

Michał Bartyś

**Inteligentne urządzenia pomiarowe i wykonawcze
preskrypt**

Rozdział 17
Część 3

Warszawa 2010



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Spis treści części 3.

17. Inteligentne elektropneumatyczne elementy wykonawcze

17.1. Rola i miejsce elementów wykonawczych w układzie automatyki

17.2. Elektropneumatyczny element wykonawczy

17.3. Właściwości statyczne

17.4. Właściwości dynamiczne

17.4.1. Ograniczenia mechaniczne

17.4.2. Napięcie wstępne sprężyny zwrotnej.

17.4.3. Ograniczenia ciśnienia zasilania pneumatycznego

17.4.4. Kierunkowość właściwości dynamicznych

17.4.5. Wskaźniki jakości regulacji.

17.5. Charakterystyka przepływowa zaworu

17.6. Instalacja elektropneumatycznych elementów wykonawczych

17.7. Zjawiska kawitacji i wrzenia

17.8. Przykład realizacji inteligentnego ustawnika elektropneumatycznego

17.9. Podsumowanie

17.10. Literatura

17. Inteligentne elektropneumatyczne elementy wykonawcze

17.1. Rola i miejsce elementów wykonawczych w układzie automatyki

W procesach technologicznych elementy wykonawcze automatyki stosowane są do bezpośredniego sterowania strumieni materiałowo-energetycznych. W strukturze układów sterowania pełnią rolę elementów pośredniczących pomiędzy regulatorami a obiektami sterowania (rys. 1). Jest oczywiste, że właściwości statyczne i dynamiczne elementu wykonawczego mają wpływ na właściwości całego układu regulacji. Zatem w fazie projektowania układu regulacji automatycznej fakt ten powinien być uwzględniony i analizowany. Jeśli stosunek zastępczych stałych czasowych modeli uproszczonych opisujących element wykonawczy i obiekt regulacji jest dostatecznie mały (np. mniejszy od 0,01), to we wstępnej fazie projektowania układu regulacji można przyjąć, że dopuszczalne jest pominięcie właściwości dynamicznych elementów wykonawczych. W uproszczeniu można wówczas przyjąć, że element wykonawczy w interesującym (relatywnie niskim) paśmie częstotliwości, wprowadza pomijalne małe przesunięcie fazowe sygnału wyjściowego w stosunku do przesunięcia fazowego wnoszonego przez obiekt. Jeśli dodatkowo jego charakterystyka statyczna elementu wykonawczego w zakresie roboczym jest charakterystyką liniową, to element taki ma właściwości zbliżone do właściwości elementu proporcjonalnego. W takim przypadku element wykonawczy może być traktowany jako idealny element proporcjonalny o wzmacnieniu 1.

Idealny element wykonawczy ma charakterystykę idealnego członu proporcjonalnego o wzmacnieniu 1.

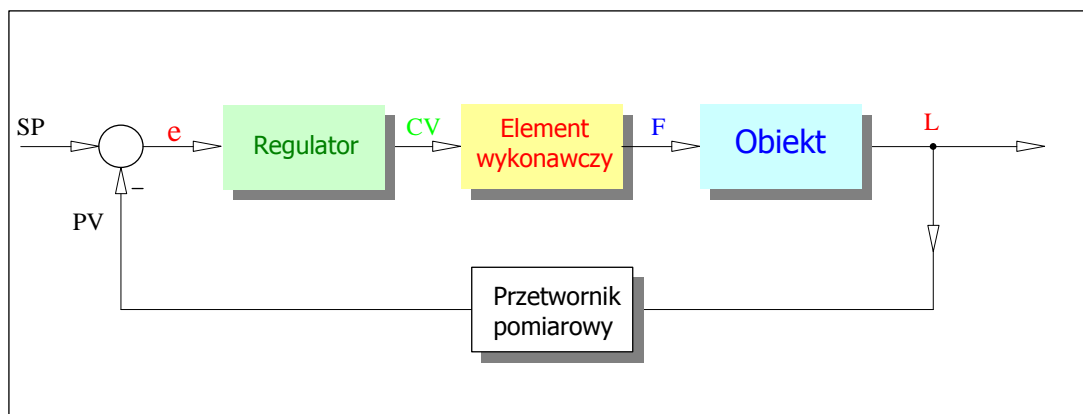
W takim przypadku rola elementu wykonawczego polega nie tyle na wzmacnieniu sygnału (w kategoriach bezwymiarowych), ale na wzmacnieniu mocy i na zmianie postaci fizycznej sygnału sterującego. Uzyskanie odpowiedniego wzmacnienia mocy wymaga dostarczenia do elementu wykonawczego dodatkowej energii zewnętrznej. Zależnie od postaci tej energii mówimy o pneumo-elektrycznych, elektro-hydraulicznych, pneumo-hydraulicznych i elektrycznych elementach wykonawczych. W przypadku elektropneumatycznych elementów wykonawczych energia ta dostarczana jest w postaci energii sprężonego powietrza.

Przykład 17.1: Załóżmy, że fizycznym sygnałem wyjściowym regulatora jest sygnał prądu stałego w znormalizowanym zakresie 4-20mA. Sygnał ten jest sygnałem sterującym elementu wykonawczego. Załóżmy, że maksymalne napięcie na zaciskach wyjściowych regulatora przy prądzie wyjściowym 20mA wynosi 10V DC. Moc maksymalna tego sygnału jest więc równa 200mW. Załóżmy dalej, że sygnał ten jest sygnałem wejściowym elektropneumatycznego elementu wykonawczego o ruchu liniowym. Sygnałem wyjściowym elementu wykonawczego jest sygnał przestawienia jego organu ruchomego, który poprzez odpowiedni układ dźwigniowy napędza np. kłapy sterujące stosunek powietrza do paliwa w kotle energetycznym. W trakcie przestawienia, organ ruchomy pokonuje siły bezwładności, siły tarcia oraz siły oddziaływania ciśnienia statycznego i dynamicznego sterowanego medium. Jeśli w dużym uproszczeniu założymy, że suma sił pokonywanych przez organ ruchomy elementu wykonawczego wykonującego przemieszczenie 100 mm ruchem jednostajnym w ciągu 1 s jest w przybliżeniu stała i równa 2000 N, to moc konieczna do realizacji tego przemieszczenia jest co najmniej równa 200W. Energia potrzebna do pokonania tych sił znacznie przewyższa poziom energii elektrycznej sygnału wejściowego. Pokonanie tych sił wymaga dostarczenia odpowiedniej mocy z zewnątrz. W tym przypadku średnie wzmacnienie mocy w układzie wykonawczym wynosi 1000. W przypadku sterowania tego samego

elementu wykonawczego sygnałem napięciowym np. z zakresu 0..10V DC przy założeniu prądu wyjściowego na poziomie 0,1mA, dla wykonania tego samego zadania sterowania, średnie wzmocnienie mocy w układzie wykonawczym wynosi już nie 1000 ale 200 000. Wpływają stąd następujące wnioski praktyczne:

- element wykonawczy w układzie automatyki pełni rolę układu wzmocnienia mocy,
- w układzie regulacji, element wykonawczy jest elementem pośredniczącym pomiędzy wyjściem regulatora i wejściem obiektu regulacji,
- element wykonawczy jest niezbędny do fizycznej realizacji układów regulacji,
- podawanie stopnia wzmocnienia mocy dla elementów wykonawczych nie jest praktykowane. Wynika ono z trudności lub niemożliwości jego określenia w przypadku gdy sygnał wyjściowy regulatora jest niematerialnym sygnałem wirtualnym.
- w miejsce parametru określającego wzmocnienie mocy, w przypadku elementów wykonawczych operuje się wzmocnieniem bezwymiarowym sygnału wejściowego elementu wykonawczego, a więc bezwymiarowym stosunkiem sygnału nastawiającego i sterującego.

Miejsce elementu wykonawczego w prostym, jednoobwodowym układzie regulacji przedstawiono na rys. 17.1.



Rys. 17.1: Miejsce elementu wykonawczego w strukturze prostego jednoobwodowego układu automatyki.

W praktyce właściwości statyczne i dynamiczne układu wykonawczego powinny być brane w projektowaniu i analizie układów regulacji automatycznej. Wynika to z faktu, że sam element wykonawczy jest często realizowany w postaci niezależnego układu automatyki, którego parametry mogą w istotny sposób wpływać na właściwości całego układu regulacji np. wówczas, gdy np. element wykonawczy znajduje się na granicy stabilności. jest niestabilna i może być np. układem niestabilnym.

Element wykonawczy jest często realizowany w postaci autonomicznego nadążnego układu regulacji automatycznej śledzącego wartość sterującą regulatora

