

Moduł 5

Pneumatyczne i elektropneumatyczne układy napędu i sterowania

1. Podstawy fizyczne działania układów pneumatycznych
2. Struktura funkcjonalna pneumatycznych i elektropneumatycznych układów napędu i sterowania
3. Budowa i działanie podstawowych elementów układów pneumatycznych
4. Wytwarzanie i przygotowanie sprężonego powietrza
5. Podstawowe układy pneumatyczne i elektropneumatyczne
6. Zasady bezpieczeństwa podczas użytkowania układów pneumatycznych i elektropneumatycznych
7. Bibliografia

1. Podstawy fizyczne działania układów pneumatycznych

Pneumatyczne układy napędu i sterowania zamieniają energię sprężonego powietrza na pracę mechaniczną związaną z wprowadzaniem w ruch ciał. Podstawowymi właściwościami powietrza są:

- gęstość,
- ciężar właściwy,
- ściśliwość,
- lepkość.

Gęstość jest to masa jednostki objętości:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

gdzie:

ρ – gęstość [kg/ m³],

m – masa [kg],

V – objętość [m³].

Gęstość powietrza nie jest stała, zależy od temperatury oraz ciśnienia.

Ciężar właściwy jest to ciężar jednostki objętości:

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

γ – ciężar właściwy [N/m²],

G – ciężar [N],

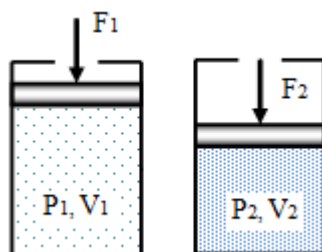
V – objętość [m³].

Ściśliwość – zdolność do zmniejszania objętości.

Zależność parametrów gazów: temperatury ciśnienia, objętości określają prawa przemian gazowych.

Jeżeli temperatura gazu jest stała to zależność pomiędzy ciśnieniem, a objętością gazu jest następująca:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2 = \text{const.} \quad (P - \text{ciśnienie gazu, } V - \text{objętość gazu})$$

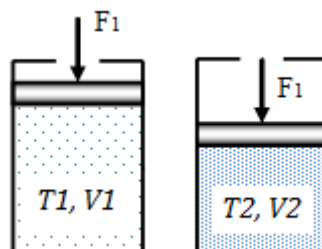


Rys. 5.1. Zmiana objętości gazów przy stałej temperaturze [opracowanie własne]

Przy stałym ciśnieniu powietrze zmienia swoją objętość pod wpływem zmian temperatury:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \text{const.}$$

(V – objętość gazu, T – temperatura gazu).



Rys. 5.2. Zmiana objętości gazów przy stałym ciśnieniu [opracowanie własne]

Lepkość jest to właściwość polegająca na tym, że podczas przemieszczania się płynu w przewodzie, pomiędzy sąsiednimi warstwami płynu występuje tarcie wewnętrzne i powstają naprężenia styczne. Wraz ze wzrostem temperatury lepkość gazów rośnie. Wzrost temperatury powoduje zwiększenie ruchliwości cząsteczek, które zderzając się, zmniejszają swoją ruchliwość, w wyniku czego lepkość gazu rośnie.

Ciśnienie jest to skalarna wielkość fizyczna, występująca w płynie, gdy na dowolnie mały element powierzchni wewnątrz obszaru wypełnionego płynem działa prostopadle siła.

Liczbowo ciśnienie jest równe stosunkowi siły prostopadłej do danej powierzchni do pola tej powierzchni.

$$p = \frac{F}{S} \cdot \left[\frac{N}{m^2} \right]$$

gdzie:

F – siła,

S – powierzchnia.

Jednostką ciśnienia w układzie SI jest paskal

$$1\text{Pa} = 1\text{ N/m}^2$$

Stosowana jest również jednostka ciśnienia bar $1\text{bar} = 10^5\text{ Pa}$.

Zjawiska występujące podczas przepływu gazów regulują dwa prawa:

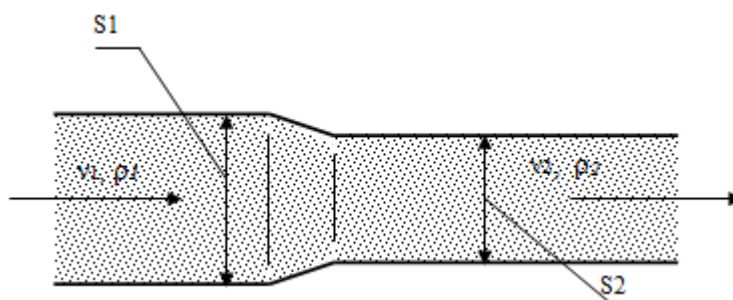
- prawo zachowania masy,
- prawo zachowania energii.

Prawo zachowania masy określa, że masa nie może powstawać ani zanikać. Prawo zachowania masy odniesione do płynów nosi nazwę prawa ciągłości przepływu płynów i jest opisane równaniem ciągłości. Masa płynu, jaka przepłynie w czasie t przez po-

wierzchnię S_1 równa jest masie płynu, jaka przepłynie w tym czasie przez powierzchnię S_2 . (rys.5.3.).

$$S_1 \times v_1 \times \rho_1 \times t = S_2 \times v_2 \times \rho_2 \times t$$

Na podstawie prawa ciągłości przepływu można sformułować następujący wniosek: „Jeżeli strumień sprężonego powietrza przepływa przez przewód, to w miejscach zmniejszenia przekroju poprzecznego przewodu rośnie prędkość przepływu strumienia powietrza, a maleje jego ciśnienie; natomiast w miejscach zwiększenia przekroju poprzecznego przewodu maleje prędkość przepływu strumienia powietrza, a rośnie jego ciśnienie”.



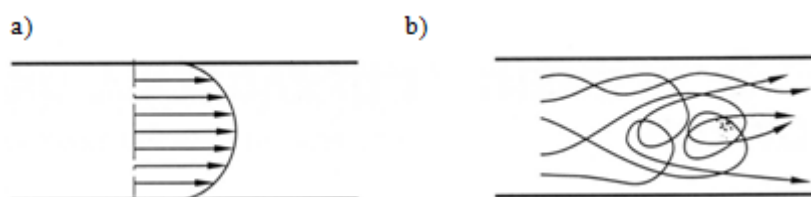
Rys. 5.3. Ilustracja prawa zachowania masy

[Kordowicz-Sot A.: *Analizowanie działania układów pneumatycznych* 311[50].01.07, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005]

Prawo zachowania energii określa, że energia nie może powstawać ani zanikać, może jedynie następować przemiana z jednej postaci energii w drugą.

Obserwując strugę płynu, można zaobserwować dwa rodzaje przepływów (rys. 5.4):

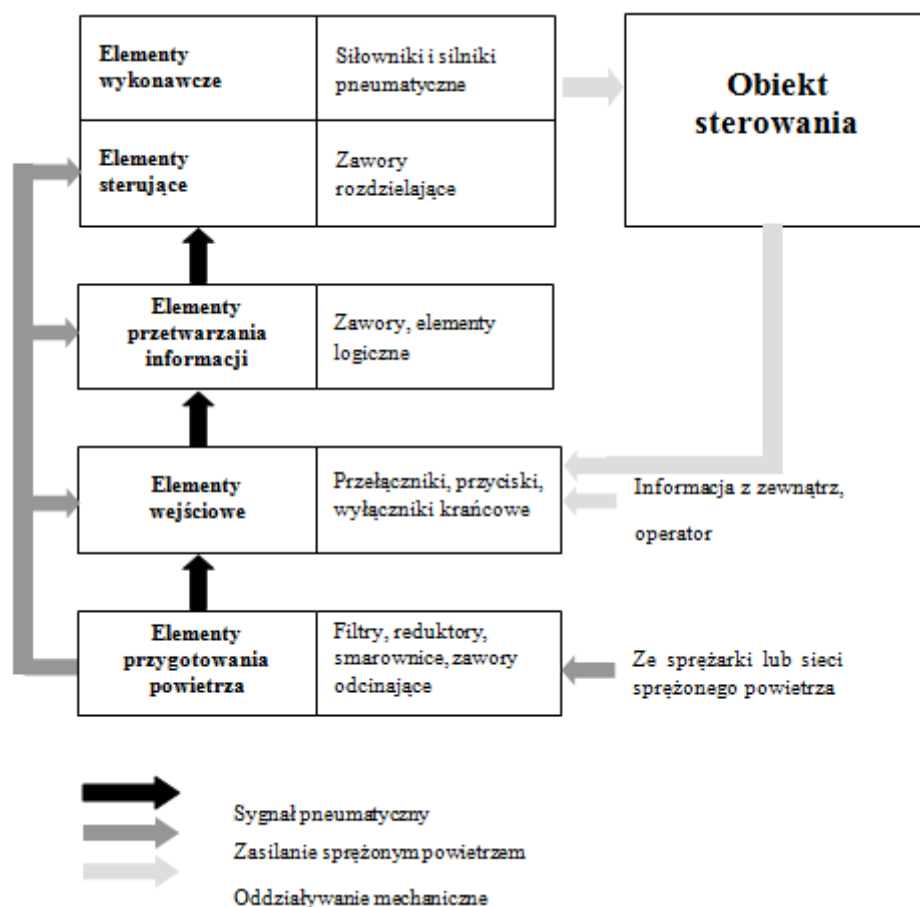
- przepływ laminarny (uwarstwowiony),
- przepływ turbulentny (burzliwy).



Rys. 5.4. Ilustracja przepływu: a) laminarnego, b) turbulentnego

[Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

2. Struktura funkcjonalna pneumatycznych i elektropneumatycznych układów napędu i sterowania



Rys.5.5. Struktura funkcjonalna pneumatycznego układu napędu i sterowania
[Kordowicz-Sot A.: *Analizowanie działania układów pneumatycznych* 311[50].01.07, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005]

Ze względu na funkcję w układzie, elementy można wyodrębnić następujące grupy elementów wchodzących w skład układu pneumatycznego:

- 1) elementy wykonawcze – zamiana energii sprężonego powietrza na energię mechaniczną,
- 2) elementy sterujące – sterowanie przepływem powietrza do elementów wykonawczych,
- 3) elementy sygnalizacyjne – podawanie informacji o aktualnym stanie sygnałów w określonych miejscach układu,
- 4) elementy przetwarzania informacji – realizacja zależności logicznych pomiędzy sygnałami w celu zapewnienia odpowiedniego sposobu pracy elementów wykonawczych,
- 5) elementy wejściowe – dostarczanie informacji o stanie elementów wykonawczych układu, wprowadzanie do układu informacji typu START, STOP oraz informacji o stanie urządzeń współpracujących,
- 6) elementy przygotowania powietrza – usunięcie ze sprężonego powietrza zanieczyszczeń, nasycenie powietrza mgłą olejową, redukcja wartości ciśnienia do odpowiedniego poziomu.

