

JERZY KUŹNIK

Katedra Automatykacji
Procesów Przemysłowych

UKŁADY POŁĄCZEŃ REGULATORA ZE STACYJKĄ DO STEROWANIA RĘCZNEGO

Streszczenie. Przedstawiono konieczność stosowania stacyjek do sterowania ręcznego i podano wymagania im stawiane. Opiszano kilka rozwiązań stacyjek pneumatycznych z podkreśleniem zależności między łatwością bezzakłócenowego przełączania a złożonością ich budowy. Podano też przykłady stacyjek stosowanych w układach elektrycznych i hydraulicznych.

Każdy układ automatycznej regulacji powinien mieć możliwość przełączania na regulację ręczną. Ręczne prowadzenie procesu jest bardzo często potrzebne przy jego rozruchu. Oprócz tego przejście na regulację ręczną umożliwia wymianę regulatora. Przejście z regulacji automatycznej (RA) na regulację ręczną (RR) i na odwrót jest umożliwiające przez zastosowanie w układzie regulacji stacyjki operacyjnej. Stacyjka ta powinna być tak wykonana, by te przejścia były bezzakłócenowe tzn. by przy przełączaniu nie występowały zmiany sygnału sterującego (wykonawczego), które spowodowałyby zmiany parametru regulowanego. Rozwiązania stacyjek operacyjnych zostaną omówione dokładniej na przykładzie stacyjek stosowanych w pneumatycznych układach regulacji.

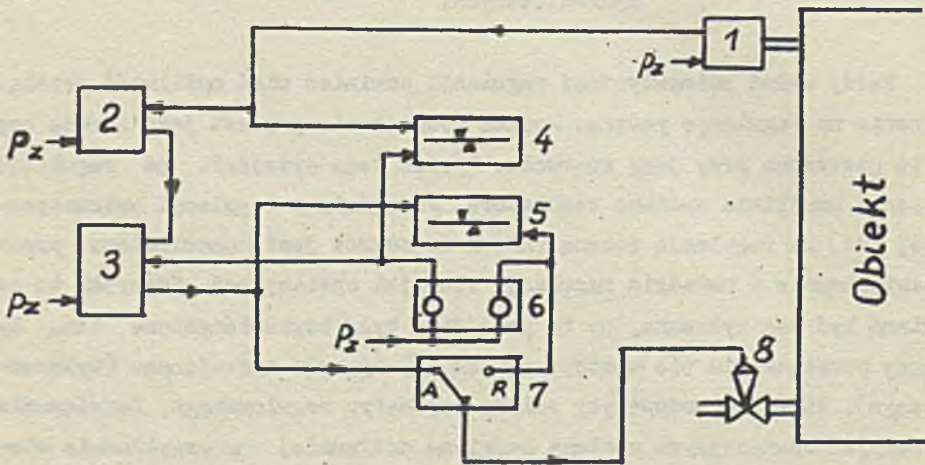
Stacyjka taka powinna mieć następujące własności:

1. Nieskomplikowany sposób przełączania z RA na RR i na odwrót.
2. W czasie RR do regulatora powinno być doprowadzone powietrze zasilające, zapewniające nadmuch zabezpieczający regulator od korozji.
3. Szczelność połączeń.

Podstawa bezzakłócenowego przejścia to wyrównanie:

- a) przy przejściu z RA na RR ciśnienia wyjściowego z zadajnika, który będzie służył do bezpośredniego sterowania siłownikiem z ciśnieniem wyjściowym z regulatora,
- b) przy przejściu z RR na RA ciśnienia wyjściowego z regulatora z ciśnieniem na siłowniku, które to ciśnienie pochodzi z zadajnika.

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat produkowano i stosowano różnego rodzaju stacyjki, przy czym im bardziej złożona jest stacyjka tym mniej skomplikowane są przełączenia. Przykładem najprostszej stacyjki umożliwiającej bezzakłócenowe przejścia jest stacyjka produkowana przez PAP Falenica, współpracująca z membranowymi regulatorami produkowanymi przez tę firmę. Schemat połączeń układu regulacji z zastosowaniem stacyjki przedstawia rys. 1.