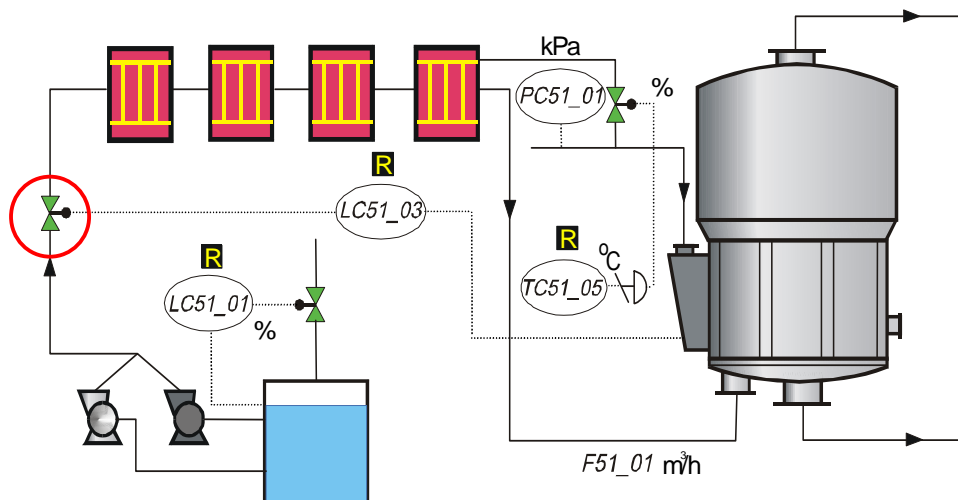
Elementy wykonawcze należą do grupy elementów układów automatyki podlegających najczęstszemu uszkodzeniu. Szacuje się, że wśród uszkodzeń elementów pomiarowych, wykonawczych i komponentów technologicznych, udział awarii elementów wykonawczych przekracza 40%. Wynika to z ciężkich warunków pracy tych urządzeń. Urządzenia

wykonawcze pracują często w warunkach wysokiej temperatury, zapylenia, wilgoci, silnych drgań czy w otoczeniu atmosfery agresywnej chemicznie. Uszkodzenie elementów wykonawczych może prowadzić do pogorszenia jakości produktu finalnego, a nawet może prowadzić do zatrzymania procesu. Wszystkie te czynniki powodują zmniejszenie bezpieczeństwa procesu i ludzi, a także pogorszenie wskaźników ekonomicznych przedsiębiorstwa. Z tego powodu coraz większego znaczenia nabiera aspekt zapewnienia możliwie bezawaryjnej pracy takich urządzeń lub przynajmniej minimalizacji wpływu występujących uszkodzeń na jakość sterowanego procesu. W tym kontekście, szczególnego znaczenia nabierają zagadnienia przewidywania i diagnozowania uszkodzeń, a także sposoby ich tolerowania. Realizacja tych zadań może odbywać się np. na drodze analizy diagnostycznej dostępnych sygnałów w zewnętrznym systemie sterowania typu DCS czy SCADA lub przy wykorzystaniu funkcji autodiagnostycznych samych elementów wykonawczych. W pierwszym przypadku mówimy o **diagnostyce zdalnej** realizowanej okresowo (w trybie off-line) bądź o **diagnostyce bieżącej** (realizowanej w trybie on-line). Diagnostyka bieżąca jest często realizowana przez urządzenia wykonawcze samodzielnie. W takim przypadku mówimy o **diagnostyce wbudowanej**. Realizacja wbudowanych funkcji diagnostycznych wymaga wyposażenia elementu wykonawczego w funkcje komunikacyjne. Element wykonawczy realizujący funkcje komunikacyjne nazywany jest powszechnie, choć nieprecyzyjnie elementem inteligentnym.

Immanentnym atrybutem inteligentnych elementów wykonawczych są funkcje komunikacyjne

Zwykle inteligentne elementy wykonawcze, poza funkcjami komunikacyjnymi, realizują także funkcje regulacyjne, autonastawcze (autostrojenie), diagnostyczne, funkcje tolerowania niektórych uszkodzeń wewnętrznych, funkcje pomiarowe, itp. Niektóre inteligentne urządzenia wykonawcze pełnią dodatkową rolę np.: regulatora procesu. Aspekt bezpieczeństwa procesu i przydatności funkcji diagnostycznych zostanie przedstawiony na poniższym przykładzie.

Przykład 17.2. Na rysunku 17.2 przedstawiono obraz synoptyczny układu regulacji poziomu soku rzadkiego w pierwszym stopniu wyparnym w cukrowni. Element wykonawczy (zaznaczony okręgiem) steruje strumieniem objętościowym soku rzadkiego podawanego ze zbiornika buforowego przez jedną z dwóch pomp pracujących w równoległym układzie redundantnym. Po wstępnym podgrzaniu w serii podgrzewaczy, sok jest podawany do aparatu wyparnego, gdzie podlega częściowemu zagęszczeniu przez odparowanie i następnie jest przekazywany do następnego aparatu wyparnego. Sok w aparacie wyparnym podgrzewany jest parą. Załóżmy, że wskutek uszkodzenia zaworu regulacyjnego elementu wykonawczego, dopływ soku rzadkiego do aparatu wyparnego w pewnym momencie zostanie zablokowany. Ze względu na wysoki rząd dynamiki procesów cieplnych, a zatem ze względu na występujące opóźnienia, następuje szybkie odparowanie soku w aparacie wyparnym, co prowadzi do karmelizacji powierzchni wewnętrznych aparatu i wzrostu ciśnienia w aparacie. Proces odparowania soku jest na tyle procesem dynamicznym, że odparowanie soku w aparacie wyparnym może nastąpić w ciągu zaledwie kilkadziesiąt sekund. W tym przypadku uzyskanie szybkiej i dostatecznie wiarygodnej informacji diagnostycznej o zaistniałym uszkodzeniu pozwala na podjęcie odpowiednich działań zapobiegawczych.



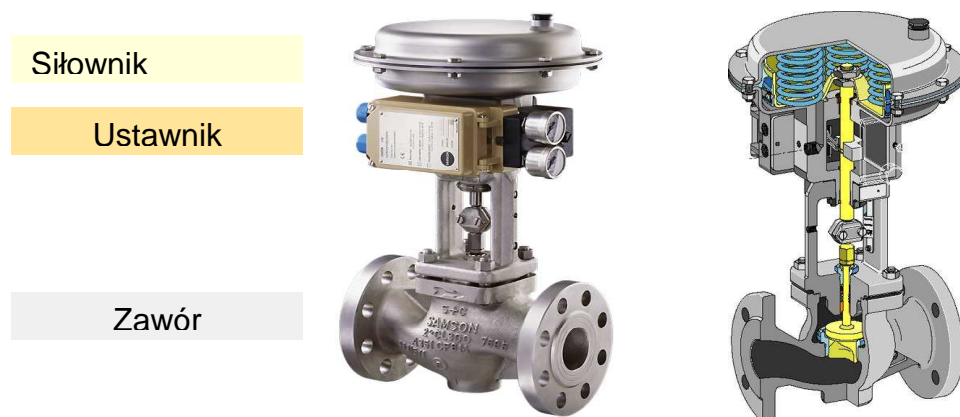
Rys.17.2. Przykład zastosowania elementu wykonawczego (zaznaczonego okręgiem) w układzie regulacji poziomu soku rzadkiego w aparacie wyparnym w cukrowni.

17.2. Elektropneumatyczny element wykonawczy

Istnieje wiele odmian konstrukcyjnych elektropneumatycznych elementów wykonawczych. Do głównych grup konstrukcyjnych są zaliczane:

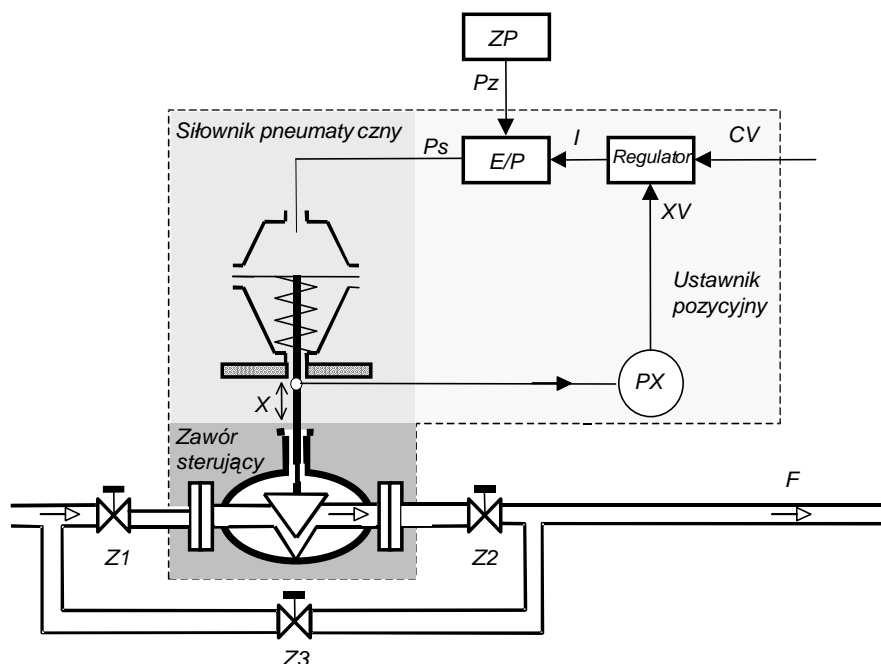
- elektropneumatyczne elementy wykonawcze jednostronnego działania o ruchu liniowym,
- elektropneumatyczne elementy wykonawcze jednostronnego działania o ruchu obrotowym,
- elektropneumatyczne elementy wykonawcze dwustronnego działania o ruchu liniowym,
- elektropneumatyczne elementy wykonawcze dwustronnego działania o ruchu obrotowym.

W tym rozdziale zajmiemy się wyłącznie pewną ich klasą, mającą duże znaczenie praktyczne, a mianowicie elektropneumatycznymi elementami wykonawczymi jednostronnego działania o ruchu liniowym. Elementy tego typu są stosowane między innymi w przemyśle: energetycznym, chemicznym, petrochemicznym, spożywczym, farmaceutycznym. Przemysłowy elektropneumatyczny element wykonawczy tego typu składa się z trzech elementów: siłownika pneumatycznego, ustawnika pozycyjnego oraz zaworu regulacyjnego (rys. 17.3).



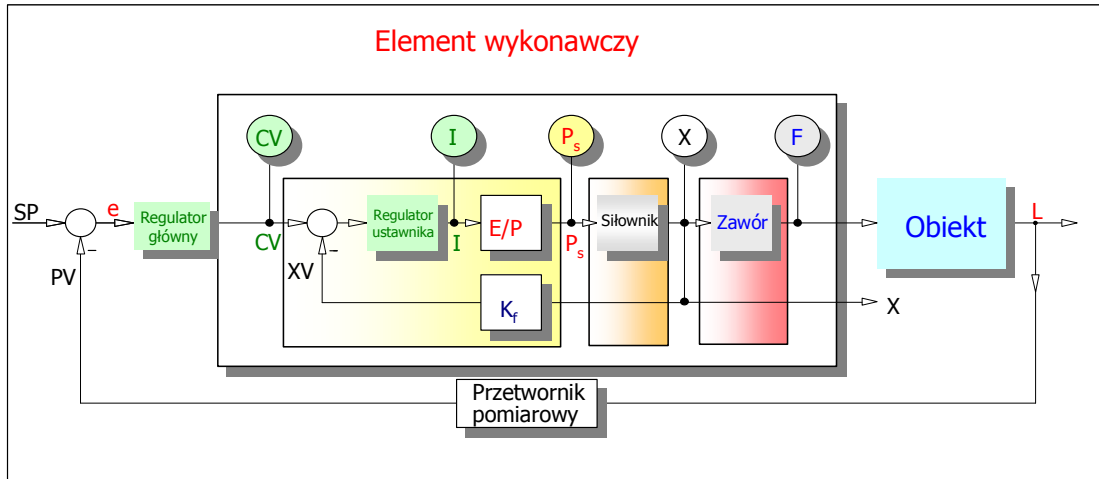
Rys. 17.3: Typowy elektropneumatyczny element wykonawczy automatyki i jego konstrukcja mechaniczna.