3. Budowa i działanie podstawowych elementów układów pneumatycznych

ELEMENTY WYKONAWCZE

Siłowniki są to urządzenia przekształcające energię sprężonego powietrza (lub innych płynów) na energię mechaniczną.

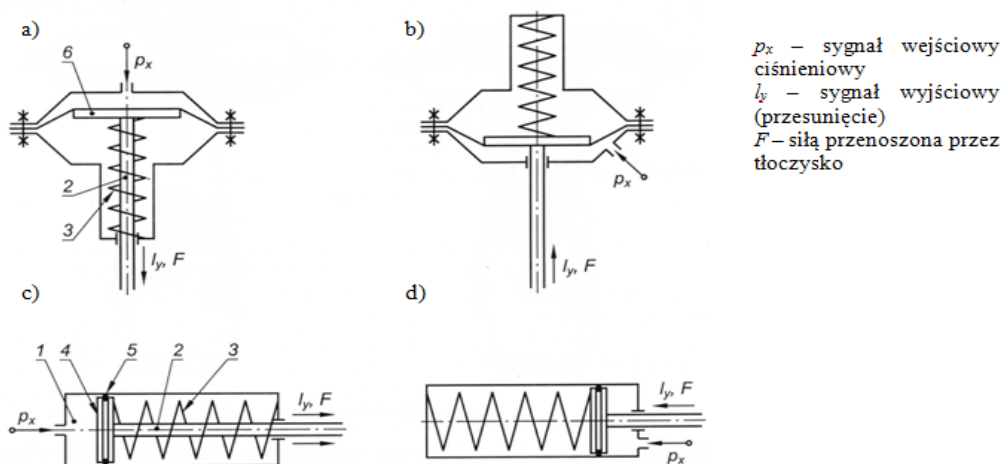
Ze względu na rodzaj uzyskiwanego ruchu rozróżnia się:

- siłowniki o ruchu liniowym,
- siłowniki o ruchu obrotowym.

Ze względu na sposób wymuszenia ruchu tłoczyska siłowniki dzielimy na:

- siłowniki jednostronnego działania,
- siłowniki dwustronnego działania.

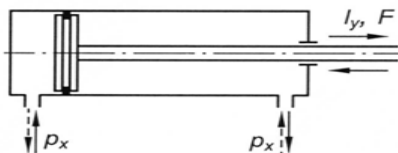
W siłowniku jednostronnego działania (rys. 5.6) ruch tłoczyska w jedną stronę jest wymuszany przez ciśnienie czynnika roboczego, w drugą – przez siłę sprężyny lub siłę ciężaru tłoka. Siłowniki jednostronnego działania w zależności od tego, czy podawane ciśnienie powoduje wysunięcie tłoczyska, czy wsunięcie – dzielą się odpowiednio, na siłowniki o działaniu prostym lub odwrotnym.



Rys. 5.6. Schematy konstrukcji siłowników jednostronnego działania: a) membranowy o działaniu prostym; b) membranowy o działaniu odwrotnym; c) tłokowy o działaniu prostym; d) tłokowy o działaniu odwrotnym;

1 – tuleja/cylinder, 2 – tłoczysko, 3 – sprężyna, 4 – tłok, 5 – zespół uszczelnień, 6 – membrana [2]

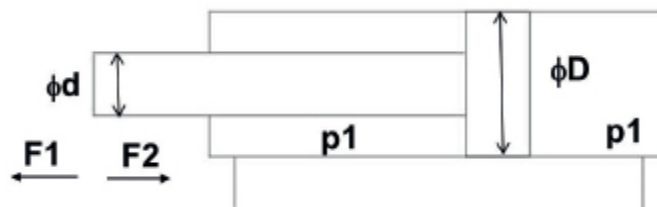
[Kordowicz-Sot A.: *Analizowanie działania układów pneumatycznych* 311[50].01.07, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005]



Rys. 5.7. Siłownik tłokowy dwustronnego działania

[Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

W siłownikach dwustronnego działania ruch tłoczyska w obu kierunkach wymuszany jest ciśnieniem czynnika podawanego przemiennie do komór siłownika (rys. 5.7). Jedną z wielkości charakteryzujących siłowniki pneumatyczne jest siła teoretyczna F wytwarzana na tłoczysku siłownika w wyniku podania do wnętrza siłownika sprężonego powietrza o ciśnieniu p_1 .



Rys. 5.8. Główne parametry siłownika pneumatycznego dwustronnego działania
<http://hafner.pl/silowniki-tloczyskowe>

p_1 – ciśnienie zasilania [bar]

D – średnica nominalna (tłoka) [cm]

d – średnica tłoczyska [cm]

Siła pchająca siłownika F_1 (siła wytwarzana na tłoczysku siłownika podczas wysuwania) obliczana jest zgodnie z następującą zależnością:

$$F_1 = \pi \times D^2 / 4 \times p_1 \text{ [daN]}$$

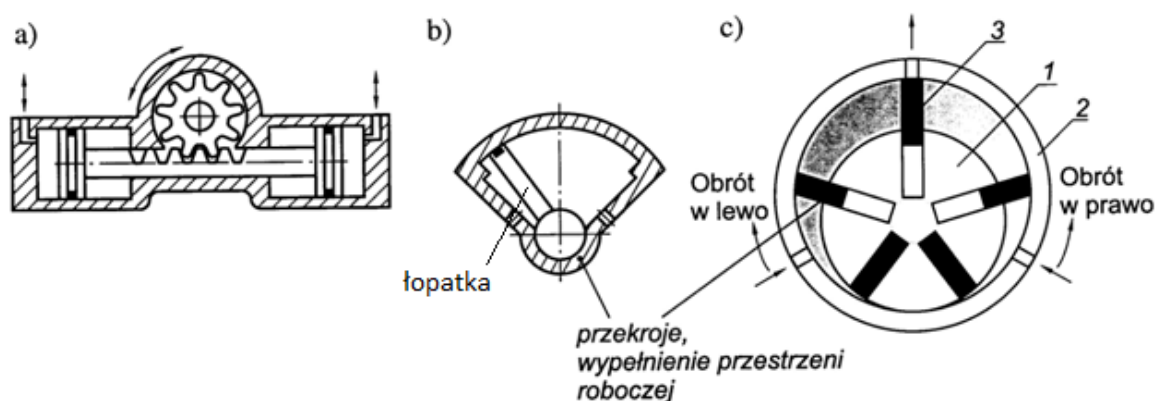
Siła ciągnąca siłownika F_2 (siła wytwarzana na tłoczysku siłownika podczas wysuwania) obliczana jest zgodnie z następującą zależnością:

$$F_2 = \pi \times (D^2 - d^2) / 4 \times p_1 \text{ [daN]}$$

Np. $p_1 = 6 \text{ bar}$; $D = 4 \text{ cm}$; $d = 1 \text{ cm}$

$F_1 = \pi \times 4^2 / 4 \times 6 = 75,36 \text{ [daN]}$

$F_2 = \pi \times (4^2 - 1^2) / 4 \times 6 = 70,65 \text{ [daN]}$



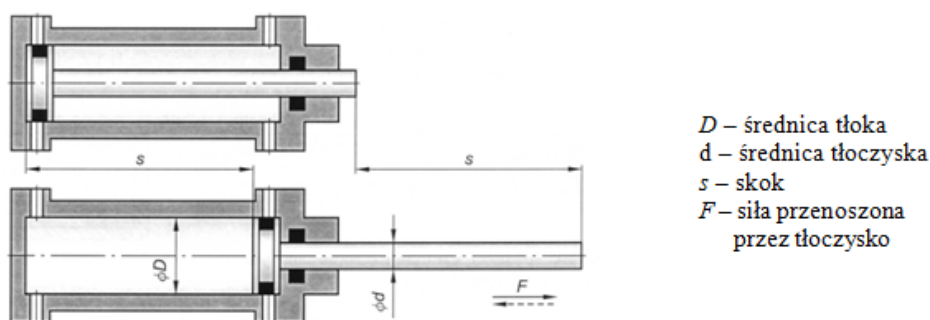
Rys. 5.9. Siłowniki o ruchu obrotowym: a) wahliwy zębaty, b) wahliwy łopatkowy, c) silnik łopatkowy; 1 – wirnik, 2 – obudowa, 3 – łopatki [2]
 [Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

Siłowniki obrotowe najczęściej wykonywane są jako: wahliwe zębate, wahliwe łopatkowe, silniki łopatkowe.

W siłowniku zębatym ruch liniowy tłoka z naciętą zębatką przenoszony jest na koło zębate osadzone na wale wyjściowym siłownika, wał wykonuje ruch wahliwy.

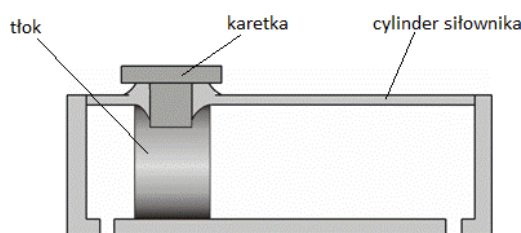
W siłowniku łopatkowym wahliwym łopatka zamontowana w komorze siłownika osadzona jest na wale wyjściowym siłownika i wykonuje ruch wahliwy pod wpływem sprężonego powietrza podawanego z lewej lub z prawej strony łopatki.

Silnik łopatkowy wykonuje ruch obrotowy o kierunku zależnym od kierunku podawania sprężonego powietrza. W silniku łopatkowym wirnik osadzony jest mimośrodowo względem obudowy. Wpływające pod ciśnieniem powietrze wymusza ruch obrotowy wirnika. Na skutek działania siły odśrodkowej łopatki dociskane są do obudowy zapewniając szczelność komór.