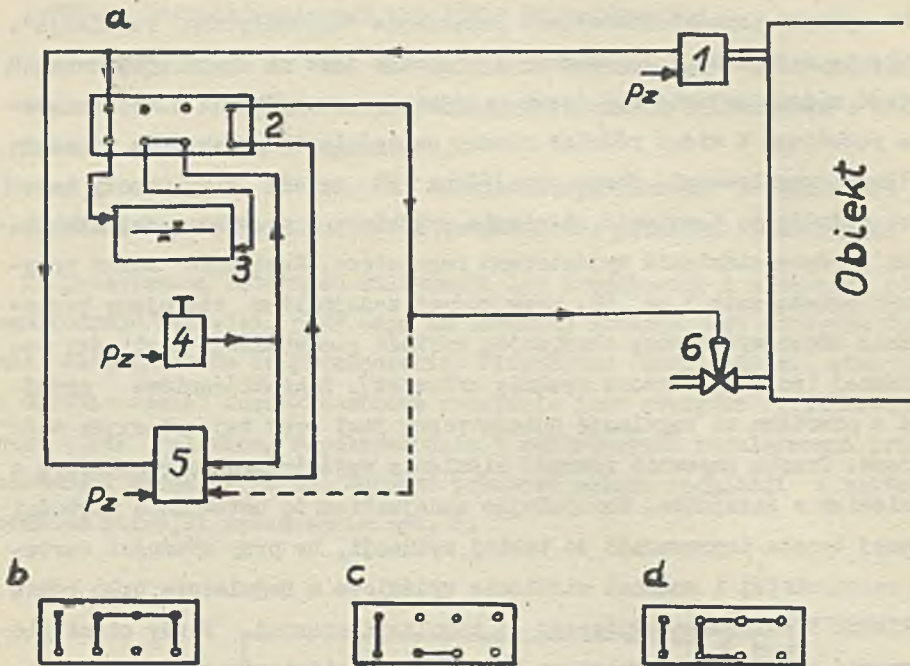
Rys. 1

Na rysunku tym: 1 - przetwornik pomiarowy; 2 - przystawka różniczkująca; 3 - regulator PI; 4, 5 - manometry podwójne; 6 - stacyjka z dwoma zadajnikami; 7 - przełącznik; 8 - organ wykonawczy.

Na rysunku przedstawione jest połączenie "automatyczna regulacja". Ciśnienie wyjściowe z regulatora 3 podawane jest na organ wykonawczy 8. Wartość zadana ustawia się lewym zadajnikiem stacyjki 6. Na manometrze podwójnym 4 widać różnicę między wartościami rzeczywistą iadaną wielkości regulowanej. Chcąc przejść na RR należy przy pomocy manometru podwójnego 5 ustawić ciśnienie wyjściowe z prawego zadajnika stacyjki 6 równe ciśnieniu wyjściowemu regulatora. Następnie można przyłączyć przełącznik 7 na RR, przy której zadajnikiem sterujemy bezpośrednio organ wykonawczy obserwując wartość rzeczywistą wielkości regulowanej (rolę regulatora spełnia oszkowiek). Bezzakłócenkowe przejście z powrotem na regulację automatyczną jest przy tej stacyjce dość złożone. Trzeba zapewnić równość ciśnienia wyjściowego z regulatora z ciśnieniem z zadajnika. Manipulując zadajnikiem do ustawiania wartości zadanej trzeba doprowadzić do takiej sytuacji, by przy równości wartości rzeczywistej i zadanej ciśnienie wyjściowe z regulatora było równe ciśnieniu z zadajnika służącego do regulacji ręcznej. Wtedy ciśnienie w komorze całkowania regulatora będzie równe ciśnieniu wyjściowemu regulatora. Można to zrobić stwarzając różnicę między wartością adaną i rzeczywistą w odpowiednim kierunku, następnie wyrównać te wartości i zobaczyć, czy wartość ciśnienia wyjściowego regulatora jest równa wartości ciśnienia na organie wykonawczym. Jeśli nie, to postępowanie takie należy powtórzyć. Widać więc, że stacyjka tego rodzaju wymaga wykwalifikowanej obsługi.

Aby uniknąć złożonych manipulacji przy przejściu z RR na RA obecnie produkowane stacyjki posiadają połączenie do komory całkowania zrobione na zewnątrz regulatora spoza stacyjki. Przykładem takiej stacyjki jest stacyjka Electroflo, której układ połączeń w układzie regulacji przedstawia rys. 2. Na rys. 2: 1 - przetwornik pomiarowy; 2 - stacyjka przełączająca; 3 - manometr podwójny; 4 - zadajnik; 5 - regulator; 6 - organ wykonawczy.