Na rysunku 17.4 przedstawiono schemat blokowy takiego elementu wykonawczego wraz ze szkicem sposobu jego montażu w instalacji przemysłowej.



Rys. 17.4. Schemat blokowy elektropneumatycznego elementu wykonawczego jednostronnego działania o ruchu liniowym. Oznaczenia: *ZP* – źródło zewnętrznego zasilania pneumatycznego podające do elementu powietrze pod ciśnieniem *P_z*, *E/P*- przetwornik elektropneumatyczny, *PX*- przetwornik pomiarowy przemieszczenia, *Z1*, *Z2*,*Z3*- zawory sterowane ręczne, *CV* – sygnał sterujący, *I*- sygnał prądowy sterujący przetwornikiem elektropneumatycznym, *Ps*- ciśnienie sterujące komory siłownika pneumatycznego, *X*- sygnał przemieszczenia tłoczyska siłownika pneumatycznego, *XV* – sygnał pomiarowy przemieszczenia tłoczyska siłownika, *F*- strumień objętościowy przepływu medium.

W elemencie wykonawczym, rolę lokalnego układu regulacji pełni ustawnik pozycyjny. Sygnałem wartości zadanej dla ustawnika jest sygnał sterujący *CV* podawany z układu regulacji, w którym zastosowano element wykonawczy (por. rys. 17.5). Sygnałem wielkości mierzonej jest sygnał pomiarowy przemieszczenia *XV*. Na podstawie różnicy sygnałów *CV* i *XV* regulator wewnętrzny ustawnika wytwarza sygnał elektryczny *I* sterujący przetwornikiem elektropneumatycznym, w którym sygnał ten przetwarzany jest na sygnał ciśnienia powietrza *Ps* w komorze siłownika. Zmiana ciśnienia *Ps* wywołuje odkształcenie membrany siłownika i ruch związany z nią trzpienia siłownika. Charakter ruchu i przemieszczenie tłoczyska siłownika wynika z dynamicznej równowagi sił działających na trzpień. Siłami czynnymi są: siła parcia pneumatycznego, siła d'Alemberta oraz siły: hydrostatyczna i hydrodynamiczna oddziaływania przepływającego medium na grzyb zaworu. Siłami biernymi są siły tarcia i siła napięcia sprężyny powrotnej siłownika. Z analizy układu wynika, że ustawnik pełni rolę układu regulacji przemieszczenia (pozycji) trzpienia zaworu. Stąd ustawnik pozycyjny, nazywany jest również pozycjonerem.

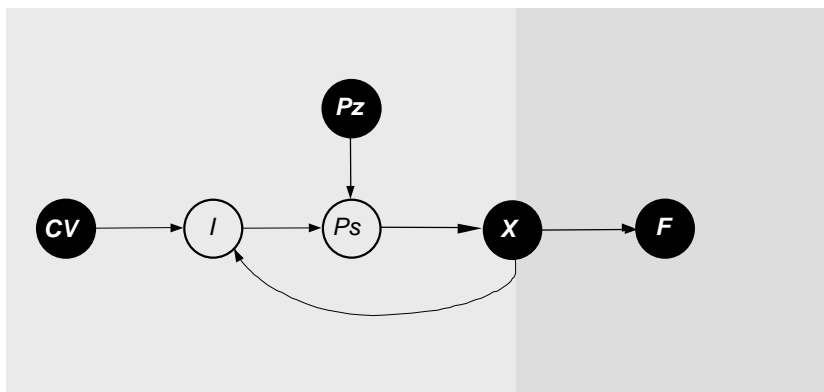


Rys. 17.5. Schemat blokowy jednoobwodowego układu regulacji automatycznej z elektropneumatycznym elementem wykonawczym. Oznaczenia: SP – wartość wielkości zadanej, PV – wartość wielkości mierzonej, K_f – wzmacnienie wartości wielkości mierzonej w torze sprzężenia zwrotnego ustawnika, L – wielkość wyjściowa, pozostałe oznaczenia jak na rys. 17.4.

Należy zwrócić uwagę, że ustawnik steruje w układzie zamkniętym jedynie pozycją trzpienia siłownika. Zmiana tej pozycji wywołuje pośrednią zmianę powierzchni przepływowych zaworu sterującego i wywołuje pośrednią zmianę strumienia objętościowego F medium w instalacji technologicznej. Strumień objętościowy medium jest zależny od właściwości fizycznych samego medium (gęstość i lepkość), warunków środowiskowych (temperatura, różnica ciśnień na zaworze) charakteru przepływu (laminarny, turbulentny) oraz samego zaworu (przepływowa charakterystyka konstrukcyjna). Ustawnik ma wpływ wyłącznie na punkt pracy zaworu sterującego. Jak łatwo zauważyć konieczne jest w tym przypadku zastosowanie zewnętrznej pętli sprzężenia zwrotnego (jak np. na rys. 17.5) aby wyeliminować wpływ na wyjście obiektu innych ważnych wielkości wpływających oraz zakłóceń.

Ustawnik pozycyjny steruje w wewnętrznym układzie zamkniętym wyłącznie pozycję trzpienia siłownika.

Na rys. 17.6 przedstawiono uproszczony graf przyczynowo-skutkowy dla elektropneumatycznego elementu wykonawczego. Jak łatwo zauważyć tor sterowania strumienia objętościowego F jest **torzem otwartym**.



Rys. 17.6. Uproszczony graf przyczynowo-skutkowy dla elektropneumatycznego elementu wykonawczego. Oznaczenia jak na rys. 17.4, 17.5.

Ustawnik pozycyjny pełni rolę lokalnego układu regulacji przemieszczenia elementu dławiącego przepływ w zaworze sterującym.

Dławieniowy sposób regulacji strumienia przepływu należy do relatywnie prostych i skutecznych lecz jednocześnie niezwykle energochłonnych. Obecnie stosowane są coraz częściej bardziej energooszczędne sposoby wyporowego sterowania strumienia objętościowego. Rozważmy rzeczywisty przykład praktyczny:

Przykład 17.3. W układzie regulacji strumienia przepływu soku rzadkiego w instalacji jak na rys. 17.2 w jednej z krajowych firm przemysłu cukrowniczego zmierzono chwilowe wartości parametrów charakteryzujących przepływ przez zawór sterujący. W pewnej chwili obserwacji przyjmują one następujące wartości:

- ciśnienie soku rzadkiego przed zaworem	$p_1=665,7 \text{ kPa}$
- ciśnienie soku rzadkiego za zaworem	$p_2=342,8 \text{ kPa}$
- strumień objętościowy soku rzadkiego	$F=350,4 \text{ m}^3/\text{h}$
- wartość sterująca	$CV=35,5\%$
- przemieszczenia grzyba zaworu	$X=34,8\%$
- temperatura soku rzadkiego przed zaworem	$T_1=96,7 \text{ }^\circ\text{C}$

Na podstawie tych danych możemy stwierdzić, że chwilowa moc strat na zaworze sterującym $P = (p_1 - p_2) \cdot F$ wynosi aż $P \approx 31,42 \text{ kW}$

17.3. Właściwości statyczne

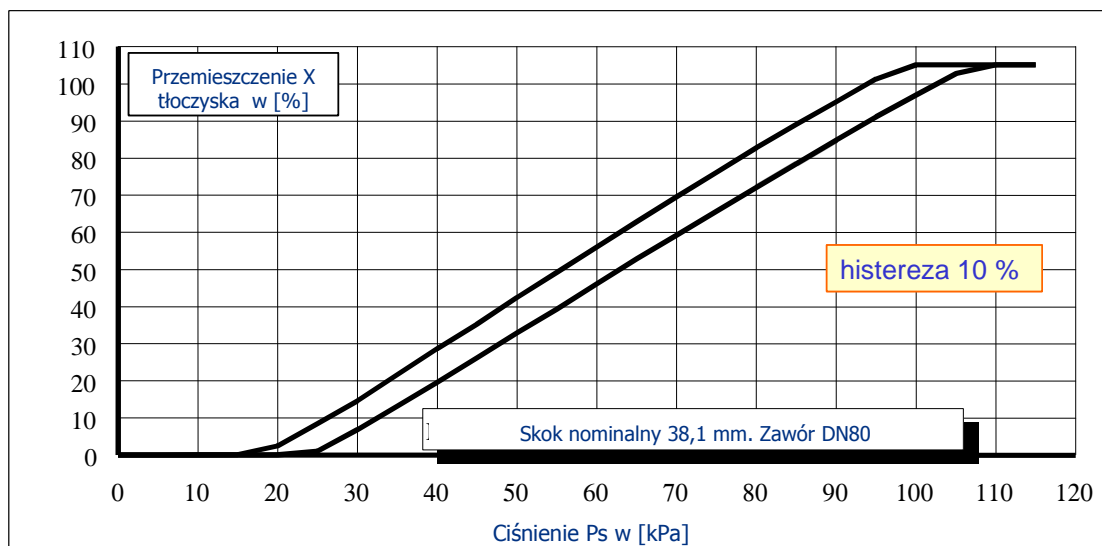
Na podstawie danych podanych w przykładzie nr 17.3 można stwierdzić również, że występuje różnica pomiędzy wartością zadaną przemieszczenia grzyba zaworu i jego aktualnym przemieszczeniem. Wartość odchyłki regulacji wynosi 0,7%.