Rys. 5.10. Podstawowe parametry konstrukcyjne siłownika tłokowego
 [Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

Coraz częściej stosowane są siłowniki beztłoczyskowe.



Rys. 5.11. Schemat konstrukcji siłownika beztłoczyskowego
 [<http://tbystrowski.notatki.oen.agh.edu.pl/page/index.php?id=pne&pne=pwyk4#3.1.1>]

Tłok siłownika beztłoczyskowego sprężony jest z karetką, tłok osadzony jest we wnętrzu cylindra siłownika, natomiast karetką jest na zewnątrz. Cylinder siłownika jest rozcięty, rozcięcie jest uszczelnione i umożliwia przesuwanie się karetki wzdłuż rozcięcia. Tłok przemieszcza się pod wpływem sprężonego powietrza podawanego do wnętrza siłownika.

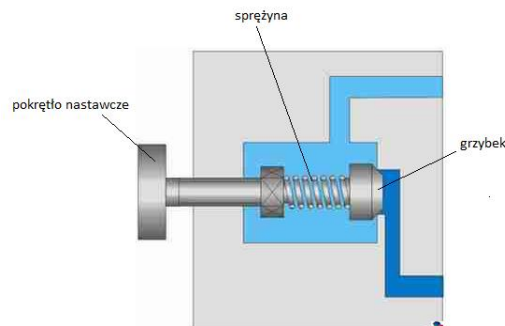
ELEMENTY STERUJĄCE PRZEPŁYWEM SPRĘŻONEGO POWIETRZA

Sterowanie przepływem sprężonego powietrza może odbywać się poprzez wpływ na jego ciśnienie, natężenie lub kierunek przepływu. Elementami tymi są zawory sterujące. Wyróżnia się następujące rodzaje zaworów:

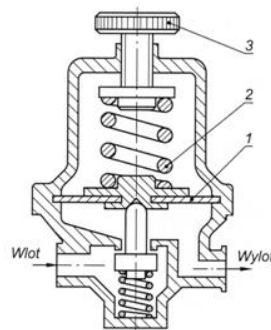
- zawory sterujące ciśnieniem (zawory bezpieczeństwa, redukcyjne),

- zawory sterujące kierunkiem przepływu (zawory rozdzielające, zawory zwrotne, zawory odcinające, zawory realizujące funkcje logiczne),
- zawory sterujące natężeniem przepływu (dławiki).

Zadaniem zaworów bezpieczeństwa jest zabezpieczenie układu przed przeciążeniem. Przeciążenie w układach pneumatycznych oznacza przekroczenie ciśnienia ponad dopuszczalną wartość. Zawór bezpieczeństwa przy wzroście ciśnienia ponad dopuszczalną wartość, samoczynnie otwiera się (grzybek otwiera przepływ powietrza), część powietrza przepływa przez zawór do atmosfery, w ten sposób zmniejszając wartość ciśnienia w układzie. Wartość ciśnienia bezpieczeństwa można nastawiać za pomocą pokrętła nastawczego i sprężyny.



Rys. 5.12. Schemat konstrukcji zaworu bezpieczeństwa
[<http://tbystrowski.notatki.oen.agh.edu.pl/page/index.php?id=pne&pne=pwyk4#3.1.1>]

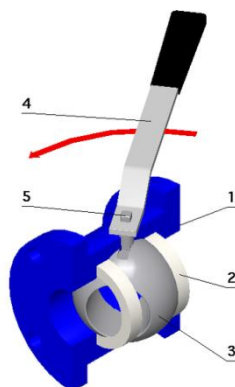


Rys. 5.13. Schemat budowy zaworu redukcyjnego: 1 – membrana, 2 – sprężyna, 3 – pokrętło
[Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

Zadaniem zaworu redukcyjnego jest redukcja ciśnienia i utrzymanie jego stałej wartości za zaworem (rys. 5.13). Na membranę 1 od dołu oddziałuje ciśnienie przepływającego powietrza, a od góry siła pochodząca od sprężyny 2. Za pomocą pokrętła 3 i sprężyny 2 nastawiana jest wartość ciśnienia zadanego. Jeżeli wartość ciśnienia powietrza jest większa od wartości zadanej, to membrana unosi się do góry i zmniejsza przepływ powietrza przez zawór – ciśnienie na wylocie maleje. Jeżeli wartość ciśnienia powietrza jest mniejsza od wartości zadanej to membrana opada do dołu i zwiększa przepływ powietrza przez zawór – ciśnienie na wylocie rośnie.

ZAWORY STERUJĄCE KIERUNKIEM

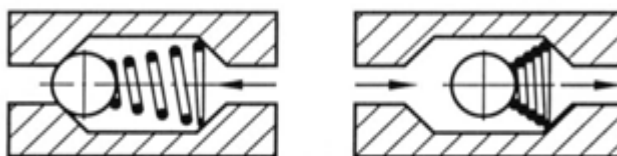
Zawór odcinający – zadaniem zaworu jest zamykanie/otwieranie przepływu czynnika roboczego przez dany przewód. Zawory odcinające mogą być kulowe lub grzybkowe.



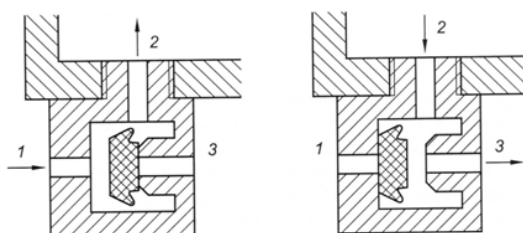
Rys. 5.14. Schemat budowy zaworu kulowego: 1. korpus zaworu, 2. gniazdo, 3. kula, 4. dźwignia, 5. wałek zwrotny
[<http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Ball.PNG>]

Podczas otwarcia kula (3) z wydrążonym w środku otworem przepuszcza medium, obracając ją o 90 stopni zakrywa gniazda (2), blokując przepływ.

Zawór zwrotny – umożliwia przepływ czynnika roboczego tylko w ściśle określonym kierunku.



Rys. 5.15. Sposób działania zaworu zwrotnego
[Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

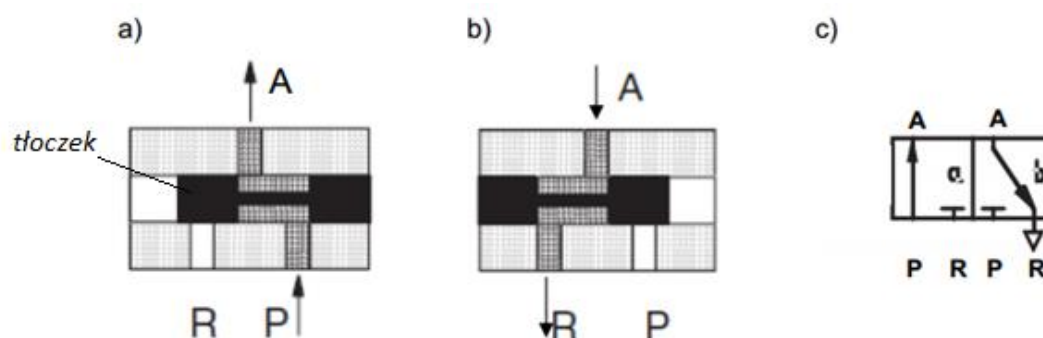


Rys. 5.16. Sposób działania zaworu szybkiego spustu
[Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

Zawór szybkiego spustu (rys. 5.16) – w przypadku doprowadzenia czynnika roboczego do kanału 1 zawór umożliwia wypływ tego czynnika kanałem 2. Jeżeli w kanale 1 ciśnienie spadnie, wówczas nastąpi szybki wypływ czynnika roboczego kanałem 3.

Zawory rozdzielające (rozdzielacze) są grupą elementów pneumatyki, których zadaniem jest sterowanie kierunkiem przepływu czynnika roboczego w pneumatycznych

układach napędowych i sterujących poprzez łączenie lub przełączanie dróg przepływu. Stosowanych jest wiele rodzajów zaworów rozdzielających. Wyjaśnienie budowy i sposobu działania zaworów rozdzielających ograniczymy do dwóch: zaworu 3/2 (trójdrogowego-dwupołożeniowego).



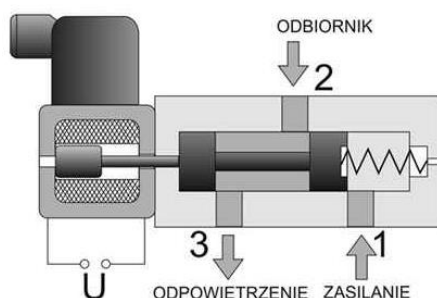
Rys. 5.17. Schemat budowy i sposób działania zaworu 3/2: a) położenie otwartego przełotu P –A, b) położenie otwartego przełotu A-R, c) symbol graficzny zaworu.
[http://www2.simr.pw.edu.pl/imrc/polski/Cwiczenie_HP4-instrukcja.pdf]

Zawór 3/2, dzięki przemieszczaniu tłoczka, umożliwia przełączenie pomiędzy przepływami łącząc z A albo P, albo R. Do P podłączany jest dopływ sprężonego powietrza natomiast R służy do odpowietrzania zaworu (zazwyczaj upust do atmosfery). Na symbolu zaworu kratka *a* odpowiada jednej pozycji roboczej zaworu (połączenie P-A), a kratka *b* odpowiada drugiej pozycji roboczej zaworu (połączenie R-A).

Tłoczek zaworu przemieszczany jest (inaczej mówiąc zawór jest sterowany) dzięki przyłożeniu siły pochodzącej z zewnątrz. Siły te mogą pochodzić od nacisku mechanicznego (innego urządzenia lub siły mięśni), sygnału pneumatycznego, sygnału elektrycznego. Siły te przemieszczają tłoczek w położenie lewe (rys. 5.17b) oraz prawe (rys. 5.17a). W związku z tym rozróżnia się następujące sposoby sterowania zaworów rozdzielających:

- mechaniczne,
- pneumatyczne,
- elektryczne.

