

## Instrukcja do ćwiczenia 8

### REGULACJA TRÓJPOŁOŻENIOWA

**Cel ćwiczenia:** dobór nastaw regulatora, analiza układu regulacji trójpołożeniowej, określenie jakości regulacji trójpołożeniowej w układzie bez zakłóceń oraz z zakłóceniami, ocena trwałości obiektu regulacji

**Podstawowe definicje:**

**Układ automatycznej regulacji (UAR)** - układ sterowania z ujemnym sprzężeniem zwrotnym.

**Wartość zadana wielkości regulowanej  $y_z$**  – wartość, która w wyniku procesu regulacji powinna zostać osiągnięta przez *wielkość regulowaną*.

**Regulator** - urządzenie, którego zadaniem jest generowanie i wysyłanie do obiektu regulacji *sygnału sterującego (wyjściowego)  $u$* . Regulator generuje sygnał na podstawie wartości *uchybu regulacji  $e$* .

**Odchylenie (uchyb) regulacji  $e$**  - różnica pomiędzy **wartością zadaną** wartości regulowanej  $y_z$  a **wartością rzeczywistą** wielkości regulowanej  $y$  (wzór 1). Regulator zależnie od uchybu regulacji odpowiednio zmienia sygnał sterujący  $u$ , tak aby spełnić warunek równości wartości regulowanej  $y$  oraz zadanej  $y_z$ , wówczas uchyb  $e$  będzie równy zero.

$$e = y_z - y \quad (1)$$

**Obiekt regulacji** - urządzenie, zespół urządzeń lub proces technologiczny, w którym w wyniku zewnętrznych oddziaływań realizuje się pożądany algorytm działania.

**Urządzenie wykonawcze** – składa się z elementu napędowego (np. siłownik) oraz elementu wykonawczego (np. zawór). Element napędowy służy jako napęd elementu wykonawczego

(siłownik zaworu, silnik pompy). Element wykonawczy – wymusza zmiany wartości wielkości regulowanej (np. zawór regulacyjny, przepustnica, pompa, wentylator).

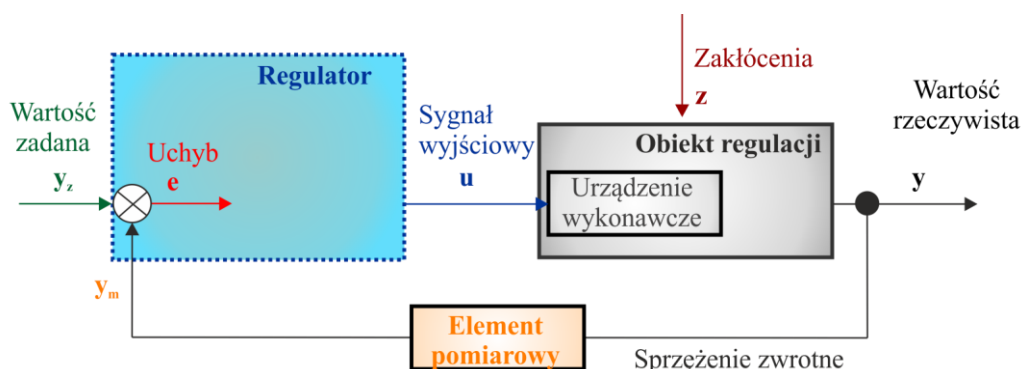
**Histereza** – zjawisko polegające na tym, iż dany element automatyki ma niejednoznaczną charakterystykę statyczną. Strefa histerezy jest to obszar, w którym każdej wartości sygnału wejściowego odpowiadają dwie wartości sygnału wyjściowego.

**Element pomiarowy** – jest to część układu automatycznej regulacji, której zadaniem jest pomiar wartości rzeczywistej wielkości regulowanej  $y$  oraz wytworzenie sygnału  $y_m$  dogodnego do wprowadzenia do regulatora.