Ocena jakości procesu regulacji na podstawie zaledwie jednej próbki czasowej wartości parametrów opisujących proces oczywiście nie jest możliwa. Niezerowa odchyłka regulacji może wynikać zarówno z faktu obserwacji procesu przejściowego, jak również z faktu istnienia odchyłki układu regulacji ustawnika w stanie ustalonym. Należy podkreślić, że na wartość obu odchyłek mają także wpływ właściwości statyczne i dynamiczne ustawnika pozycyjnego.

Technicznie akceptowalna wartość odchyłki regulacji w stanie ustalonym elektropneumatycznego elementu wykonawczego wynosi $\pm 1\%$.

Pojawia się oczywiście pytanie czy ustawnik pozycyjny jest absolutnie koniecznym składnikiem elektropneumatycznego elementu wykonawczego? Czy do sterowania siłownika przemieszczającego grzyb zaworu nie wystarczyłby tylko przetwornik elektro-pneumatyczny zamieniający elektryczny sygnał sterujący CV na pneumatyczny sygnał ciśnieniowy P_s ? Odpowiedź na to pytanie dostarcza rysunek 17.7 przedstawiający charakterystykę sterowania siłownika pneumatycznego z zamontowanym zaworem sterującym, w którym sygnałem wejściowym jest pneumatyczny sygnał ciśnieniowy P_s , a wyjściem sygnał przemieszczenia tłoczyska siłownika X . Jak łatwo zauważyć, charakterystyka ta jest charakterystyką niejednoznaczną.

Szerokość strefy histerezy fabrycznie nowego siłownika jednostronnego działania przeznaczonego do budowy elektropneumatycznych elementów wykonawczych wynosi od 4 do 10%.



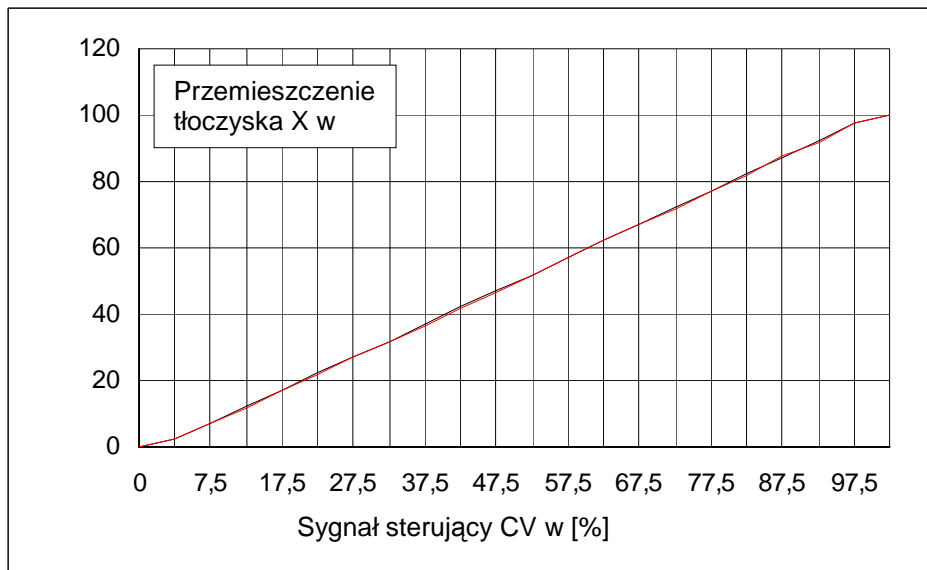
Rys. 17.7. Charakterystyka statyczna siłownika membranowego. Szacunkowa wartość histerezy wynosi 10%.

Podstawowym źródłem histerezy charakterystyki sterowania siłownika są siły tarcia tłoczyska siłownika wywołane naciskiem uszczelnień montowanych w obudowie zaworu sterującego. Szerokość strefy histerezy podlega istotnym zmianom w czasie eksploatacji elementu wykonawczego. Histereza może zarówno maleć jak i rosnać.

Tolerowalna graniczna technicznie szerokość strefy histerezy zespołu siłownika jednostronnego działania i zaworu sterującego wynosi 40%.

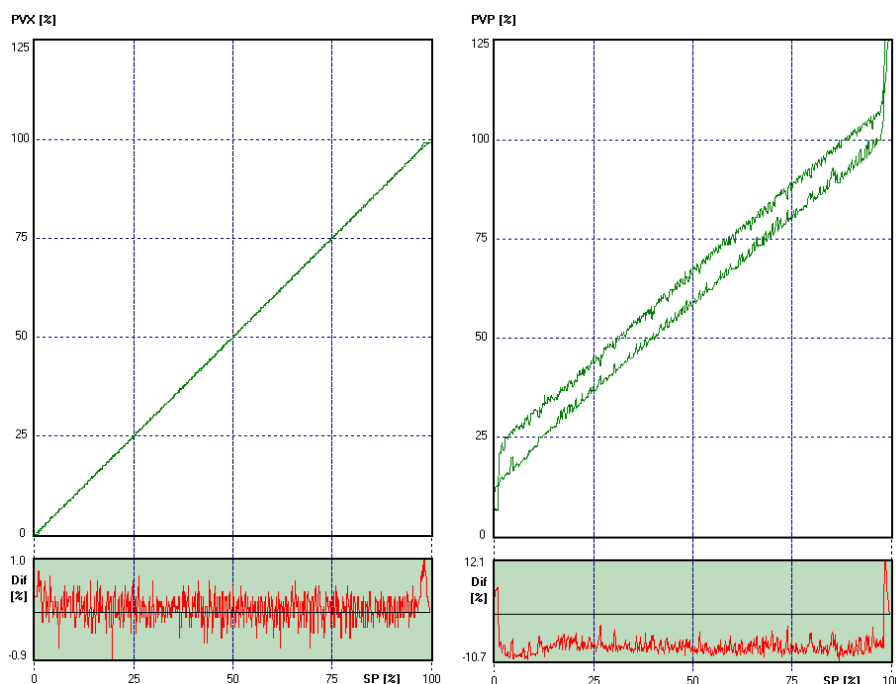
Pomiar i ocena wielkości histerezy tarciowej jest istotnym elementem oceny stanu technicznego elementu wykonawczego. Estymacja histerezy tarciowej jest podstawową metodą implementowaną praktycznie we wszystkich systemach diagnostyki i nadzoru inteligentnych elektropneumatycznych elementów wykonawczych. Dotyczy to zarówno **diagnostycznych systemów wbudowanych**, jak również **zewnętrznych systemów diagnostyki**.

Jednym z podstawowych zadań stawianych ustawnikom pozycyjnym jest kompensacja skutków niejednoznaczności odwzorowania wyjściowego sygnału przemieszczenia trzpienia siłownika wynikająca z istnienia histerezy tarciowej. Ponadto, żąda się wysokiej niewrażliwości charakterystyki statycznej sterowania na zmiany tej histerezy. Na rys. 17.8 przedstawiono charakterystykę statyczną elementu wykonawczego, w którym zastosowano inteligentny ustawnik pozycyjny oraz zespół siłownika pneumatycznego i zaworu sterującego identycznego z tym, którego charakterystykę statyczną przedstawiono na rysunku 17.7. Jak widać z rysunku, relatywna szerokość strefy histerezy charakterystyki została zredukowana do wartości poniżej 0,5%, a zakres sterowania wynosi od 0 do 100%. Widoczne są charakterystyczne odcinki nieliniowości tej charakterystyki zarówno poniżej 5% jak i powyżej 95% wartości sygnału sterującego. W dolnym i górnym zakresie sygnałów sterujących nieliniowość charakterystyki wynika głównie z utraty cechy sterowalności przez układ sterowania ustawnika. Utrata sterowalności wynika ze zjawiska wchodzenia sygnału sterującego w obszar nasycenia sygnału sterującego zarówno od dołu (brak możliwości wygenerowania sygnału podciśnienia) jak i od góry wynikające z braku możliwości przekroczenia maksymalnego ciśnienia zasilania P_z .



Rys. 17.8. Charakterystyka statyczna elementu wykonawczego składającego się z: ustawnika, siłownika membranowego jednostronnego działania o ruchu liniowym i zaworu sterującego. Szacunkowa wartość histerezy wynosi poniżej 0,5%.

Należy podkreślić, że ustawnik pozycyjny w żaden sposób nie usuwa histerezy tarcowej z układu mechanicznego przeniesienia ruchu trzpienia siłownika. Z punktu widzenia zewnętrznego systemu sterowania jego zastosowanie pozwala na korektę właściwości statycznych i dynamicznych zespołu składającego się z: siłownika pneumatycznego i zaworu sterującego.



Rys. 17.9. Doświadczalne charakterystyki statyczne elementu wykonawczego składającego się z: ustawnika typu PW-004, siłownika membranowego jednostronnego działania o skoku nominalnym 20mm produkcji Polna S.A. i zaworu sterującego DN80 produkcji Polna S.A. Wykres po prawej stronie obrazuje statyczną charakterystykę ciśnieniową, która odzwierciedla wielkość występującej w układzie histerezy tarcowej. PVP oznacza wartość względnego ciśnienia wewnątrz komory siłownika.

17.4. Właściwości dynamiczne

Jak już wspomniano wcześniej, sygnałem wejściowym elektropneumatycznego elementu wykonawczego jest sygnał sterujący CV, a jego sygnałem wyjściowym jest sygnał przemieszczenia tłoczyska siłownika X. Jak wynika również z wcześniejszych rozważań, element wykonawczy można traktować jako układ regulacji obiektu składającego się z przetwornika elektropneumatycznego E/P, siłownika pneumatycznego i zaworu sterującego (por. rys. 17.5).

Poniżej spróbujmy na początku przedstawić najważniejsze właściwości dynamiczne najpierw samego obiektu regulacji, a następnie całego elementu wykonawczego.