Jest to stacyjka tzw. "oszczędnościowa". Posiada ona tylko jeden zadajnik i jeden manometr podwójny. Wymaga jednak za to czterech połączeń dla zapewnienia bezzakłócenkowego przejścia z RA na RR i na odwrót. Układ przedstawiony na rys. 2a to połączenie A - "automatyczna regula-

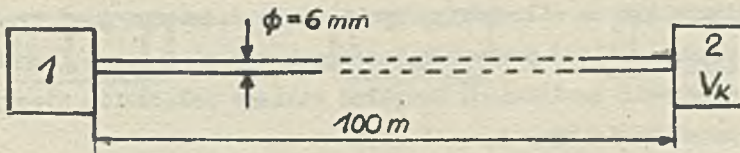


Rys. 2

cja z pomiarem wartości zadanej". Linia przerywana to połączenie do komory całkowania zrobione na zewnątrz regulatora. Chcąc przejść na RR przechodzimy najpierw na położenie B - "automatyczna regulacja z pomiarem wartości wykonawczej". Połączenia stacyjki przełączeniowej przy tym położeniu przedstawia rys. 2b. Z kolei przechodzimy na położenie C - "pośrednie" (rys. 2c), przy którym ciśnienie wyjściowe regulatora nie jest już podłączone do organu wykonawczego i w siłowniku jest ciśnienie zderzone poprzednio w położeniu B. Nastawiamy ciśnienie z zadajnika równe ciśnieniu na siłowniku i możemy wtedy bezzakłócenie przejść na położenie D - "regulacja ręczna" (rys. 2d). W tym położeniu do komory całkowania nie jest już podawane ciśnienie wyjściowe z regulatora, lecz ciśnienie z zadajnika 4 służącego teraz do regulacji ręcznej. Dzięki temu po odpowiednio długim stanie ustalonym, zależnym od nastawionej wartości czasu całkowania (bo od tego zależy wartość oporu całkowania, przez który ciśnienia się wyrównują), w komorze cał-

kowania będzie ciśnienie równe ciśnieniu panującemu na siłowniku. To ułatwia bezzakłócenkowe przejście na regulację automatyczną. Przejdziemy mianowicie z powrotem na położenie C i ustawiamy zadajnikiem 4 wartość zadaną, która przy poprawnie prowadzonej regulacji ręcznej powinna być równa wartości rzeczywistej. Wtedy na wyjściu regulatora ciśnienie będzie równe ciśnieniu w komorze całkowania, które z kolei jest równe ciśnieniu na siłowniku. Można więc teraz przejść bezzakłócenkowo na położenie A (położenie B nie jest tu potrzebne).

Stacyjka przedstawiona na rys. 2 z 2-przewodowym połączeniem między nastawnią i obiektem (nie licząc doprowadzenia ciśnienia zasilania) może być stosowana przy małych odległościach do kilkudziesięciu metrów. Przy większych odległościach między nastawnią i obiektem na linii łączącej regulator z siłownikiem występowałyby zbyt duże opóźnienia i stałe czasowe. Przykładowo zostaną podane wartości tych stałych dla linii przedstawionej na rys. 3.



Rys. 3

1 - regulator; 2 - siłownik

Objętość komory siłownika $V_k = 2,82 \text{ l}$, prędkość dźwięku $a = 280 \text{ m/sek}$.

Przedstawiając zmianę ciśnienia na wyjściu po skokowej zmianie ciśnienia na wejściu linii w postaci wzoru otrzymanego z aproksymacji

$$p_2(t) = p_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{t-T_t}{T_1\left(r + \frac{1}{2}\right)}\right) \right] \cdot 1(t - T_t)$$

gdzie:

$$T_t = \frac{1}{a} \text{ czas martwy,}$$

$$T_1 = \frac{32V}{RT} \left(\frac{1}{d}\right)^2$$

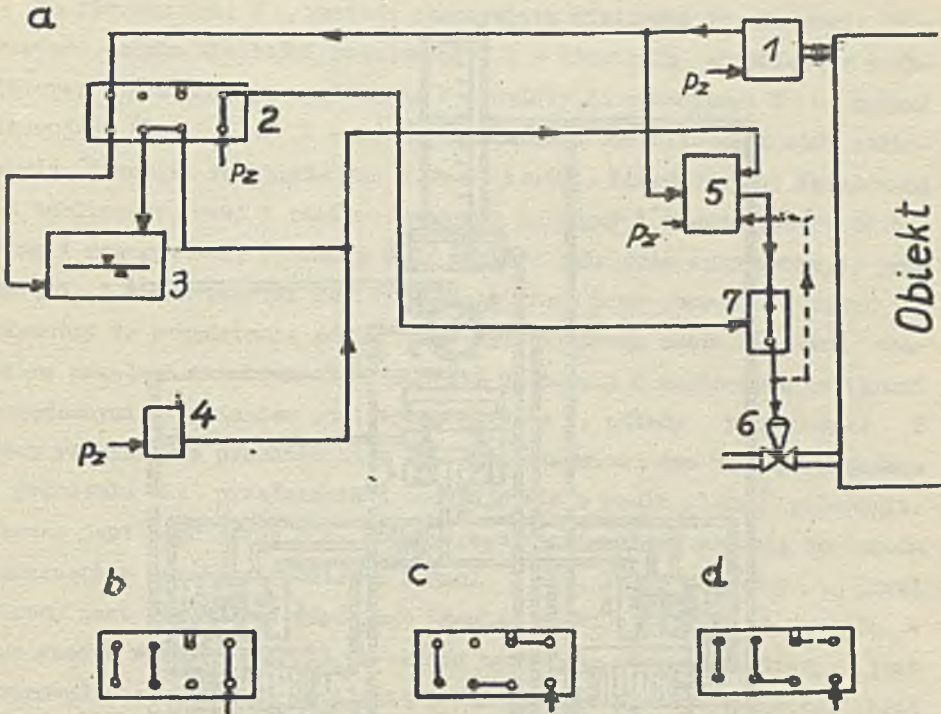
$r = \frac{V_k}{V}$ stosunek objętości komory do objętości linii otrzymuje się dla podanych danych liczbowych przyjmując