## 1. Układy regulacji automatycznej z regulatorem trójpółożeniowym

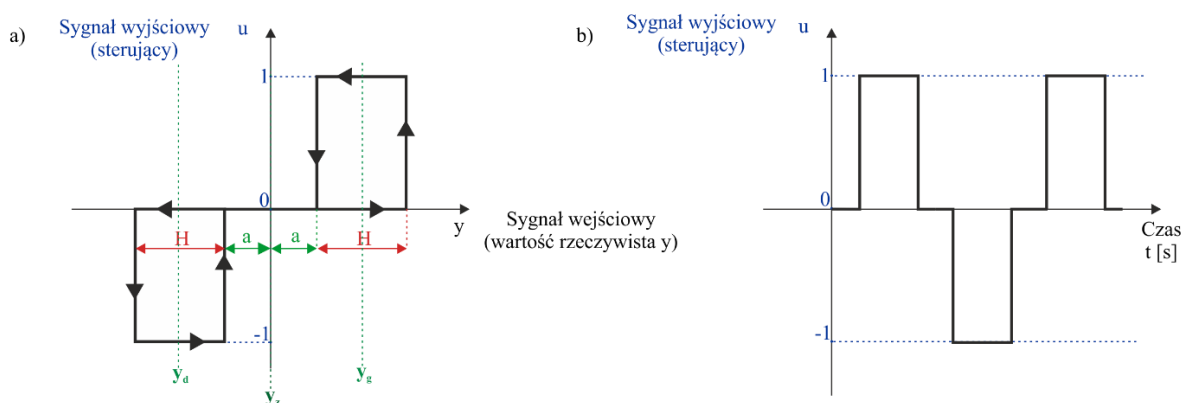
Zastosowanie układów regulacji automatycznej z regulatorem trójpółożeniowym w różnorodnych procesach przemysłowych ma na celu utrzymywanie określonej wielkości fizycznej (temperatury, ciśnienia, położenia, wilgotności itp.) na zadanym poziomie. Zazwyczaj cel regulacji jest określony charakterem sygnału zadanego  $y_z$ . W przypadku gdy wartość zadana jest stała  $y_z = \text{const}$  (jest to regulacja stałowartościowa) zadaniem układu regulacji jest kompensacja zakłóceń  $z$  działających na obiekt regulacji.

Schemat prostego układu regulacji o jednej wielkości regulowanej  $y$  jest przedstawiony na rys. 8.1. W tym schemacie wyróżnia się cztery główne elementy automatyki, mianowicie regulator trójpółożeniowy, obiekt regulacji wraz z urządzeniem wykonawczym oraz element pomiarowy.



Rys. 8.1. Schemat blokowy układu automatycznej regulacji

Charakterystykę statyczną regulatora trójpółożeniowego z histerezą zaprezentowano na rys. 8.2a. Przykładowy przebieg sygnału sterującego w czasie dla układu regulacji trójpółożeniowej przedstawiono na rys. 8.2b.



Rys. 8.2. a) Charakterystyka statyczna regulatora trójpółożeniowego:  $a$  – strefa nieczułości,  $H$  – strefa histerezy; b) przebieg sygnału sterującego  $u$  w czasie  $t$

Ze względu na to, że sygnał wyjściowy regulatora może posiadać trzy wartości, element wykonawczy może przyjmować trzy stany pracy. Jeśli na wyjściu z regulatora jest odpowiednio stan logiczny 1, 0 lub -1 to przykładowo:

- w układzie regulacji temperatury obiektu – następuje odpowiednio: włączenie chłodzenia (stan logiczny 1), wyłączenie ogrzewania i chłodzenia (stan logiczny 0) oraz włączenie ogrzewania (stan logiczny -1),
- w układzie regulacji ciśnienia w zbiorniku – następuje odpowiednio: zamykanie zaworu regulującego (stan logiczny 1), brak otwierania oraz zamykania zaworu (stan logiczny 0), otwieranie zaworu regulującego (stan logiczny -1),
- w układzie regulacji wilgotności w pomieszczeniu - następują odpowiednio: załączenie sekcji osuszania (stan logiczny 1), wyłączenie sekcji nawilżania oraz osuszania (stan logiczny 0), załączenie sekcji nawilżania (stan logiczny -1).