17.4.1. Ograniczenia mechaniczne.

Siłownik pneumatyczny oraz zawór sterujący w naturalny sposób posiadają ograniczenia mechaniczne wynikające z ich konstrukcji mechanicznej. W przypadku siłownika, zakres przemieszczeń tłoczyska siłownika jest ograniczony długością jego cylindra. W przypadku zaworu ruch grzyba zaworu jest ograniczony pozycjami pełnego zamknięcia i pełnego otwarcia zaworu. Zespolenie mechaniczne siłownika i zaworu teoretycznie wprowadza ograniczenia mechaniczne mogące być kombinacją ograniczeń występujących w obu elementach.

W praktyce zakres możliwych przemieszczeń siłownika, dobierany jest w taki sposób aby był on nie mniejszy od zakresu możliwych przemieszczeń grzyba współpracującego z nim zaworu sterującego.

17.4.2. Napięcie wstępne sprężyny zwrotnej.

Sprężyna zwrotna siłowników pneumatycznych przeznaczonych do budowy elementów wykonawczych jest wstępnie napinana w procesie wytwórczym.

Siła napięcia wstępnego sprężyny zwrotnej siłownika pneumatycznego jest dobierana w taki sposób, aby rozwijała siłę o wartości co najmniej równej 20% maksymalnej siły nominalnej rozwijanej przez siłownik.

Dzięki napięciu wstępnemu sprężyny możliwy jest np. docisk grzyba zaworu do gniazda zaworu nawet wówczas, gdy komora siłownika jest całkowicie odpowietrzona. Zapewnia to osiągnięcie szczelności zaworu także w uszkodzenia toru zasilania pneumatycznego. Pokonanie siły napięcia wstępnego i siły tarcia spoczynkowego konieczne do rozpoczęcia ruchu tłoczyska zaworu wymaga podania na siłownik pewnego ciśnienia wstępnego. Stąd wynika charakterystyczny piedestał ciśnienia w dolnej części prawego wykresu na rys. 17.9. W przypadku zablokowania mechanicznego ruchu trzpienia siłownika np. przez osiągnięcie przez grzyb zaworu pełnego otwarcia, ciśnienie sterowania w układzie zamkniętym rośnie do wartości ciśnienia zasilania P_z (por. górną część prawego wykresu na rys. 17.9).

17.4.3. Ograniczenia ciśnienia zasilania pneumatycznego.

Drugim, istotnym elementem wpływającym na występowanie ograniczeń jest ograniczony zakres ciśnienia zasilania pneumatycznego P_z . W czasie pracy elementu wykonawczego maksymalne ciśnienie robocze w komorze siłownika nie może przekroczyć ciśnienia zasilania

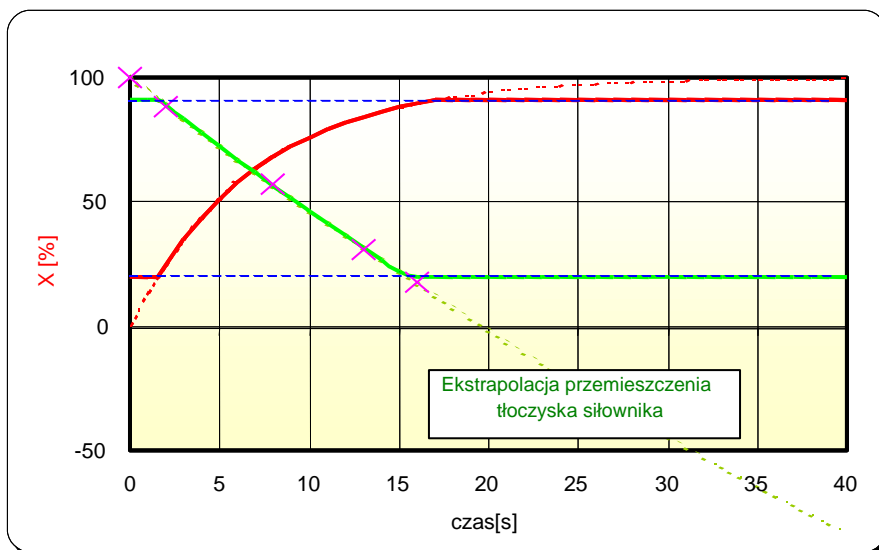
P_z i nie jest mniejsze od ciśnienia atmosferycznego. W naturalny sposób ogranicza to zakres ciśnieniowego sygnału sterującego. W przypadku występowania bardzo dużych sił tarcia ciśnienie sterujące P_s w komorze siłownika wymagane do ich pokonania może przewyższać wartość ciśnienia zasilania P_z . W tym przypadku występuje utrata sterowalności układu.

W praktyce, ciśnienie zasilania pneumatycznego dobierane jest tak, aby przy spełnieniu wymogów bezpieczeństwa było ono wyższe o ok. 20-40% od wartości niezbędnej do przestawienia trzpienia fabrycznie nowego siłownika w pełnym zakresie wartości przemieszczeń.

17.4.4. Kierunkowość właściwości dynamicznych.

Właściwości dynamiczne zespołu złożonego z siłownika pneumatycznego i zaworu sterującego wykazują wyraźną kierunkowość, tzn. ich opis dynamiczny, a w uproszczeniu tylko parametry modelu dynamicznego są zależne nie tylko od wyboru punktu pracy, ale również od kierunku zmiany sygnału sterującego. Efekt ten został zilustrowany na rysunku 17.10 przedstawiający wykres nałożonych odpowiedzi na wymuszenie skokowe dla odpowiednio: skoku narastającego i skoku opadającego. Jak łatwo zauważyć, charakterystyczne dla tych odpowiedzi są:

- występujące ograniczenia (nasylenia) zakresu ruchu wynikające z ograniczonego zakresu przemieszczeń grzyba zaworu,
- wyraźna różnica parametrów w opisie dynamicznym



Rys. 17.10 Wykres odpowiedzi na wymuszenie skokowe ciśnienia dla zespołu złożonego z siłownika i zaworu sterującego.

Jak łatwo zauważyć z zamieszczonych wykresów, charakterystyki dynamiczne mogą być w aproksymowane w pewnym obszarze w postaci transmitancyjnego modelu liniowego. W tym przypadku dla wymuszenia narastającego uproszczona transmitancja obiektu może być opisana w postaci:

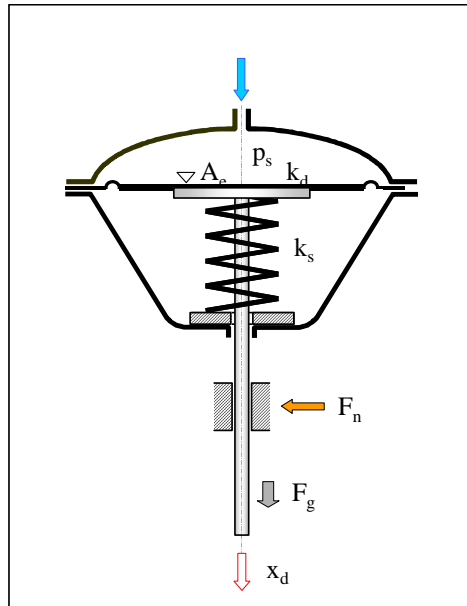
$$G(s) = \frac{1}{7,5s + 1} \quad (17.1)$$

natomiast dla skokowego wymuszenia opadającego w postaci:

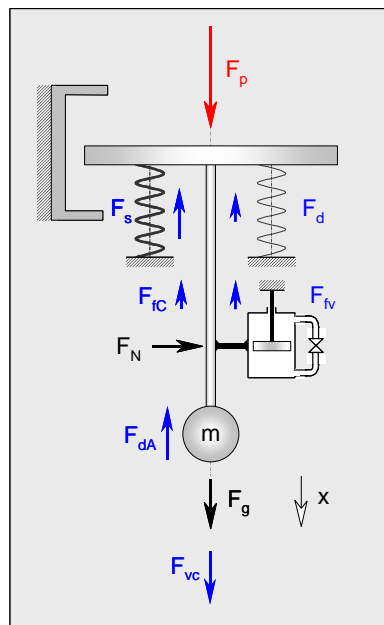
$$G(s) = \frac{1}{13,8s + 1} \quad (17.2)$$

W rzeczywistości opis dynamiczny układu jest o wiele bardziej złożony i z całą pewnością aproksymacja elementem inercyjnym pierwszego rzędu może być traktowana jako bardzo uproszczona.

Rozważmy zastępczy schemat układu dynamicznego złożonego z siłownika pneumatycznego i zaworu sterującego jak na rys. 17.11.



Rys. 17.11 Schemat układu dynamicznego złożonego z siłownika pneumatycznego i zaworu sterującego.



Rys. 17.12. Schemat rozkładu sił w układzie złożonym z siłownika pneumatycznego i zaworu sterującego. Źródło [1].