Rozróżnia się zawory bistabilne oraz monostabilne: w zaworach bistabilnych prze sterowanie zaworu (przemieszczanie tłoczka w obu kierunkach) odbywa się dzięki sile zewnętrznej; natomiast w przypadku zaworów monostabilnych przemieszczanie tłoczka w jedną stronę wymuszane jest siłą zewnętrzną, a przemieszczanie w stronę przeciwną odbywa się dzięki sile sprężystości sprężyny montowanej w zaworze.



Rys. 5.18. Schemat budowy zaworu 3/2 monostabilnego sterowanego sygnałem elektrycznym
[<http://www.hafner.pl/podstawy-pneumatyki/zawory-rozdzielajace-dydaktyka>]

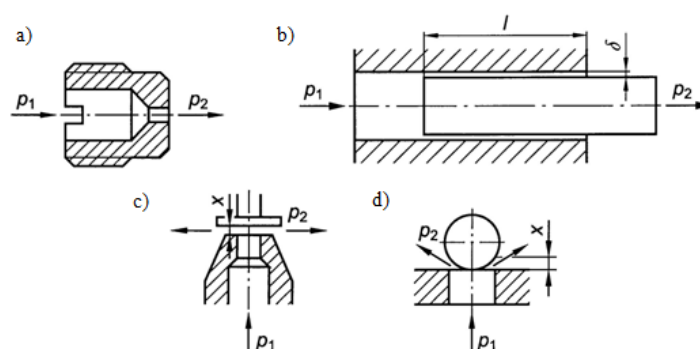
Zawory sterujące natężeniem przepływu oddziałują na ilość przepływającego czynnika. Zawory sterujące natężeniem przepływu w zależności od funkcji, dzielą się na grupy:

- zawory dławiące (dławiki),
- zawory dławiąco-zwrotne.

Dławiki działają na zasadzie przepuszczania strumienia przez odpowiedni opór. Opór jest to celowo wykonane przewężenie kanału.

Opory ze względu na konstrukcję są dzielone na (rys. 5.19):

- opory stałe,
- opory nastawne,
- opory zmienne.

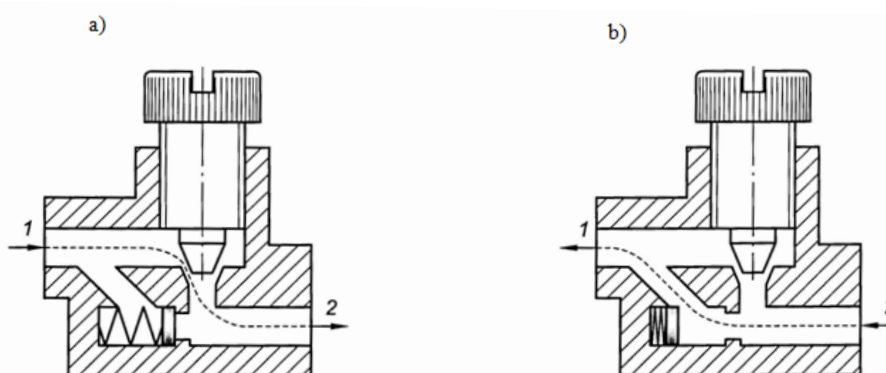


Rys. 5.19. Opory pneumatyczne: a) stały, b) nastawny, c), d) zmienny.

p_1 – ciśnienie wejściowe, p_2 – ciśnienie wyjściowe, l – długość szczeliny, δ – szerokość szczeliny, x – odległość przysłony o dyszy oporu.

[Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

Zawór dławiąco-zwrotny – w zależności od kierunku podawania czynnika roboczego pracuje jako zawór dławiący lub jako zawór zwrotny (rys. 5.19).



Rys. 5.20. Zawór dławiąco-zwrotny pracujący: a) jako dławik, b) jako zawór zwrotny [2]

[Kordowicz-Sot A.: **Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne**. WSiP, Warszawa 1999]

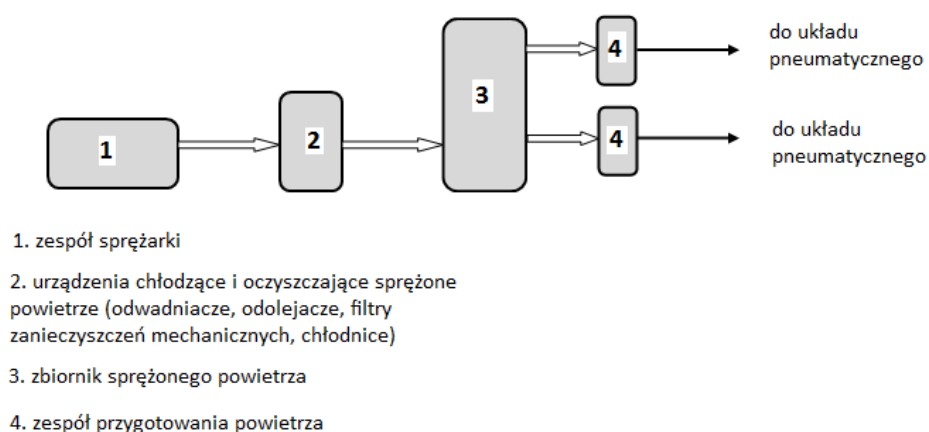
3. Wytwarzanie i przygotowanie sprężonego powietrza

W układach pneumatycznych występuje otwarty obieg czynnika roboczego. Powietrze pobierane z atmosfery po wykonaniu cyklu roboczego upuszczane jest z powrotem do atmosfery.

W celu zapewnienia poprawnej pracy urządzeń pneumatycznych powietrze w układach pneumatycznych musi spełniać następujące warunki:

- 1) musi mieć odpowiednie ciśnienie – najczęściej stosowane jest ciśnienie 6,3 bar (ale możliwe jest stosowanie powietrza o innych wartościach ciśnienia),
- 2) nie może zawierać zanieczyszczeń stałych (pył, rdza) oraz płynnych (woda, zanieczyszczony olej pochodzący ze sprężarki),
- 3) musi mieć odpowiednią wilgotność (osuszone),
- 4) musi być nasycone mgłą olejową z wyjątkiem układów, w których zastosowano siłowniki niewymagające smarowania.

W celu przygotowania sprężonego powietrza wykorzystywanego przez układy pneumatyczne stosowane są specjalne instalacje – schemat ideowy takiej instalacji pokazany jest na rys 5.21. Powietrze zasysane z atmosfery ulega kolejno sprężaniu do wartości charakterystycznej dla danej sprężarki. Ze sprężonego powietrze po przejściu przez chłodnicę usuwany jest kondensat wodny, resztki oleju, zanieczyszczenia

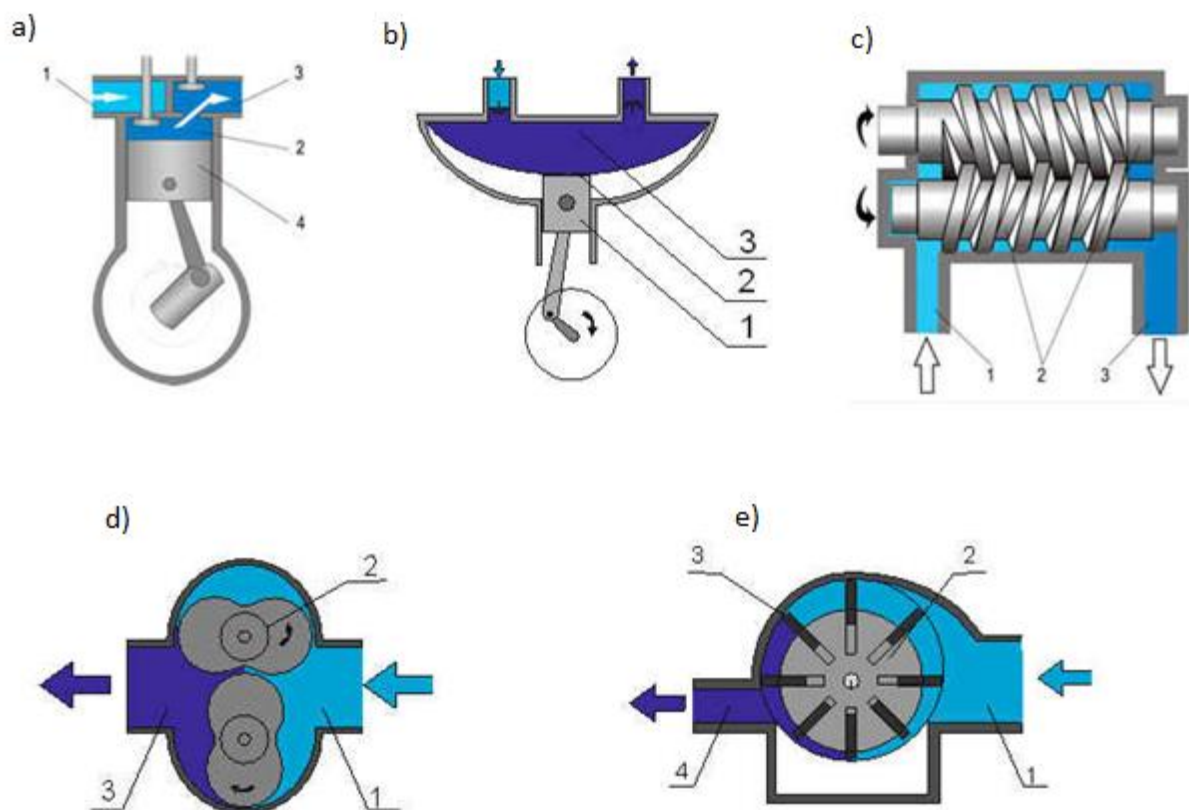


Rys. 5.21. Schemat ideowy instalacji przygotowania sprężonego powietrza
[opracowanie własne]

mechaniczne oraz następuje schłodzenie powietrza. Następnie powietrze wpływa do zbiornika, w którym dodatkowo zostaje ochłodzone i ponownie usunięty zostaje nagromadzony kondensat. Zbiornik zabezpiecza utrzymanie stałego ciśnienia.