$$v = 0,155 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}, \quad R = 287 \frac{\text{Nm}}{\text{kggrd}}, \quad t = 20^\circ\text{C}$$

$$T_t = 0,35 \text{ s}; \quad T_1 = 2 \text{ sek}, \quad r = 1$$

Włec stała czasowa $T = 3$ sek. Podane wartości opóźnienia i stałej czasowej mogą się okazać w wielu przypadkach za duże. Aby tego uniknąć stosuje się przy większych odległościach połączenia, w których regulator znajduje się na siłowniku. Trzeba wtedy dodatkowo użyć przekaźnika pneumatycznego. Ilość przewodów łączących wynosi teraz 4 (bez doprowadzenia ciśnienia zasilania). Przykład takiego połączenia stacyjki Electroflo przedstawia rys. 4.

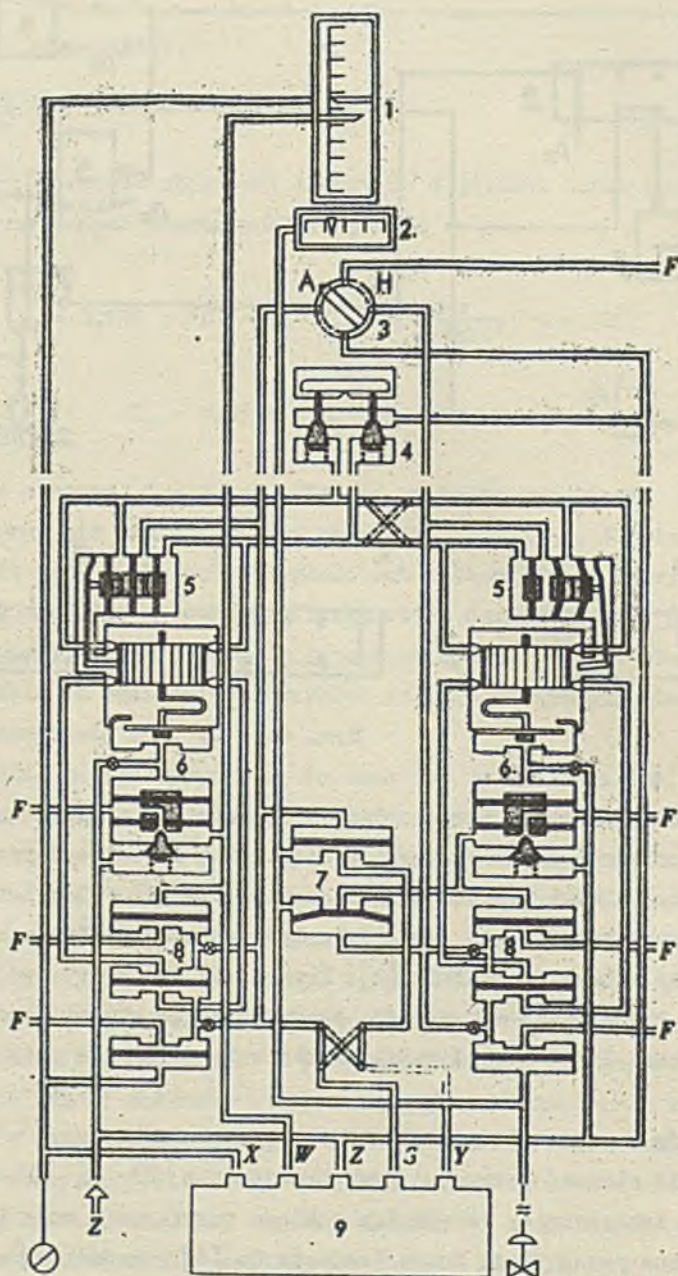
Oznaczenia na tym rysunku są te same jak na rys. 3 z tym, że dodatkowo 7 - przekaźnik pneumatyczny. Sposób przełączania z RA na RR i na odwrót jest podobny jak w stacyjce z rys. 3. Kolejne połączenia stacyjki przełączającej przedstawia rys. 4b,c,d. W dwóch pierwszych położeniach sygnał sterujący siłownikiem pochodzi z regulatora, bo przekaźnik pneumatyczny 7 jest załączony. W położeniu pośrednim i przy RR droga między wyjściem regulatora a organem wykonawczym jest przerwana przez wyłączenie przekaźnika. Z powyższych opisów wynika, że mimo połączenia do komory całkowania spoza stacyjki, bezzakłócenowe przejście z RR na RA może nastąpić dopiero po dłuższym stanie ustalonym, tzn. wtedy, gdy ciśnienie w komorze całkowania jest równe ciśnieniu na organie wykonawczym. Aby tego uniknąć obecnie bardzo często stosuje się w regulatorach specjalny przekaźnik bocznikujący opór całkowania w czasie sterowania ręcznego. Dzięki temu ciśnienie w komorze