W układzie tym równanie dynamicznej równowagi sił (zgodnie z rys. 17.12) jest następujące:

$$m\ddot{x} + k_v\dot{x} + \text{sign}(\dot{x})F_N\mu + (k_s + k_d)x - F_{vc}(x) + (k_s + k_d)x_0 - mg = p_s A_e \quad (17.3)$$

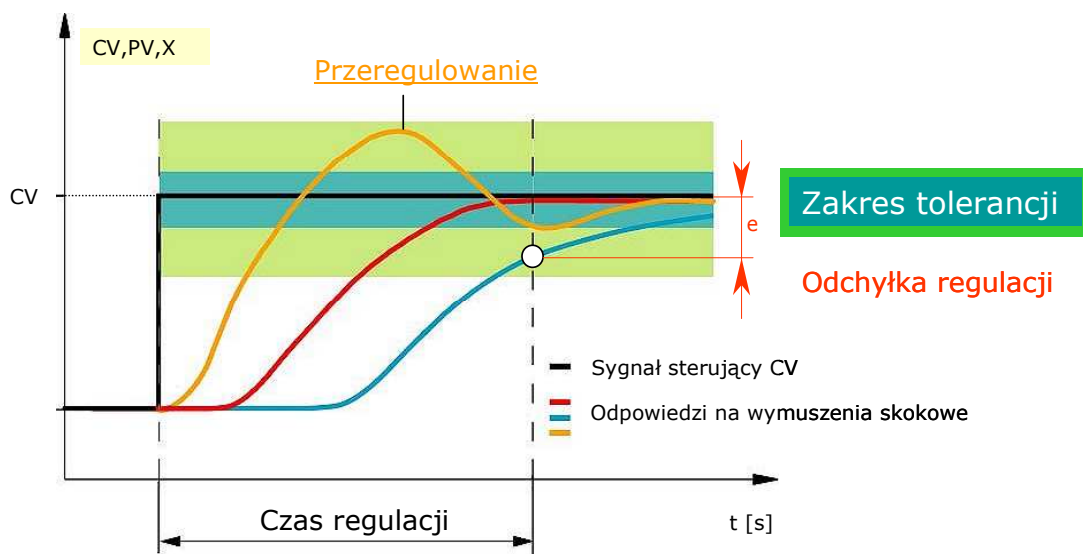
gdzie:

- k_s - stała sprężyny
- k_d - stała membrany
- A_e - powierzchnia efektywna membrany
- p_s - ciśnienie powietrza w komorze
- F_N - składowa normalna siły w dławicy
- F_p - siła czynna
- F_g - siła ciężkości
- F_s - siła napięcia sprężyny
- F_d - siła napięcia membrany
- F_{fv} - siła tarcia wiskotycznego
- F_{fC} - siła tarcia Coulomba
- F_{vc} - siła hydrostatyczna (vena contracta)
- F_{dA} - siła d'Alembert'a
- x - przemieszczenie tłoczyska
- x_0 - ugięcie wstępne sprężyny
- m - masa elementów ruchomych

Z równania ruchu (17.3) wynika, że właściwa jest aproksymacja właściwości dynamicznych zespołu siłownik pneumatyczny- zawór sterujący raczej układem rzędu drugiego.

17.4.5. Wskaźniki jakości regulacji.

Dla elementu wykonawczego są formułowane wymagania co do wskaźników jakości regulacji podobnie jak dla układów regulacji klasycznej. Należą do nich przede wszystkim: przeregulowanie, czas regulacji i odchyłka regulacji w czasie ustalonym.



Rys. 17.13. Szkic różnych postaci odpowiedzi elementu wykonawczego na wymuszenie skokowe.

W stosunku do elementów wykonawczych wymaga się:

- stabilności globalnej,
- aperiodycznych przebiegów przejściowych tzn. o przeregulowaniu $\kappa=0\%$,
- zerowej odchyłki w stanie ustalonym tzn. $e_{st}=0\%$.
- możliwie krótkiego czasu odpowiedzi na wymuszenie skokowe

Osiągnięcie wymaganych wskaźników jakości regulacji wymaga odpowiedniego strojenia regulatora wewnętrznego elementu wykonawczego. W praktyce stosowane są zarówno metody strojenia ręcznego jak również są implementowane algorytmy **samostrajenia**.

Błędny dobór parametrów regulatora wewnętrznego może być przyczyną nieprawidłowej pracy elementu wykonawczego, a także może prowadzić do przyspieszonego zużycia zaworu sterującego i siłownika pneumatycznego.

17.5. Charakterystyka przepływowa zaworu

Charakterystyka przepływowa zaworu nosi również nazwę charakterystyki konstrukcyjnej lub charakterystyki roboczej. Charakterystyki przepływowe zaworów są zależne od ich konstrukcji i geometrii. Charakterystyki te przedstawiają zależność współczynnika konstrukcyjnego K_v zaworu w funkcji stopnia otwarcia zaworu (rys. 17.14). Miarą stopnia otwarcia zaworu jest przemieszczenie względne X jego organu ruchomego (np. grzyba) wyrażone w [%].

Współczynnik K_v zaworu (zgodnie z normą DIN IEC 60534 [2]) jest liczbowo równy wartości strumienia objętościowego wody o temperaturze 5.40°C przepływającej przez zawór przy statycznym spadku ciśnienia na zaworze równym 1 bar. Wartość strumienia objętościowego wody wyrażana jest w [m³/h]. Wartość tego współczynnika jest podawana w specyfikacji zaworu regulacyjnego w warunkach pełnego otwarcia zaworu. Specyfikacja zaworu regulacyjnego zawiera ponadto informację o jego konstrukcyjnej charakterystyce przepływowej.

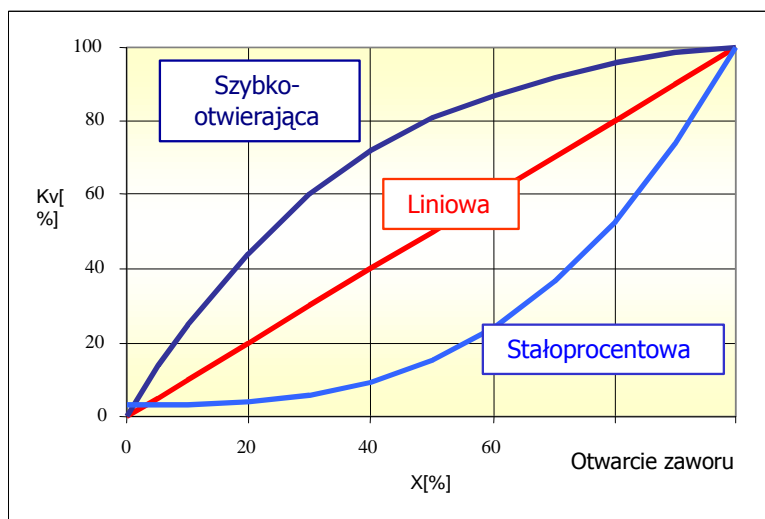
W praktyce stosowane są zawory o charakterystykach:

- liniowej, w której tym samym zmianom stopnia otwarcia zaworu odpowiadają te same zmiany współczynnika przepływu,
- stałoprocentowej, w której tym samym względnym zmianom stopnia otwarcia zaworu odpowiadają te same względne zmiany współczynnika przepływu,
- szybko otwierającej, w której tym samym zmianom stopnia otwarcia zaworu w pobliżu pełnego otwarcia i w pobliżu pełnego zamknięcia zaworu towarzyszą odpowiednio mniejsze i większe zmiany współczynnika przepływu.

Typowe charakterystyki przepływowe zaworów pokazano na rys. 17.14.

Wybór rodzaju konstrukcyjnej charakterystyki przepływowej zaworu jest uzależniony od wyboru strategii sterowania oraz często od charakterystyki statycznej obiektu regulacji. Odpowiedni dobór tej charakterystyki pozwala na przykład na częściową kompensację nieliniowości zaworu i obiektu regulacji. Na przykład w zaworach regulacyjnych stosowanych do sterowania procesami cieplnymi stosowane są częściej zawory o charakterystykach stałoprocentowych niż o charakterystykach liniowych.

Niektóre inteligentne elementy wykonawcze pozwalają na swobodne, programowe kształtowanie charakterystyki statycznej elementu wykonawczego. Pozwala to między innymi na wygodną korekcję nieliniowości charakterystyk statycznych obiektów regulacji.



Rys. 17.14: Standardowe charakterystyki przepływowe zaworów regulacyjnych

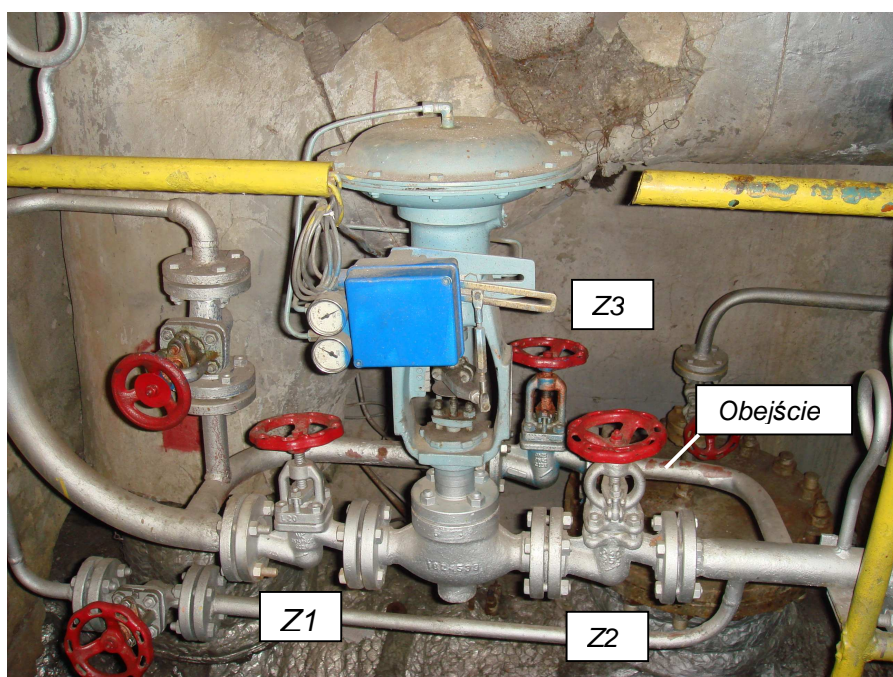
17.6. Instalacja elektropneumatycznych elementów wykonawczych

Istnieje wiele sposobów instalowania elektropneumatycznych elementów wykonawczych. W przypadku instalacji technologicznych pracujących w ruchu ciągłym stosowany jest często układ montażowy pokazany schematycznie na rys. 17.4. Przemysłowy przykład realizacyjny tego układu pokazano na rys. 17.15. W układzie tym, oprócz zaworu regulacyjnego, stosowane są dodatkowo trzy zawory sterowane ręcznie (Z1, Z2 i Z3) oraz rurociąg obejściowy. W stanie normalnej pracy zawory Z1 i Z2 są otwarte natomiast zawór Z3 jest zamknięty. Wymiana zaworu regulacyjnego w ruchu ciągłym instalacji wymaga przejścia na regulację ręczną przy pomocy zaworu Z3 i zamknięcia zaworów Z1 i Z2. Należy przyjąć, że jest to związane z wprowadzeniem istotnego zakłócenia do regulowanego procesu. Ponadto, wymaga dalszego prowadzenia procesu w trybie ręcznym, co zwykle prowadzi do pogorszenia wartości wskaźników jakości regulacji. Wymiana zaworu regulacyjnego powinna być więc zrealizowana możliwie w jak najkrótszym czasie. W wielu przypadkach jest to o tyle trudne, że np. zawory pracujące w wysokich temperaturach muszą ulec ochłodzeniu (np. w ciągach parowych zawory mogą osiągać temperatury rzędu 400-500°C). Układ przedstawiony na rys. 17.4 jest wygodny także przy realizacji przeglądów technicznych i napraw elementów wykonawczych w fazach odstawienia lub zatrzymania procesu. Po dokonaniu odpowiednich czynności naprawczych i montażowych, otwierane są zawory Z1 i Z2, a następnie zamykany jest zawór Z3. Czynności te wprowadzają zakłócenia procesu, podobnie jak w przypadku demontażu zaworu.