Sprężarki tłokowe

Jedną z najbardziej rozpowszechnionych grup sprężarek stosowanych do wytwarzania sprężonego powietrza w przemysłowych instalacjach. Sprężarki tłokowe służą do uzyskiwania ciśnień wyjściowych w zakresie od 0,1 MPa (1 bar) do kilkunastu MPa (kilkadziesiąt bar). Elementem ruchowym sprężarek jest napędzany tłok 4 wykonujący ruchy posuwisto-zwrotne, zasysający powietrze atmosferyczne kanałem 1, sprężający je w komorze sprężania 2, a następnie przesyłający do kanału tłoczenia 3. Schemat konstrukcji sprężarki tłokowej przedstawia rysunek 5.22a.



Rys. 5.22. Rodzaje sprężarek: a) tłokowa, b) membranowa, c) śrubowa, d) Roots'a, e) łopatkowa.
[\[http://www.hafner.pl/podstawy-pneumatyki/wytwarzanie-sprezonego-powietrza\]](http://www.hafner.pl/podstawy-pneumatyki/wytwarzanie-sprezonego-powietrza)

Sprężarki wyporowo-membranowe

Sprężarki membranowe zwane również przeponowymi posiadają tłok 1 poruszający membranę sprężającą powietrze w komorze sprężania 3. Jest on oddzielony od komory sprężania. Brak jest kontaktu bezpośredniego ze sprężanym powietrzem, w związku z czym nie jest ono zanieczyszczane olejem stosowanym do smarowania tłoka. Takie sprężarki znajdują zastosowanie tam gdzie wymagane jest powietrze o bardzo wysokiej czystości (przemysł farmaceutyczny, lakierniczy, spożywczy, chemiczny itp.). Budowę sprężarki membranowej ilustruje rysunek 5.22b.

Sprężarki śrubowe są to urządzenia do wytwarzania sprężonego powietrza o dwóch obracających się wałach 2. Wały 2 mają profil śruby i są asymetryczne względem siebie. Zasada działania oparta jest o powstawanie wewnętrznych komór roboczych, gdzie następuje sprężanie powietrza pomiędzy dwoma wirnikami o kształcie śruby. Powietrze w tych komorach przemieszcza się od kanału ssania 1 do kanału wylotowego 3 (rys. 5.22c).

Sprężarki Roots'a – z dwoma współpracującymi profilowymi wirnikami. Rodzaj sprężarki, w której rolę elementów ruchowych spełniają dwa napędzane wirniki profilowe 2. Cechą charakterystyczną tego typu sprężarek jest to, że powietrze przemieszcza się od wlotu 1 do wylotu 3 bez zmiany objętości. Przestrzeń robocza ma kształt współpracujących ze sobą wirników o kształcie krzywek, a przestrzeń od strony wlotu zwiększa się umożliwiając zasysanie powietrza. Od strony tłoczenia zmniejsza swoją objętość sprężając powietrze. Budowa sprężarki Roots'a przedstawia rys. 5.22d.

Sprężarki wyporowe łopatkowe. Sprężarka, w której zwiększenie ciśnienia powietrza odbywa się w zmniejszających się komorach utworzonych jako przestrzeń po-

między suwliwie zamontowanymi na wirniku 2 łopatkami 3, a obudową sprężarki. Oś wirnika z zamontowanymi łopatkami jest przesunięta mimośrodowo względem osi korpusu. Podczas ruchu wirnika siła odśrodkowa dociska łopatkę do ścianek korpusu uszczelniając komory robocze, które wraz z obrotem zmniejszają swoją objętość sprężając powietrze po stronie tłoczenia 4. Zwiększająca się objętość robocza od strony ssania 1 pozwala na zasysanie powietrza (rys.5. 22e).

Zespół przygotowania powietrza



Rys. 5. 23. Widok zespołu przygotowania powietrza.

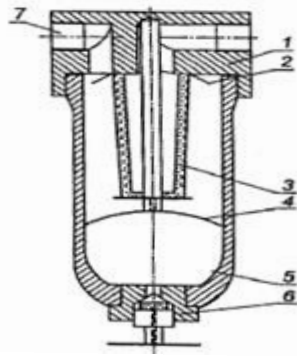
[<http://www.motointegrator.pl/produkty/183567-zespól-przygotowania-powietrza-profitool-14>]

Powietrze sprężone przekazywane do układów pneumatycznych jest ostatecznie przygotowane w zespołach przygotowania powietrza. Przygotowanie powietrza polega na:

- ostatecznym oczyszczeniu z zanieczyszczeń mechanicznych, wilgoci i pozostałości oleju,
- zadaniu odpowiedniej wartości ciśnienia powietrza,
- nasyceniu mgłą olejową („nasmarowaniu” powietrza) – jeżeli jest taka potrzeba; nowe generacje elementów układów pneumatyki nie wymagają powietrza nasyczonego mgłą olejową.

W skład zespołu przygotowania powietrza wchodzi: filtr, którego zadaniem jest usuwanie zanieczyszczeń stałych, zawór redukcyjny z manometrem do ustawiania odpowiedniej wartości sprężonego powietrza oraz smarownica do nasycenia mgłą olejową.

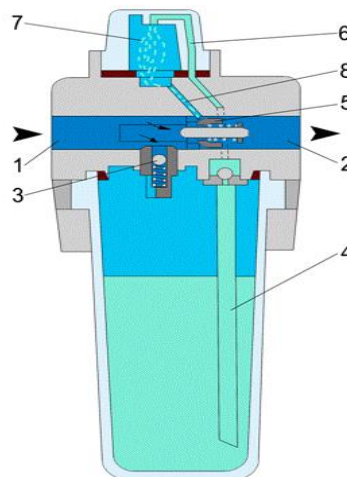
Przykładową konstrukcję filtra pokazano na rys. 5.24. Sprężone powietrze wpływając kanałem 7 i uderzając o ściankę korpusu 1, zmienia kierunek przepływu. Następnie, natrafiając na kierownicę 2, jest wprowadzany w ruch wirowy. W wyniku działania siły odśrodkowej większe zanieczyszczenia stałe i płynne osiadają na ściankach filtra, a następnie spływają do zbiornika 5. Dokładne oczyszczanie następuje podczas przepływu powietrza przez wkład filtrujący. Osłona zapobiega ponownemu dostaniu się wcześniej oddzielonych większych zanieczyszczeń do przepływającego powietrza.



Rys. 5. 24. Schemat budowy filtra sprężonego powietrza: 1. korpus, 2. kierownica, 3. wkładka filtrująca, 4. osłona, 5. zbiornik, 6. zawór spustowy zanieczyszczeń, 7. otwór wlotowy
[Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

Smarownica powietrza

Sprężone powietrze przepływa od kanału 1 do kanału 2. Na zwężce zaworu 5 następuje spadek ciśnienia powietrza. W kanale 8 i przestrzeni 7 powstaje podciśnienie i zassanie oleju poprzez kanał 6 i rurkę 4, a następnie rozpylenie skapujących kropli oleju w strumieniu przepływającego powietrza.










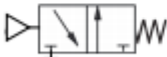


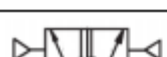


Rys. 5.25. Schemat konstrukcji smarownicy sprężonego powietrza: 1. kanał wlotowy, 2. kanał wylotowy, 3. zawór zwrotny, 4. rurka, 5. zawór, 6. kanał doprowadzający olej, 7. komora kroplenia oleju, 8. kanał kroplenia

[<http://tbystrowski.notatki.oen.agh.edu.pl/page/index.php?id=pne&pne=pwyk4#3.1.1>]

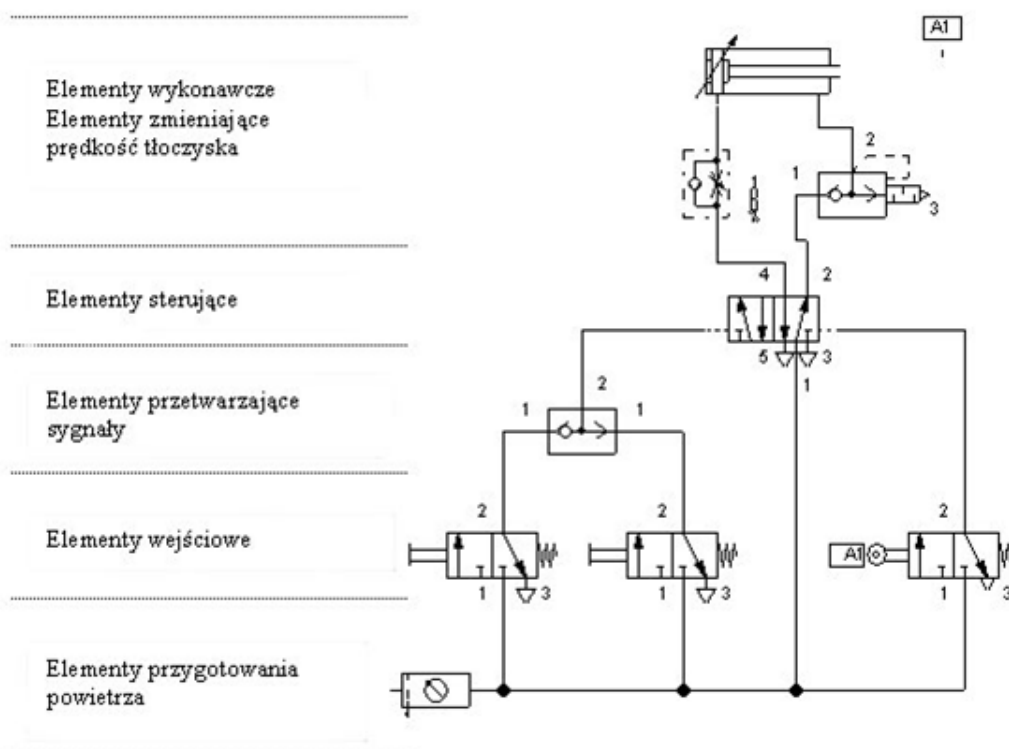
Układy sterowania pneumatycznego i elektropneumatycznego

Elementy i urządzenia układów napędowych można przedstawić na rysunkach w mniej lub bardziej uproszczony sposób lub za pomocą umownych symboli. Symbole te, zawarte w Polskiej Normie PN-ISO 1219-1 – w sposób bardzo uproszczony oddają istotę konstrukcji i sposoby działania przedstawionych elementów.