Rys. 4

całkowania jest wtedy zawsze równe ciśnieniu na organie wykonawczym. Po zrównaniu ciśnienia zadanego z ciśnieniem wejściowym regulatora można w każdej chwili przejść bezzakłóceniu na RA. Regulatory pneumatyczne produkowane przez PAP Falenica na licencji Siemens mają być wyposażone w taki przekaźnik [8]. Przekaźnik ten musi być odpowiednio wykonany by zapewnić szczelność, szczególnie od strony komory całkowania. Nieszczelność spowodowałaby zakłócenie działania całkującego regulatora.

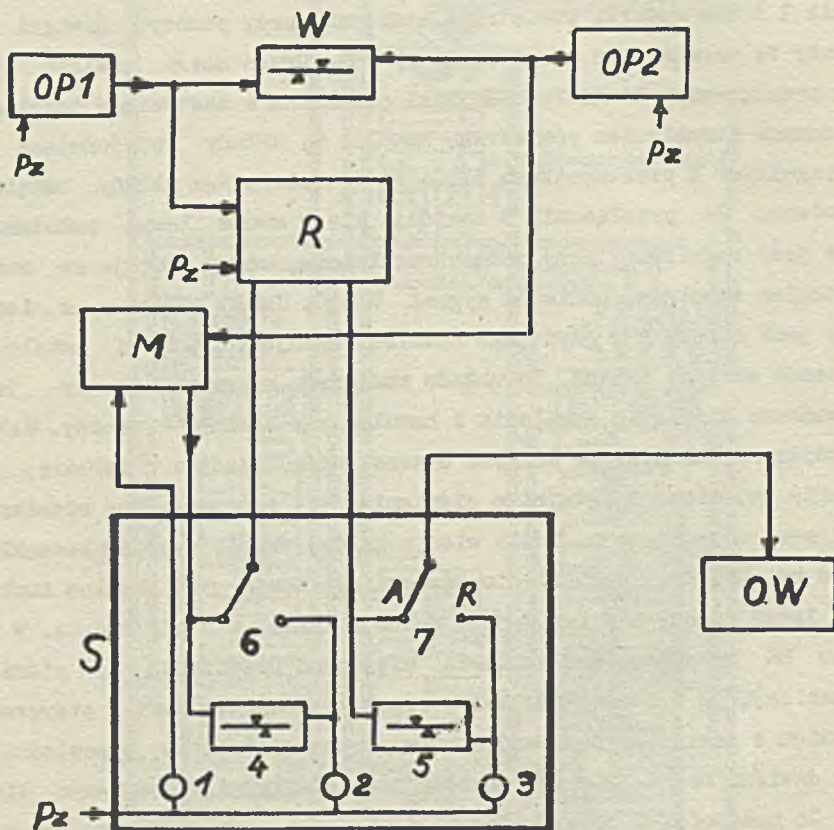
Obecnie zaczyna się produkować stacyjki automatyczne, w których wyrównywanie ciśnień potrzebne przy przejściu z RA na RR i na odwrót zachodzi samoczynnie. Przykładem takiego rozwiązania może być stacyjka produkowana przez firmę Moore Products Co [4] przedstawiona na rys. 5.