Ogólnie rzecz biorąc, wymiana zaworu sterującego zwłaszcza w ruchu ciągłym jest kłopotliwa. Jak wskazuje praktyka, w wielu przypadkach wymiana zaworu regulacyjnego w ogóle nie jest konieczna. Przyczyną niesprawności lub uszkodzenia elementu wykonawczego może być poza uszkodzeniem zaworu, także każde inne uszkodzenie w tym uszkodzenie

siłownika pneumatycznego, ustawnika pozycyjnego, a nawet może wystąpić przyczyna niezależna np. uszkodzenie przewodu zasilania pneumatycznego. Z punktu widzenia prawidłowości podejmowania odpowiednich decyzji naprawczych, istotna jest przynajmniej informacja, czy uszkodzenie dotyczy zaworu regulacyjnego, czy siłownika pneumatycznego, czy też ustawnika pozycyjnego. Jakkolwiek wymiana siłownika czy ustawnika wymaga również przejścia w tryb pracy ręcznej elementu wykonawczego, ze wszystkimi tego skutkami. Jednak może być jednak zrealizowana znacznie szybciej i sprawniej. Informacje diagnostyczne lokalizujące uszkodzenie elementu wykonawczego są szczególnie przydatne zwłaszcza w układach, w których element wykonawczy jest montowany bezpośrednio na rurociągu, a więc bez obejścia i zaworu Z3.

Jednym z atrybutów inteligentnych elementów wykonawczych są wbudowane funkcje diagnostyczne.

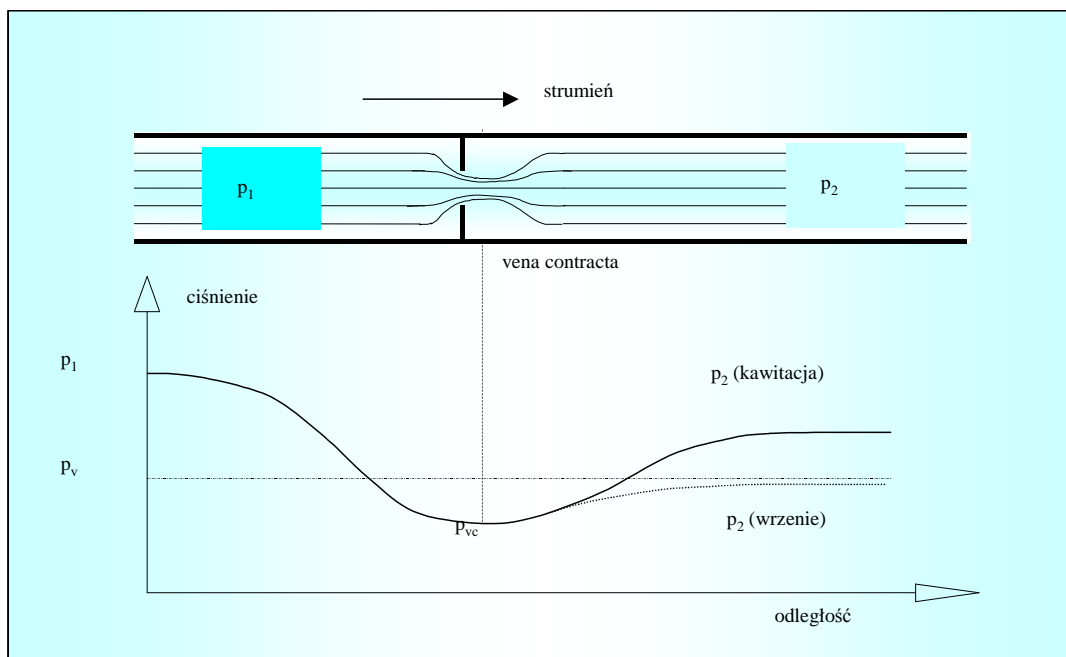


Rys. 17.15. Przykład przemysłowy instalacji elementu wykonawczego.
Oznaczenia: Z1, Z2, Z3 - zawory sterowane ręcznie

17.7. Zjawiska kawitacji i wrzenia

Elektropneumatyczne elementy wykonawcze stosowane są do sterowania strumieni objętościowych i masowych różnego mediów o różnym stanie skupienia (ciecze, gazy, pyły, roztwory i zawiesiny różnych substancji, itp. Transportowane rurociągami media charakteryzują się różnymi właściwościami fizykochemicznymi. Stosownie do tych właściwości konstruowane są zarówno rurociągi jak i same zawory sterujące. Na przykład zupełnie inne konstrukcje zaworów stosowane są do sterowania mieszanki solankowo-piaskowej i zupełnie inne do sterowania mazutu. Właściwy dobór zaworów wymaga odpowiedniej wiedzy o procesie, znajomości właściwości fizykochemicznych sterowanego medium oraz wymaga odpowiednich narzędzi wsparcia projektowego np. [4].

W tym rozdziale zajmiemy się jedynie krótkim omówieniem genezy i skutków występowania charakterystycznych zjawisk związanych z dławieniem przepływu. W tym celu rozważmy uproszczony model przepływu nieściśliwej cieczy w rurociągu z przewężeniem (rys. 17.16). Przewężenie to w uproszczeniu symbolizuje zespół dławieniowy zaworu (np. para: grzyb zaworu- gniazdo zaworu). Jeśli założymy dodatkowo, że w czasie przepływu zostaje zachowany warunek ciągłości strugi, to zgodnie z prawem Bernoulliego prędkość strugi w przewężeniu rurociągu będzie wyższa a ciśnienie niższe niż na wlocie i wylocie rurociągu. Wykres zmiany ciśnienia cieczy wzdłuż rurociągu przedstawiono w dolnej części rys. 17.16.



Rys. 17.16. Ilustracja występowania zjawiska kawitacji i wrzenia.

Zachowanie warunku ciągłości przepływu płynu wymaga aby różnica ciśnień na wlocie p_1 i wylocie p_2 rurociągu o identycznych średnicach wlotowych i wylotowych była dodatnia. Pomiedzy przekrojami wlotowym i wlotowym ciśnienie płynu może jednak podlegać istotnym zmianom wywołanymi przez występujące przeszkody zaburzające przepływ. W szczególności lokalnie w okolicy przewężenia ciśnienie lokalne w pewnych strugach płynu może nawet osiągnąć wartość niższą niż ciśnienie wrzenia płynu p_v . W rezultacie w tym obszarze dochodzi do zjawiska polegającego na pojawieniu się w tym obszarze mieszaniny pęcherzyków pary i przepływającego płynu. W sprężającej się mieszaninie pary i płynu opuszczającej obszar przewężenia może dojść do szczególnie destrukcyjnego zjawiska zwanego **kawitacją**. Kawitacja polega na gwałtownym zanikaniu (zapadaniu) się pęcherzyków pary. Kawitacja ma miejsce, gdy ciśnienie mieszaniny pary i płynu przekracza poziom ciśnienia wrzenia płynu. Zapadające się pęcherzyki pary są źródłami powstawania lokalnych fal ciśnieniowych rozchodzących się w płynie. Fale te uderzając w elementy konstrukcyjne zaworu wywołują groźny eksploatacyjnie efekt mikroerozji materiałów gniazda i grzyba zaworu. Zjawisko kawitacji nie zachodzi jeśli ciśnienie w przekroju wylotowym rurociągu ma wartość poniżej ciśnienia wrzenia płynu p_v . W tym przypadku

mówimy o występowaniu zjawiska **wrzenia** lub flashingu. Pęcherzyki pary zawarte w płynie zanikają zapadając się w dalszych partiach rurociągu jeśli znajdują się w strugach przyściennych rurociągu, których temperatura jest może być niższa niż strug wewnętrznych. Wówczas wzrasta ciśnienie wrzenia płynu i dochodzi do kawitacji przypowierzchniowej w

rurociągu. Jak widać doprowadzenie do powstawania zjawiska kawitacji jest zawsze groźne z punktu widzenia żywotności eksploatacyjnej armatury technologicznej. Dodatkowo zjawiskom kawitacji i wrzenia towarzyszą silne efekty emisji wibroakustycznej.

Kawitacja jest podstawowym zjawiskiem prowadzącym do degradacji stanu technicznego zaworów sterujących.

Wrzenie jest podstawowym zjawiskiem prowadzącym do degradacji stanu technicznego rurociągów.

Wypracowano wiele sposobów pozwalających na unikanie kawitacji lub minimalizację jej skutków. Polega ona na stosowaniu odpowiednich konstrukcji zaworów (zawory szklankowe), odpowiednim projektowaniu i doborze zaworów. Należy jednak pamiętać, że zjawisko kawitacji pojawia się niemal zawsze w warunkach bardzo małych okien przepływowych, a więc tam, gdzie stopień otwarcia zaworu jest bardzo mały.

Punkt pracy zaworów sterujących powinien być dobierany tak, aby był możliwie odległy od całkowitego zamknięcia zaworu. Za dolną eksploatacyjnie granicę otwarcia zaworu należy przyjąć granicę 30% jego otwarcia.

Należy zwrócić uwagę, że przewymiarowanie zaworu jest bardzo groźne, ponieważ zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia kawitacji. Z kolei niedowymiarowanie zaworu może prowadzić do utraty sterowalności procesu, a ponadto przyczynia się do szybkiego zużycia pakietu uszczelnień trzpienia grzyba zaworu ze względu na znaczny wysiłek sygnału sterującego.