Symbol graficzny	Opis
	Przewód pneumatyczny
	Połączenie przewodów pneumatycznych
	Zespół przygotowania powietrza (filtr + smarownica + reduktor)
	Siłownik (cylinder) pneumatyczny jednostronnego działania pchający
	Siłownik (cylinder) pneumatyczny tłokowy dwustronnego działania
	Zawór szybkiego spustu
	Regulowany zawór dławiąco-zwrotny (ze swobodnym przepływem w jednym kierunku i dławionym przepływem w drugim kierunku)
	Rozdzielacz 3/2 (trzydrogowy, dwupółłożeniowy) ze sprężyną powrotną, sterowany przyciskiem
	J.w., sterowany dźwignią rolkową
	J.w., sterowany ciśnieniem; normalnie otwarty
	Rozdzielacz 5/2 (pięciodrogowy, dwupółłożeniowy) ze sprężyną powrotną, sterowany dźwignią
	J.w., sterowany ciśnieniem
	Rozdzielacz 5/2 bistabilny (bez sprężyny powrotnej), sterowany obustronnie ciśnieniem

Rys. 5.26. Wybrane symbole stosowane na schematach układów pneumatycznych
[\[http://www2.simr.pw.edu.pl/imrc/polski/Cwiczenie_HP4-instrukcja.pdf\]](http://www2.simr.pw.edu.pl/imrc/polski/Cwiczenie_HP4-instrukcja.pdf)

Symbole wszystkich elementów tworzących układ pneumatyczny rysowane są na schematach zgodnie z zasadą przedstawioną na rysunku 5.27.



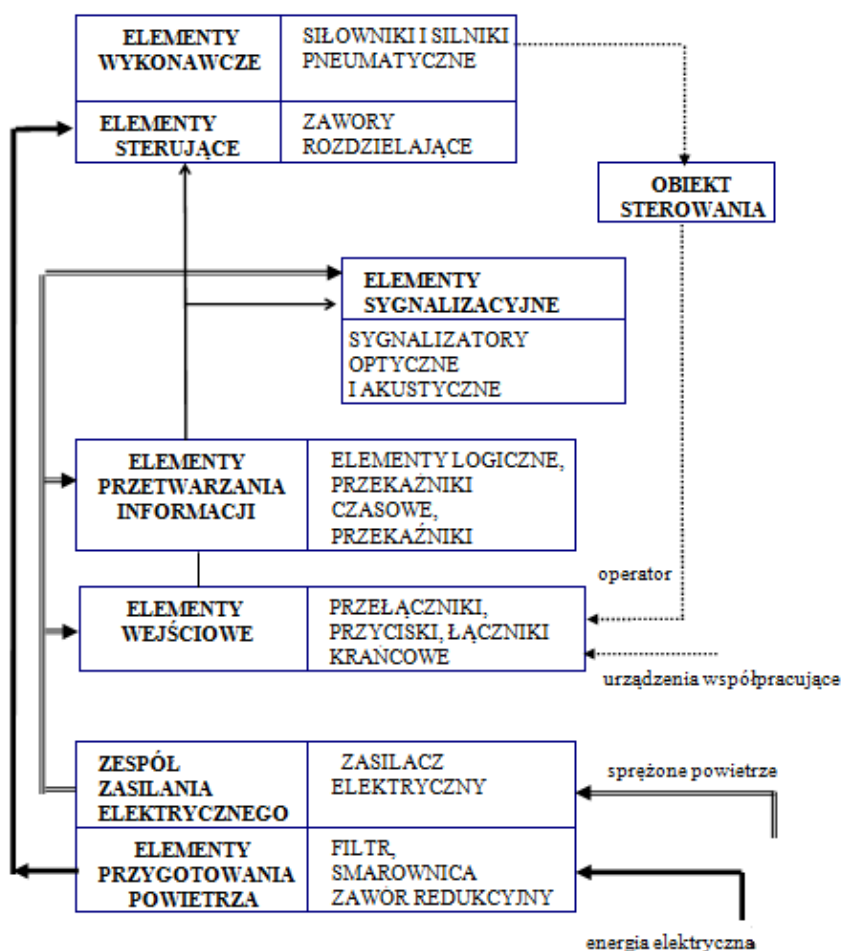
Rys. 5. 27. Rozmieszczenie symboli elementów pneumatycznych na schematach układów pneumatycznych [Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

Strukturę funkcjonalną elektropneumatycznego układu przedstawiono na rys. 5.28.

Ze względu na funkcję w układzie, elementy można podzielić na następujące:

- 1) elementy wykonawcze – zamiana energii sprężonego powietrza na energię mechaniczną,
- 2) elementy sterujące – sterowanie przepływem powietrza do elementów wykonawczych,
- 3) elementy sygnalizacyjne – podawanie informacji o aktualnym stanie sygnałów w określonych miejscach układu,
- 4) elementy przetwarzania informacji – realizacja zależności logicznych pomiędzy sygnałami w celu zapewnienia odpowiedniego sposobu pracy elementów wykonawczych,
- 5) elementy wejściowe – dostarczanie informacji o stanie elementów wykonawczych układu, wprowadzanie do układu informacji typu START, STOP oraz informacji o stanie urządzeń współpracujących,
- 6) elementy przygotowania powietrza – usunięcie ze sprężonego powietrza zanieczyszczeń, nasycenie powietrza mgłą olejową, redukcja wartości ciśnienia do odpowiedniego poziomu,

- 7) elementy zasilania elektrycznego – dostarczenie energii elektrycznej do układu sterującego.



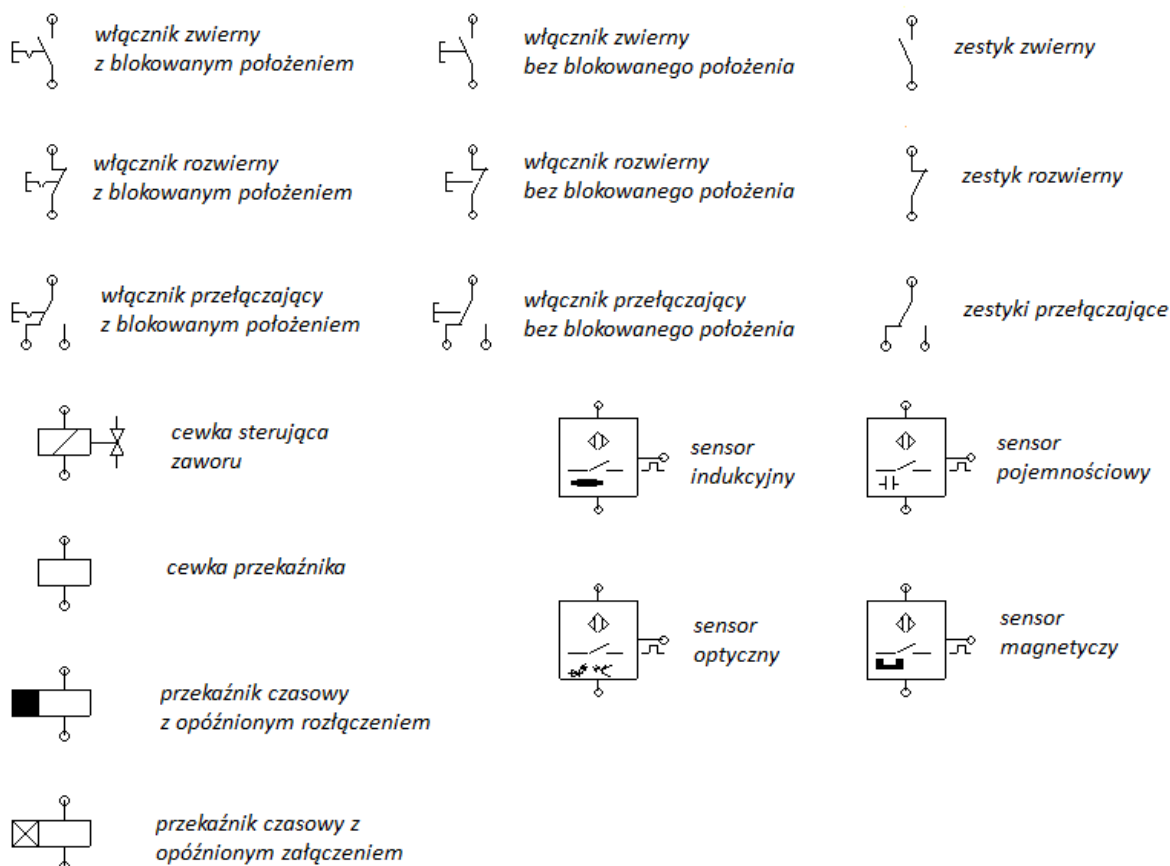
Rys. 5.28. Struktura funkcjonalna układu elektropneumatycznego

[Kordowicz-Sot A.: *Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne*. WSiP, Warszawa 1999]

W układach elektropneumatycznych można wyodrębnić część pneumatyczną (elementy wykonawcze) oraz część elektryczną (elementy wejściowe, przetwarzania informacji, sygnalizacyjne i sterujące). Do sterowania elementów wykonawczych stosuje się układy sterowania przekaźnikowo-stycznikowego (patrz moduł IV „Układy sterowania przekaźnikowo-stycznikowego”).

Najczęściej układ sterowania układu elektropneumatycznego zasilany jest prądem stałym o napięciu 24 V, 48 V lub prądem zmiennym 230 V.

Poniżej podano wybrane symbole elementów elektrycznych stosowanych w układach elektropneumatycznych.



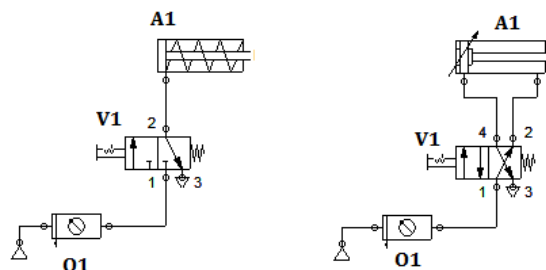
Rys. 5.29. Wybrane symbole elementów elektrycznych stosowane na schematach układów elektropneumatycznych [opracowanie własne]

4. Podstawowe układy pneumatyczne i elektropneumatyczne

Ze względu na sposób sterowania elementu wykonawczego układy pneumatyczne dzielimy na:

- układy sterowania bezpośredniego,
- układy sterowania pośredniego.

