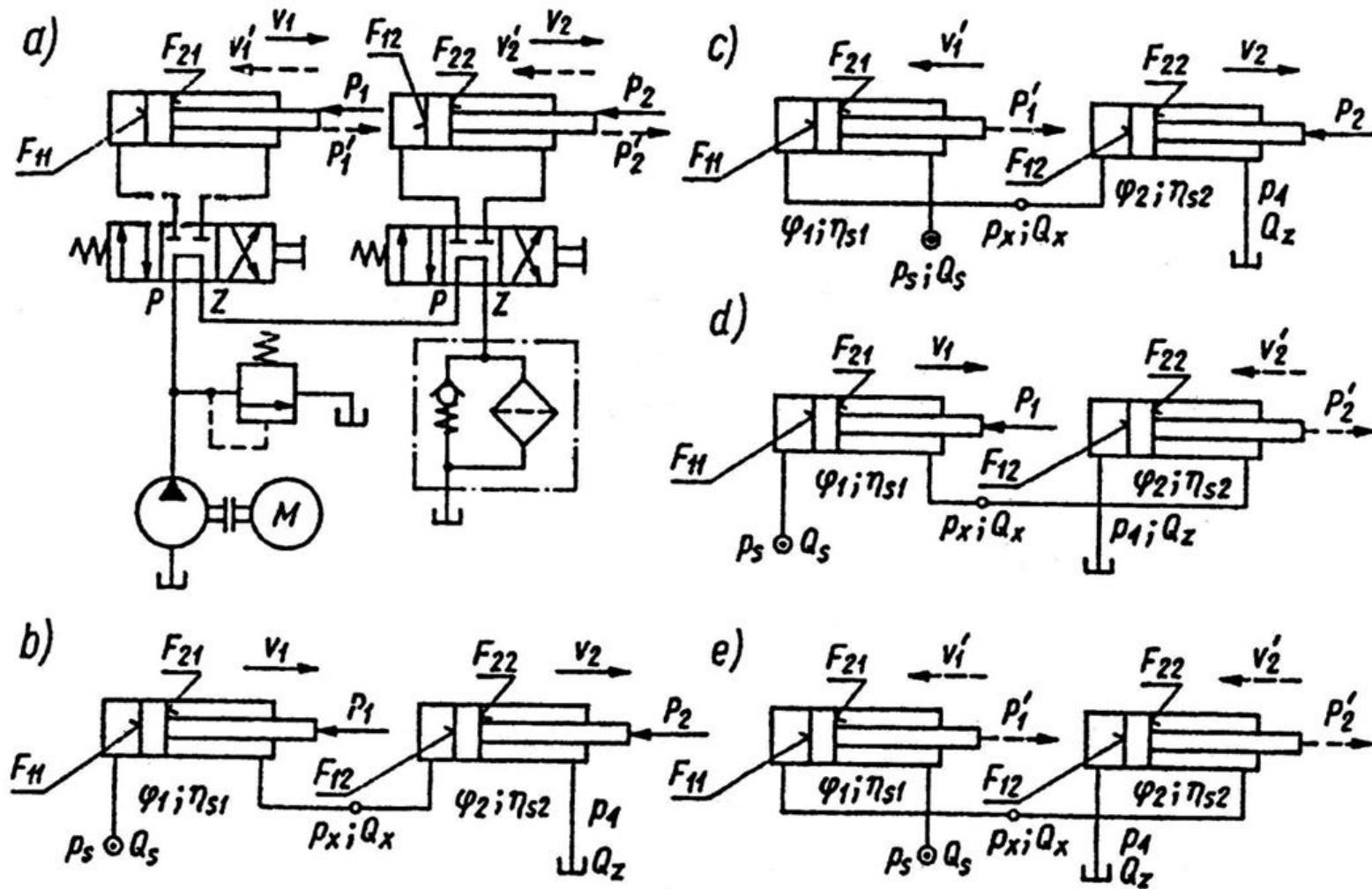
Rys. 6. Schemat ideowy hydraulicznego działwiowego układu sterowania prędkością z regulatorem przepływu w przewodzie bocznującym pompę



Rys. 7. Schemat ideowy układu hydraulicznego, w którym dwa siłowniki są zasilane z jednej pompy wyporowej



Rys. 8. Schemat ideowy hydraulicznego układu synchronizacji prędkości z zaworami dławiącymi na wylocie siłowników



Rys. 9. Szeregowe połączenie siłowników: a) schemat hydrauliczny układu, b-e) schematy połączeń siłowników dla różnych położeń sterujących rozdzielaczy