17.8. Przykład realizacji inteligentnego ustawnika elektropneumatycznego

Realizacja inteligentnego ustawnika elektropneumatycznego jest zadaniem nasyconym szeregiem trudnych wyzwań konstrukcyjnych. Jednym z nich jest konieczność sprostania wymaganiom narzuconym współczesnym systemom automatyki dotyczących zużycia mocy elektrycznej. W powszechnej praktyce przemysłowej stosowana jest obecnie technika dwuprzewodowego łączenia urządzeń (rozdział 10) przy limitowanej energii elektrycznego sygnału zasilającego. Typowymi przykładami realizowanych współcześnie systemów automatyki z inteligentnymi urządzeniami wykonawczymi jest zarówno tradycyjna komunikacja dwuprzewodowa z prądowym sygnałem sterującym z zakresu 4-20mA jak i dwuprzewodowa komunikacja cyfrowa zgodna ze specyfikacją HART. W obu przypadkach maksymalna moc dostarczana do elektropneumatycznych urządzeń wykonawczych nie przekracza kilkuset mW, a wymagania na pobór maksymalny pobór prądu zapewniającego pełną zdolność funkcjonalną elementu wykonawczego jest na poziomie zaledwie 3,6mA dla urządzeń z pętlą prądową i np. 3,2mA dla urządzeń z interfejsem HART. Na rys. 17.17 przedstawiono konstrukcyjny schemat blokowy elektropneumatycznego elementu wykonawczego z interfejsem HART. Elementami pobierającymi energię są w tym przypadku: jednostka mikroprocesorowa realizująca zadania sterujące, jednostka mikroprocesorowa realizująca zadania komunikacyjne, modem HART, przetwornik indukcyjny przemieszczenia trzpienia siłownika, wzmacniacz mocy sygnału sterującego dwa przetworniki elektropneumatyczne, układ wyświetlania, klawiatura. Stąd, do budowy poszczególnych podzespołów elektronicznych ustawnika stosowane są wyłącznie elementy elektroniczne o ultra niskim zużyciu energii. Dodatkowo niskie zużycie energii jest wspierane programowo przez realizację specjalnego zadania związanego z zarządzaniem poboru energii.

Dodatkowo element wykonawczy powinien spełniać ostre wymagania związane ze środowiskiem pracy (szeroki zakres temperatur pracy np. $-40...+85^{\circ}\text{C}$, wilgotność względna do 95%, odporność na drgania i wibracje, odpowiedni stopień ochrony obudowy np. IP66, wykazywać wysoką odporność na zaburzenia elektromagnetyczne promieniowane i przewodzone, charakteryzować się niską emisyjnością, itp.). Elementy wykonawcze są często stosowane w instalacjach i strefach, w których występuje zagrożenie wybuchem. W związku z tym muszą spełniać ostre warunki stawiane przez normy ATEX [2]. Dodatkowo w instalacjach technologicznych o podwyższonych wymaganiach na bezpieczeństwo funkcjonalne powinny posiadać określony poziom SIL.

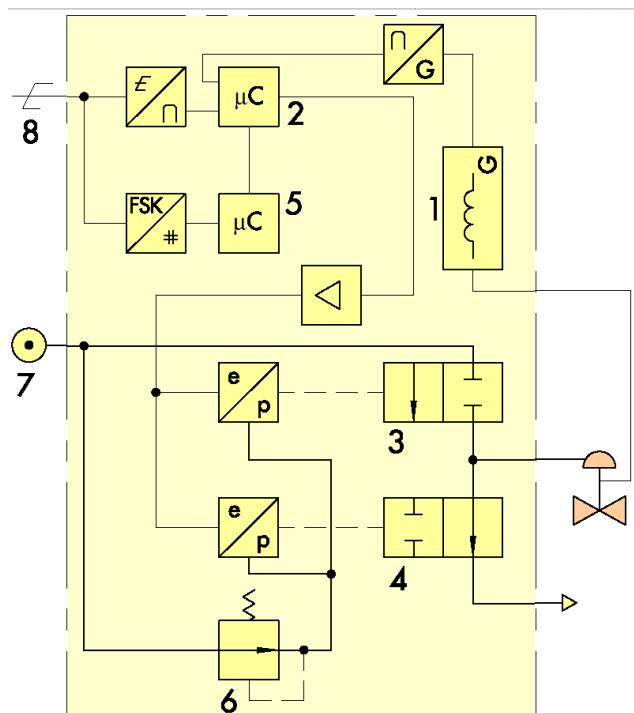
Blokowy schemat rozwiązania elektropneumatycznego elementu wykonawczego firmy Samson przedstawiono na rys. 17.17. W rozwiązaniu tym przyjęto wyraźny podział funkcji sterujących i komunikacyjnych. Zadania te są realizowane przez dwie rozdzielne jednostki mikroprocesorowe. Należy zaznaczyć, że rozwiązanie takie, choć wygodne, jest dość rzadko spotykane ze względu na ryzyko przekroczenia limitu zużycia prądu. Mikroprocesor sterujący (2) realizuje algorytm sterowania ciśnienia w komorze siłownika pneumatycznego za pośrednictwem zespołu dwóch dwustopniowych przetworników elektro-pneumatycznych (e/p) o działaniu przełączającym. Każdy z przetworników e/p współpracuje z własnym dwupozycyjnym dwudrogowym zaworem przełączającym, z których pierwszy (3) jest odpowiedzialny za napowietrzanie komory siłownika, a drugi (4) za jej odpowietrzanie. Zawór odpowietrzający pozostaje w warunkach bez zasilania elektrycznego ustawnika w stanie normalnie otwartym, a zawór napowietrzający w stanie normalnie zamkniętym. Dzięki temu możliwa jest realizacja funkcji „fail safe”, która wymaga jednoznacznego zdefiniowania pozycji, którą zajmie trzpień zaworu sterującego w przypadku awarii polegającej na zaniku sygnału sterowania elektrycznego.

Mikrokontroler (2) steruje obu zaworami (3) i (4) w sposób niezależny. Dzięki temu może:

- zwiększać ciśnienie w komorze siłownika (zawór (3) otwarty i zawór (4) zamknięty),
- zmniejszać ciśnienie w komorze siłownika (zawór (4) otwarty i zawór (3) zamknięty),
- utrzymywać ciśnienie w komorze siłownika (zawór (3) zamknięty i zawór (4) zamknięty).

Odchyłka regulacji w układzie jest różnicą pomiędzy wartością zadaną podawaną przez wejście (8) w postaci wartości analogowej lub cyfrowej (8) a wartością mierzoną przemieszczenia siłownika przez czujnik indukcyjny (1). Na podstawie znajomości wartości tej odchyłki regulator wyznacza takie sterowania przetworników e/p, aby doprowadzić do jej zaniku. Jeśli zatem pozycja trzpienia jest zbyt mała w stosunku do wartości zadanej (odchyłka regulacji jest wówczas dodatnia) to zamykany jest zawór (4) i otwierany zawór (3).

Przez odpowiednie sterowanie obu zaworów, np. przez zastosowanie w tym celu np. techniki modulacji szerokości impulsów, możliwe jest uzyskanie quasiciągłego sterowania ciśnienia w komorze siłownika przy zastosowaniu prostych realizacyjnie przetworników elektropneumatycznych. Wadą tego rozwiązania jest to, że częste (30Hz) przełączanie zaworów, poza ewidentną emisją akustyczną wiąże się z przyspieszonym zużyciem zmęczeniowym materiałów konstrukcyjnych przetworników e/p.



Rys. 17.17. Konstrukcyjny schemat blokowy inteligentnego ustawnika pozycyjnego z interfejsem komunikacyjnym HART.

Oznaczenia:

- 1 - Indukcyjny przetwornik przemieszczenia trzpienia grzyba zaworu
- 2 - Jednostka mikroprocesorowa realizująca zadania regulacyjne
- 3 - Zawór sterujący
- 4 - Zawór sterujący
- 5 - Jednostka mikroprocesorowa realizująca zadania komunikacyjne
- 6 - Zawór redukcyjny ciśnienia
- 7 - Zasilanie pneumatyczne
- 8 - Wejście sygnału sterującego HART

17.9. Podsumowanie

W rozdziale przedstawiono w sposób ogólny rolę i miejsce elektropneumatycznych elementów wykonawczych w układach regulacji. Wskazano zestaw podstawowych cech funkcjonalnych inteligentnych urządzeń wykonawczych. W szczególności zaliczyć do nich należy funkcje: regulacyjne, komunikacyjne, autodiagnostyczne, autonastawcze, programowalność charakterystyk statycznych i funkcje tolerowania uszkodzeń. Podano również ogólne informacje dotyczące budowy i zastosowania inteligentnych elektropneumatycznych elementów wykonawczych automatyki.

Rozdział 18 poświęcony jest prezentacji elektrycznych elementów wykonawczych. Na obecnym poziomie rozwoju technicznego elektro-pneumatyczne elementy wykonawcze mają

kilka istotnych zalet w stosunku do swoich odpowiedników elektrycznych. Zaliczyć tutaj można: większą dynamikę, większą niezawodność, wysokie bezpieczeństwo funkcjonalne w instalacjach parowo-wodnych czy możliwość łatwiejszego spełnienia wymagań iskrobezpieczeństwa (por. rozdz. 14). Posiadają również wiele wad. Zainteresowanego czytelnika odsyłamy do następnego rozdziału.

17.10. Literatura

- [1] Bartyś, M., R. Patton, M. Syfert, S. de las Heras and J. Quevedo (2006). Introduction to the DAMADICS actuator FDI benchmark study. *Control Engineering Practice*, **14**, (6), 577-596.
- [2] PN-EN 60079 – Atmosfery wybuchowe
- [3] DIN IEC 60534 Industrial-Process Control Valves
- [4] http://www.polna.com.pl/do_pobrania/index.html. Program DiVent - umożliwiający dobór wielkości zaworu i nominalnego współczynnika przepływu Kvs dla standardowych serii zaworów POLNEJ.