W układach sterowania bezpośredniego element wykonawczy zasilany jest sprężonym powietrzem bezpośrednio przez element wejściowy lub element przetwarzający informację rys.5.30.

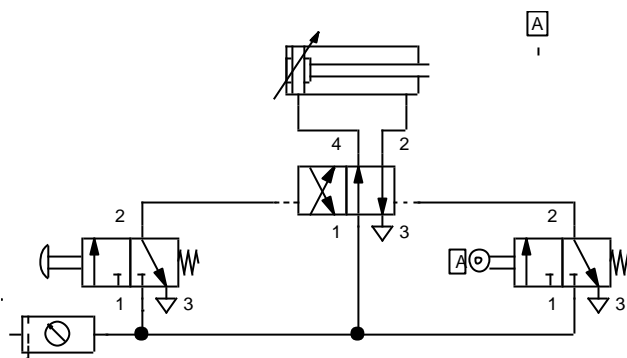


Rys. 5.30. Układy pneumatyczne bezpośredniego sterowania: a) siłownikiem jednostronnego działania, b) z siłownikiem dwustronnego działania [opracowanie własne]

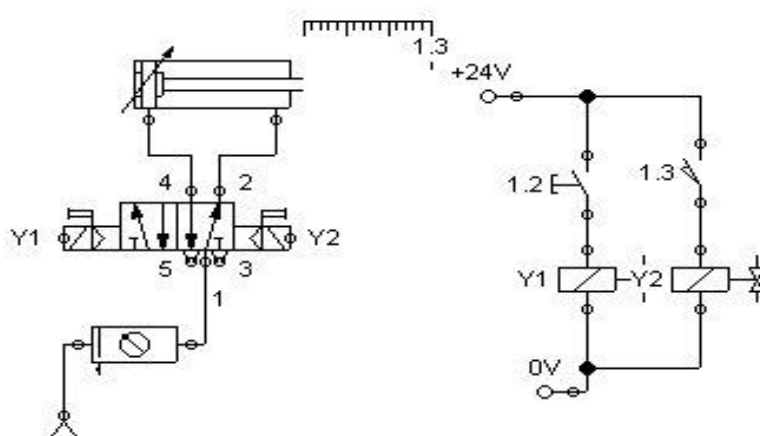
Układy wykonawcze pneumatyczne i elektropneumatyczne w zależności od realizowanego zadania dzielimy na:

- układy sterowania w funkcji drogi (położenia),
- układu sterowania w funkcji ciśnienia (siły),
- układy sterowania w funkcji czasu.

W układach sterowania w funkcji położenia montowane są czujniki położenia tłoczyska siłownika. Zmiana położenia zaworu sterującego nastąpi w momencie, gdy tłoczysko, wysuwając się, zajmie położenie określone umiejscowieniem czujnika położenia (zaworu drogowego lub czujnika elektrycznego) – rys. 5.33.

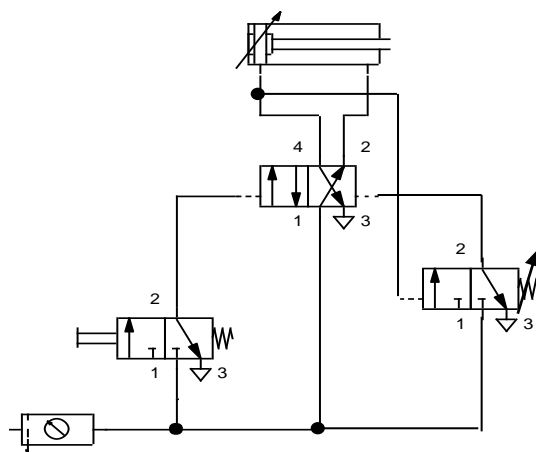


Rys. 5.33. Pneumatyczny układ sterowania siłownikiem w funkcji drogi
[Kordowicz-Sot A.: *Analizowanie działania układów pneumatycznych* 311[50].01.07, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005]

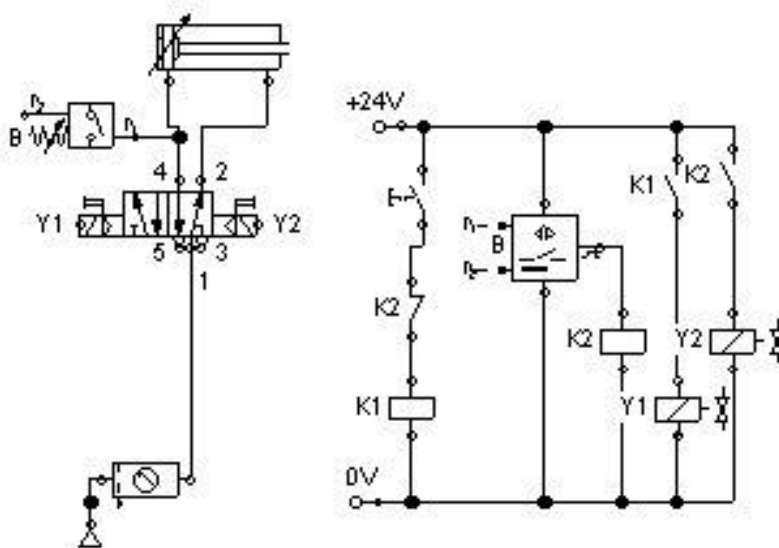


Rys. 5.34. Elektropneumatyczny układ sterowania siłownikiem w funkcji drogi
[Kordowicz-Sot A.: *Analizowanie działania układów pneumatycznych* 311[50].01.07, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005]

W układach sterowanie siłownika w funkcji ciśnienia (siły) zmiana położenia zaworu sterującego siłownikiem następuje po osiągnięciu w układzie określonej wartości ciśnienia. Wartość ciśnienia określana jest za pomocą **przełącznika** ciśnienia (pneumatycznego lub elektrycznego) – rys. 5.35.



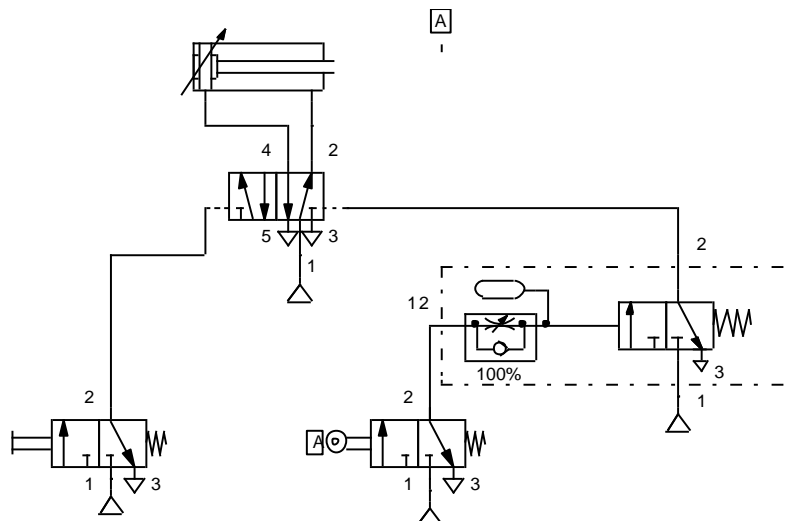
Rys. 5.35. Pneumatyczny układ sterowania siłownikiem w funkcji ciśnienia
[Kordowicz-Sot A.: *Analizowanie działania układów pneumatycznych* 311[50].01.07, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005]



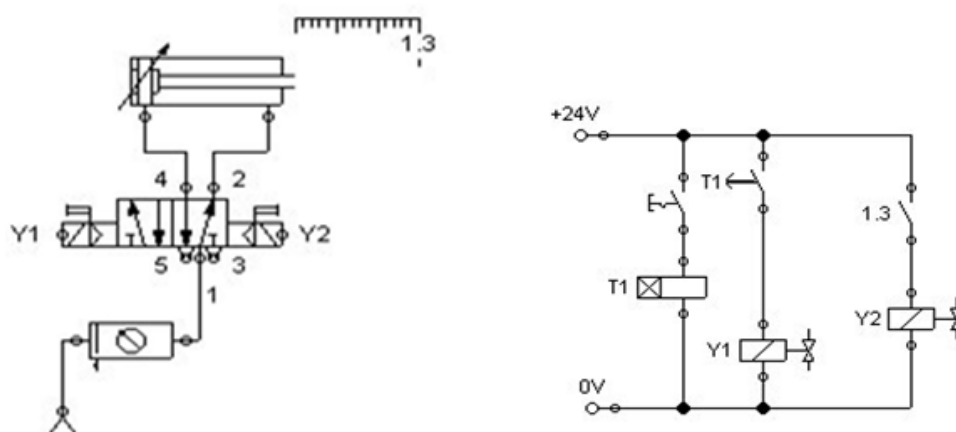
Rys. 5.36. Elektropneumatyczny układ sterowania siłownikiem w funkcji ciśnienia
[Kordowicz-Sot A.: *Analizowanie działania układów pneumatycznych* 311[50].01.07, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005]

W układach sterowania siłownikiem w funkcji czasu, sygnał zmieniający położenie zaworu sterującego siłownikiem pojawi się po upływie określonego czasu od zaistniałego zdarzenia (rys. 5.37).

Wsunięcie tłoczyska siłownika nastąpi po upływie określonego czasu od naciśnięcia przez wysunięte tłoczysko krańcówki umieszczonej w punkcie A (lub 1.3 dla układu elektropneumatycznego).