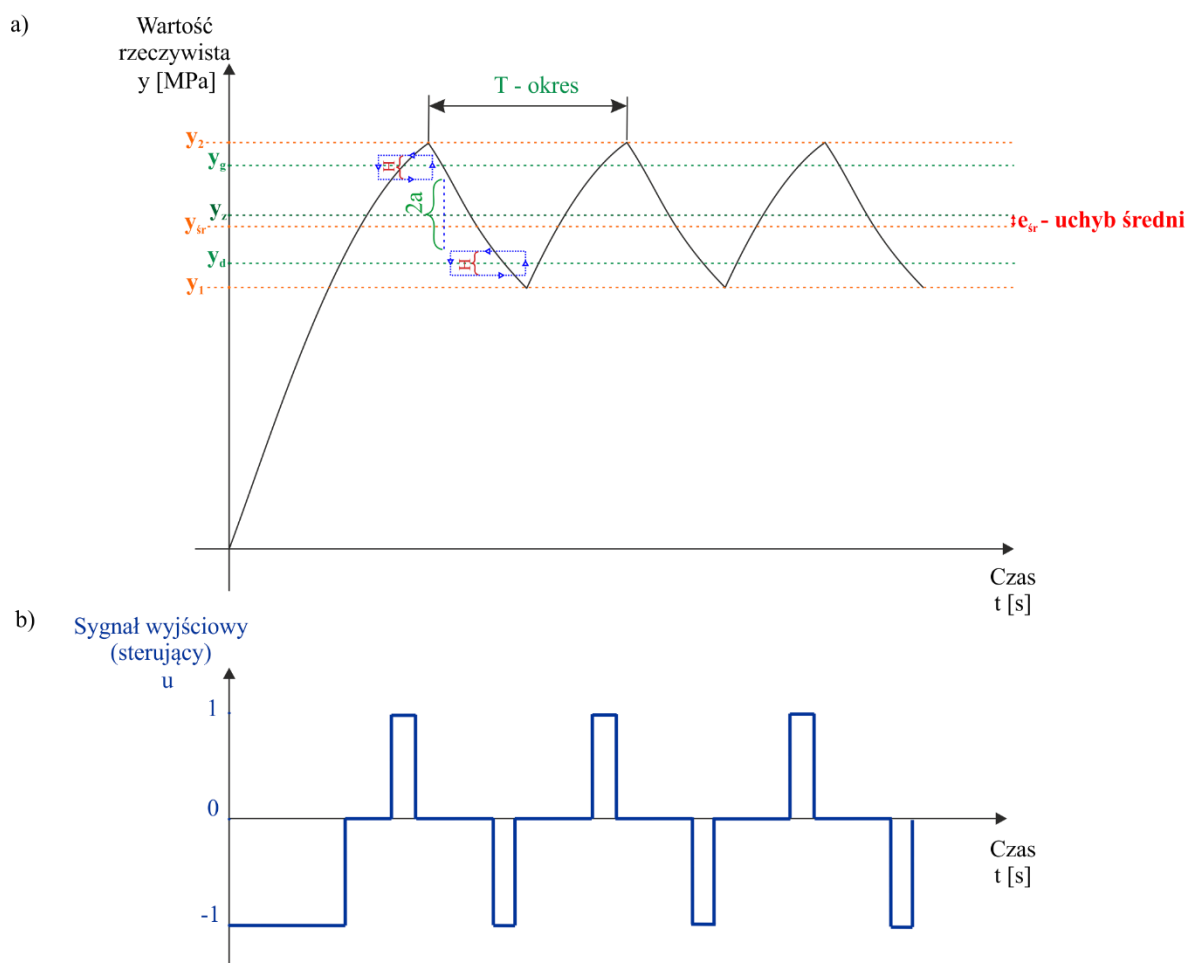
Obserwacja oraz rejestracja przebiegu procesu regulacji trójpółożeniowej ma na celu ocenę jakości regulacji oraz dobór, najkorzystniejszych do danego zastosowania, nastaw regulatora. Przykładowy wykres zmiany wartości regulowanej w czasie zaprezentowano na rys. 8.3a, na którym zaznaczono wartości, istotne pod względem oceny jakości regulacji. W przypadku gdy

przebieg wielkości regulowanej ma charakter oscylacyjny, ocena jakości regulacji przeprowadzona jest według odchyłki średniej regulacji  $e_{sr}$  (wzór 2), która liczona jest na podstawie wartości średniej regulacji  $y_{sr}$  (wzór 3). Rys. 8.3b przedstawia przebieg sygnału sterującego w funkcji czasu dla układu regulacji trójpółeniowej z rys. 8.3a.