Rys. 5

Na rysunku tym: X - wartość rzeczywista wielkości regulowanej; W - wartość zadana wielkości regulowanej; Y - ciśnienie wyjściowe z regulatora; Z - ciśnienia zasilania; F - wyloty do atmosfery; S - sygnał sterujący ($S = 0$ lub $S = Z$) przekaźnikiem bocznikującym opór całkowania. Stacja ta składa się z dwóch części. Pierwsza jest zabudowana na tablicy czołowej i zawiera manometr podwójny 1 mierzący wartość zadaną i rzeczywistą, manometr 2 do pomiaru ciśnienia wykonawczego, przełącznik 3 i dwa zaworki powietrzne otwierane przy pomocy dźwigni 4. Elementy te przedstawia górna część rys. 5. Druga część zawiera właściwy przełącznik RA-RR 7, zadajniki ciśnienia 6 nastawiane turbinami napędzanymi strumieniem powietrza, hamulce 5, układy porównujące 8 oraz regulator z przekaźnikiem 9. Są to właściwie dwa układy nadążne. W położeniu RA przełącznik 3 znajduje się w swoim lewym położeniu. Proces jest regulowany przy pomocy regulatora, który pracuje ze swoim sprzężeniem zwrotnym, ponieważ sygnał $S = 0$. Układ nadążny z lewej strony jest nieczynny, gdyż jego hamulec blokuje turbinę i ustala w ten sposób wartość zadaną. Do układu nadążnego z prawej strony jest doprowadzone ciśnienie zasilania i hamulec nie blokuje turbiny. Układ porównujący 8 tak steruje dolnymi dyszami napędzającymi turbinę, że ciśnienie wyjściowe z zadajnika ciśnienia jest zawsze równe ciśnieniu wyjściowemu z regulatora. Można więc w każdej chwili przejść bezzakłóceniu na RR. Przy naciśnięciu dźwigni odblokuje się hamulec turbiny z lewej strony i w ten sposób można zmieniać wartość zadaną. W położeniu RR przełącznik 3 zamienia miejscami połączenia z ciśnieniem zasilającym i atmosferą. Teraz organ wykonawczy jest sterowany ciśnieniem z zadajnika z prawej strony. Przez naciskanie odpowiedniej strony dźwigni można zmieniać wartość tego ciśnienia w pożądanym kierunku. Do przekaźnika bocznikującego jest teraz doprowadzony sygnał $S = Z$ i ciśnienie w komorze całkowania w każdej chwili jest równe ciśnieniu na organie wykonawczym. W położeniu RR jest czynny układ nadążny z lewej strony wyrównujący ciśnienie zadane z ciśnieniem rzeczywistym. W takim razie można w każdej chwili przejść bezzakłóceniu z RR na RA. W sytuacji tej uzyskuje się więc maksymalne uproszczenie manipulacji przy przejściu z RA na RR, i na odwrot. Jest to jednak

okupione dużą złożonością stacyjki, co powoduje jej mniejszą pewność działania. Widoczną wadą tego rozwiązania stacyjki automatycznej jest brak sprzężeń zwrotnych w zadajnikach 6, wskutek czego np. zmiany ciśnienia zasilania będą powodować zmiany ich ciśnień wyjściowych (istnieje tu wprawdzie możliwość strumieniowego sprzężenia zwrotnego, o czym jednak nie wspomniano w opisie [4]).



Rys. 6

Opisane powyżej stacyjki mogą być stosowane w układach regulacji stałowartościowej. Oprócz tego produkuje się stacyjki, które mogą być zastosowane w układach regulacji nadążnej i regulacji kaskadowej oraz ich kombinacjach. Jako przykład będzie podany uproszczony schemat po-

łączeń układu regulacji stosunku z zastosowaniem stacyjki TS72 produkowanej przez PAP Falenica, umożliwiającej przejście na regulację stażwartościową 5, (rys. 6).