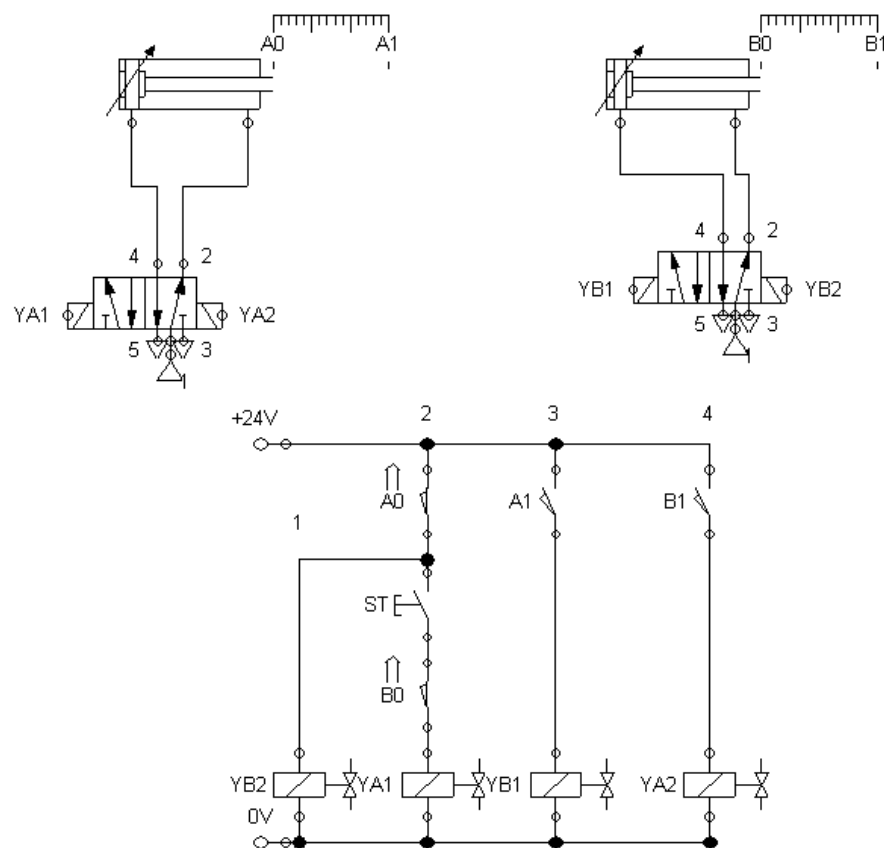


Rys. 5.37. Pneumatyczny układ sterowania siłownikiem w funkcji czasu
[Kordowicz-Sot A.: *Analizowanie działania układów pneumatycznych* 311[50].01.07, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005]

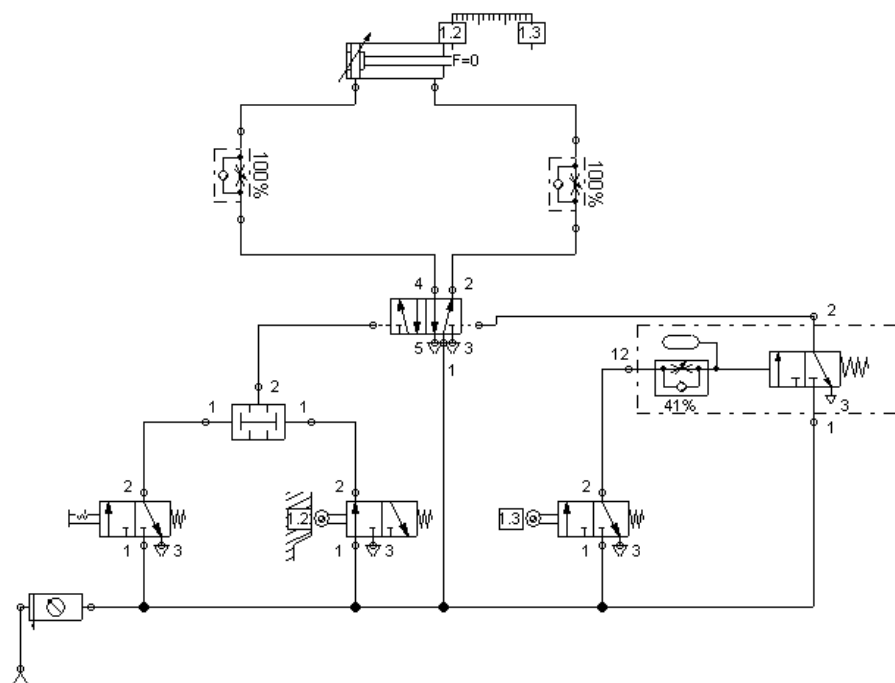


Rys. 5.38. Elektropneumatyczny układ sterowania siłownikiem w funkcji czasu
[Kordowicz-Sot A.: *Analizowanie działania układów pneumatycznych* 311[50].01.07, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005]

Na rysunku 5.39. przedstawiony jest elektropneumatyczny układ sterowania w cyklu automatycznym. Działanie układu jest następujące: po naciśnięciu włącznika ST przez cewkę sterującą YA1 popłynie sygnał elektryczny powodując wysunięcie tłoczyska siłownika A. Gdy tłoczysko siłownika A wysunie się (osiągnie położenie A1) zadziała czujnik A1 położenia tłoczyska i sygnał elektryczny pojawi się na cewce sterującej YB1 powodując wysunięcie tłoczyska siłownika B. Jeżeli tłoczysko siłownika B wysunie się i osiągnie położenie B1 (zadziała czujnik B1) to sygnał elektryczny pojawi się na cewce YA2 powodując wsunięcie tłoczyska siłownika A. po całkowitym wsunięciu tłoczyska siłownika A pojawi się sygnał elektryczny na cewce YB2 i nastąpi wsunięcie tłoczyska siłownika B. Na tym kończy się cykl pracy układu.



Rys. 5.39. Elektropneumatyczny układ sterowania siłownikiem w cyklu automatycznym [opracowanie własne]



Rys. 5.40. Pneumatyczny układ sterowania siłownikiem w cyklu automatycznym [opracowanie własne]

Na rysunku 5.40. przedstawiony jest pneumatyczny układ sterowania w cyklu automatycznym. Działanie układu jest następujące: po naciśnięciu zaworu ST nastąpi wysunięcie tłoczyska siłownika do położenia 1.3. W tym położeniu nastąpi zatrzymanie ruchu tłoczyska siłownika i czas zatrzymania odmierzany jest przez zawór czasowy. Po upływie czasu zatrzymania tłoczysko siłownika wsunie się.

5. Zasady bezpieczeństwa podczas użytkowania układów pneumatycznych i elektropneumatycznych

Chociaż pneumatykę uważa się za technikę bezpieczną, ponieważ sprężone powietrze jako nośnik energii wyklucza porażenia, poparzenia, zatrucia itp. zjawiska niebezpieczne dla życia i zdrowia ludzkiego, a ponadto nie może być przyczyną pożaru lub wybuchu. Urządzenia pneumatyczne mogą stwarzać zagrożenia pośrednie przez:

- odłamki rozrywanych ciśnieniem korpusów, osłon itp.,
- elementy wydobywające się przez uszkodzone przewody,
- „miotający” się koniec elastycznego przewodu podłączonego do urządzenia zasilającego,
- nieprawidłowe działanie zespołów wykonawczych na skutek błędnego wysterowania,
- hałas,
- drgania urządzeń pneumatycznych przenoszone na obsługę tych urządzeń.

Większość układów pneumatycznych zawiera zbiorniki ciśnieniowe oraz przewody o znacznej pojemności.

Jakiegokolwiek czynności obsługowe powinny być wykonywane tylko w stanie bezciśnieniowych, tzn. wtedy, gdy odłączone jest zasilanie urządzenia pneumatycznego oraz ze wszystkich elementów układu upuszczone jest sprężone powietrze – jest to bardzo ważne, gdyż w przypadku pozostawienia sprężonego powietrza w jakiejś części układu pneumatycznego istnieje niebezpieczeństwo wykonania niekontrolowanego ruchu przez tłoczysko siłownika.

Zbiorniki, sprężarki instalacji sprężonego powietrza podlegają przepisom dotyczącym urządzeń ciśnieniowym i mogą być obsługiwane tylko przez osoby upoważnione.

Elektryczne urządzenia sterujące w układach elektropneumatycznych z reguły zasilane są prądem stałym o napięciu 24V (48V) – a więc prądem bezpiecznym. Jednak w przypadkach korzystania w układach sterowania z zasilania o napięciu np. 230 V AC należy stosować wszystkie zasady obowiązujące przy obsłudze urządzeń elektrycznych.

Bibliografia:

1. Kordowicz-Sot A.: Automatyka i robotyka. Napęd i sterowanie hydrauliczne i pneumatyczne. WSiP, Warszawa 1999
2. Kordowicz-Sot A.: Analizowanie działania układów pneumatycznych 311[50].01.07, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005.
3. Schmid D., Baumann A., Kaufmann H., Paetzold H., Zippel B.: Mechatronika. REA, Warszawa, 2002
4. Szenajch W.: Napęd i sterowanie pneumatyczne. WNT, Warszawa 2005

Netografia:

1. <http://www.artom.com.pl/ani/002.htm> - Artom Przedsiębiorstwo Handlowo Usługowe Romuald Pocięj, Siłownik dwustronnego działania podczas pracy - sterowany zaworem 5/2 z dwoma cewkami.
2. <http://www.comfilter.pl/sprezarki/> - Sprężarki, kompresory śrubowe do sprężonego powietrza Niemieckiej firmy Babatz.
3. <http://www.czwartemedium.com/dobor-zbiornika-sprezonego-powietrza/> - Dobór zbiornika sprężonego powietrza.
4. <http://www.hafner.pl/podstawy-pneumatyki/zawory-rozdzielajace-dydaktyka> - HAFNER, Zawory sterujące kierunkiem przepływu sprężonego powietrza - zawory sterujące.
5. <http://www.hafner.pl/podstawy-pneumatyki/wytwarzanie-sprezonego-powietrza> - HAFNER, Wytwarzanie sprężonego powietrza.
6. <http://www.motointegrator.pl/produkty/183567-zespol-przygotowania-powietrza-profitool-14> - Inter Cars S.A., Zespół przygotowania powietrza PROFITool 1/4".
7. http://www2.simr.pw.edu.pl/imrc/polski/Cwiczenie_HP4-instrukcja.pdf - Instytut Maszyn Roboczych Ciężkich, Podstawowe elementy układów pneumatycznych.
8. <http://tbystrowski.notatki.oen.agh.edu.pl/page/index.php?id=pne&pne=pwyk4#3.1.1> - Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, PRZETWORNIKI ENERGII SPRĘŻONEGO POWIETRZA NA ENERGIĘ MECHANICZNĄ.
9. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Ball.PNG> - Wikipedia, Budowa zaworu kulowego.
10. <http://www.hafner.pl/podstawy-pneumatyki/wytwarzanie-sprezonego-powietrza> - HAFNER, Wytwarzanie sprężonego powietrza.