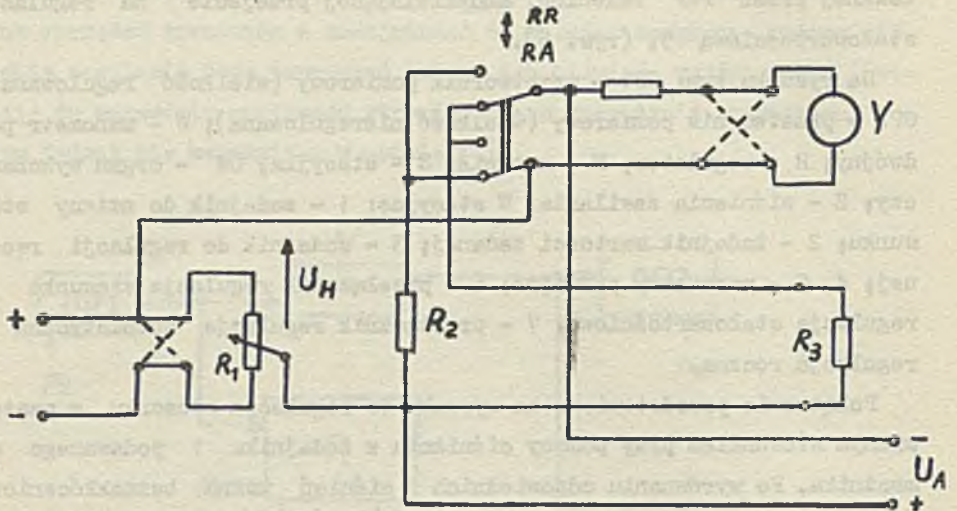
Na rysunku tym: OP1 - przetwornik pomiarowy (wielkość regulowana); OP2 - przetwornik pomiarowy (wielkość nieregulowana); W - manometr podwójny; R - regulator; M - mnożnik; S - stacyjka; OW - organ wykonawczy; Z - ciśnienia zasilania. W stacyjce: 1 - zadajnik do zmiany stosunku; 2 - zadajnik wartości zadanej; 3 - zadajnik do regulacji ręcznej; 4, 5 - manometry podwójne; 6 - przełącznik regulacja stosunku - regulacja stażwartościowa; 7 - przełącznik regulacja automatyczna - regulacja ręczna.

Połączenie przedstawione na rysunku to regulacja stosunku z nastawianym stosunkiem przy pomocy ciśnienia z zadajnika 1 podawanego do mnożnika. Po wyrównaniu odpowiednich ciśnień można bezzakłóceniu przejść na regulację stażwartościową i na regulację ręczną oraz na odwrót.

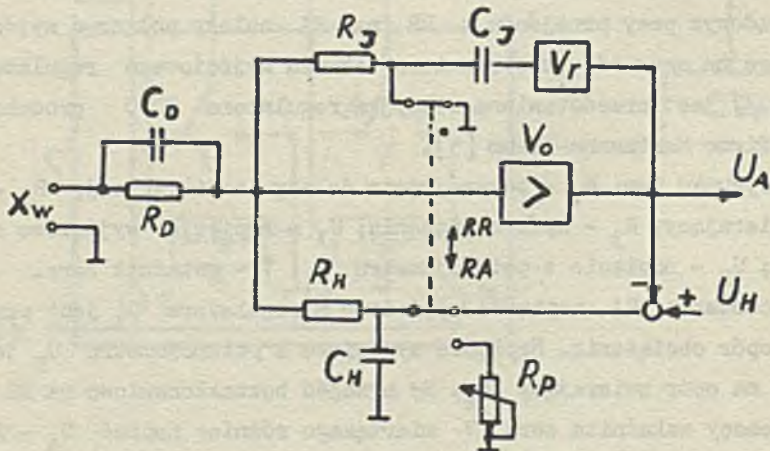
Stacyjki regulacyjne w układach regulacji z zastosowaniem aparatury elektrycznej też muszą umożliwiać wyrównanie napięć lub prądów na wyjście regulatora i z zadajnika ręcznego. Dodatkowo w układach z sygnałem prądowym przy przejściu z RR na RA należy połączyć wyjście regulatora na oporność (nie rozwierać obwodu wyjściowego regulatora!). Na rys. 7 jest przedstawiona stacyjka regulatora TRIC produkowanego przez firmę Hartmanna-Braun [5].

Na rysunku tym: R_1 - potencjometr do regulacji ręcznej; R_2 - opornik zwierający; R_3 - opór obciążenia; U_A - napięcie wyjściowe z regulatora; U_H - napięcie z potencjometru R_1 ; V - wskaźnik zera.

W położeniu RA napięcie wyjściowe z regulatora U_A jest przyłożone na opór obciążenia. Napięcie wyjściowe z potencjometru U_H jest podawane na opór zwierający R_2 . By przejść bezzakłóceniu na RR należy przy pomocy wskaźnika zera V mierzącego różnicę napięć $U_A - U_H$ wyrównać te napięcia. By umożliwić bezzakłóceniu przejście z RR na RA w regulatorze znajduje się dodatkowy człon dynamiczny $R_H C_H$ (rys.8). X_W - różnica między wartością zadaną i rzeczywistą wielkością regulowanej.



Rys. 7

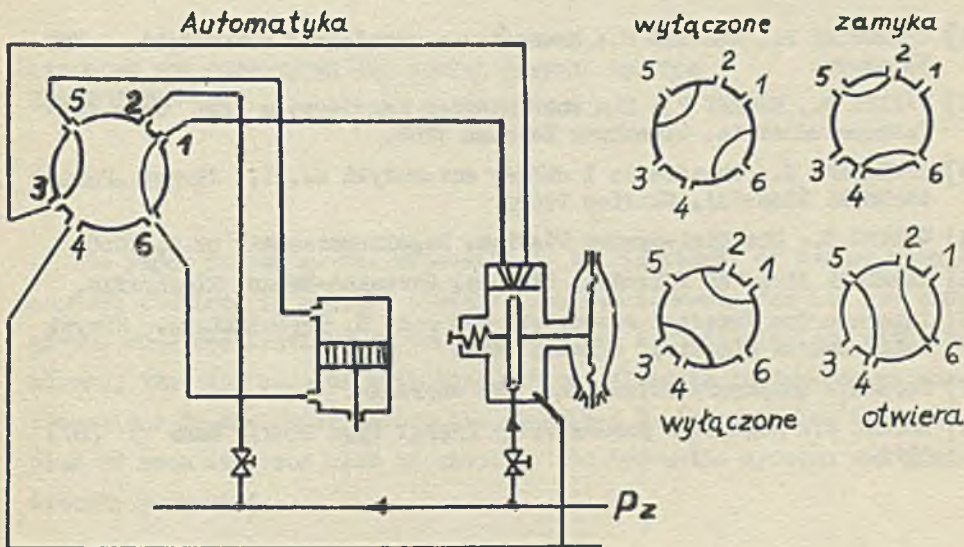


Rys. 8

Przy położeniu przełącznika jak na rysunku zachodzi RR. Przy założeniu bardzo dużego wzmocnienia V_o wzmacniacza operacyjnego można napisać

$$U_H - U_A = \frac{R_H}{R_D} \cdot X_W$$

Ponieważ $\frac{R_H}{R_D} \ll 1$ różnica $U_H - U_A$ jest bardzo mała. Przy wyrównaniu wartości zadanej i rzeczywistej ($X_W = 0$) różnica ta jest równa zero, co umożliwia bezzakłóceńowe przejście z RR na RA. Tu jednak nie trzeba dokładnie wyrównywać tych wartości. Dzięki zastosowaniu dodatkowego członu dynamicznego $R_H C_H$ przy przejściu z RR na RA następuje łagodne przejście na nową wartość zadaną.



Rys. 9

Konieczność wyrównywania wartości sygnałów wyjściowego z regulatora i wyjściowego z zadajnika do sterowania ręcznego nie zachodzi w układach, w których siłownik posiada własności całkujące, a więc np. w układach z elektrycznymi regulatorami krokowymi i z regulatorami hy-

draulicznymi. Na rys. 9 przedstawiono schemat połączeń 6 wylotowego przełącznika stosowanego w układach hydraulicznych.

W zależności od ustawienia pokrętła przełącznika uzyskuje się jedno z pięciu możliwych połączeń: regulacja automatyczna, siłownik zamyka nastawnik, siłownik otwiera nastawnik i dwie pozycje - siłownik unieruchomiony.

W układach z regulatorami krokowymi przy regulacji ręcznej stycznik silnika nie jest zabłązany impulsami z regulatora, lecz przy pomocy ręcznie sterowanych przełączników.

LITERATURA

- [1] CHOROWSKI B., WERSZKO M.: Mechaniczne urządzenia automatyki. WNT Warszawa.
- [2] PAVLIK E., MACHEI P.: Ein kombiniertes Regelsystem für die Verfahrenindustrie. Oldenburg München 1960.
- [3] TRYBALSKI Z.: Urządzenia i układy automatyki cz. I. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1968.
- [4] WOLTER G.: Die Mini-Synco Station. Regelungstechnik nr 9, 1968.
- [5] Katalogi firm PAP Falenica, Siemens, Hartmann-Braun, Electroflo.
- [6] Laboratorium Urządzeń Automatyki pod red. Z. Trybalskiego. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1968.
- [7] Poradnik inżyniera automatyka. WNT Warszawa.
- [8] BŁOCKI W.: Regulator pneumatyczny Pnefal typu TR-2. Mera 5 (87) 1969.

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 18.XII.1970 r.

СИСТЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРА С ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕМ
С АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА РУЧНОЕ

С о д е р ж а н и е

В статье представлено необходимость применения переключателя с автоматического управления на ручное. Описано несколько пневматических переключателей с подчеркиванием зависимости между лёгкостью бесперебойного переключения и сложностью их строения. Подано тоже примеры переключателей применяемых в электрических и гидравлических системах автоматического регулирования.

CIRCUITS FOR CONTROLLER AND MANUAL CONTROL STATION
CONNECTIONS

S u m m a r y

The paper presents, the necessity of applications of manual remote control stations in control systems. The requirements for its are also given. Some realizations of pneumatic manual control stations with the stress, that the case of switching without disturbance depends on complications in the construction are described in the article. The examples of such stations used in electric and hydraulic systems are additionally presented.