$$e_{sr} = y_z - y_{sr} \quad (2)$$

$$y_{sr} = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad (3)$$

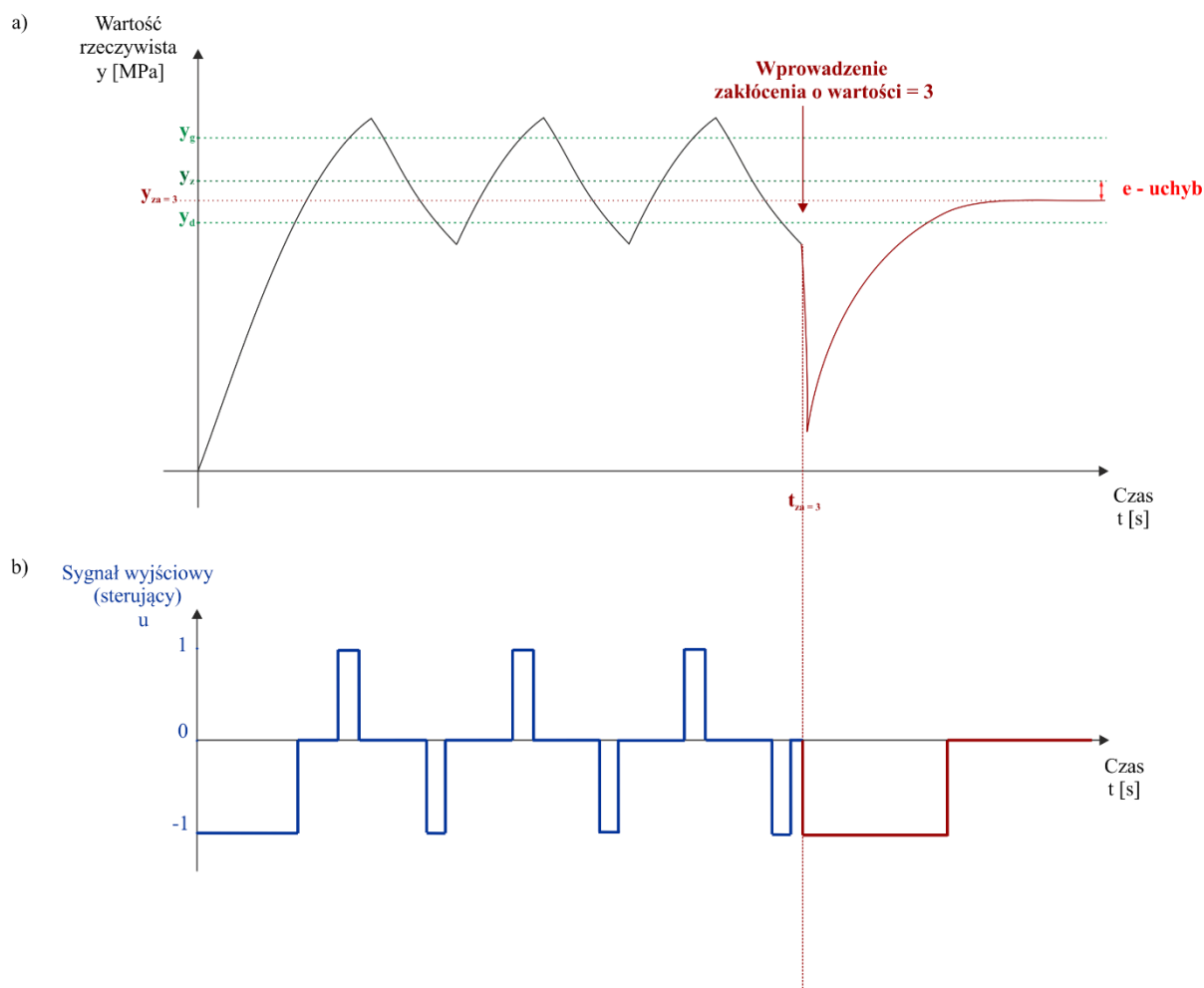
gdzie:  $y_1, y_2$  – odpowiednio minimalna oraz maksymalna wartość regulowana, wyznaczona z oscylacji



Rys. 8.3. a) Wykres zmiany wartości regulowanej  $y$  w czasie  $t$  w układzie regulacji trójpółeniowej; b) przebieg sygnału sterującego  $u$  w czasie  $t$

Wszystkie, rzeczywiste układy regulacji automatycznej zazwyczaj pracują w trudnych zmiennych warunkach. Zmianie podlega zarówno wartość zadana wielkości regulowanej jak i rodzaj oraz wartość sygnałów zakłócających. Przykładowy wpływ sygnału zakłócającego na

przebieg procesu regulacji ciśnienia powietrza w zbiorniku oraz na przebieg sygnału sterującego pokazano na rysunku 8.4. W zaprezentowanym przypadku po wprowadzeniu zakłócenia, przebieg wartości regulowanej ustabilizował się w czasie, (na wartości  $y_{za=3}$ ). W trakcie stabilizacji, jakość regulacji można ocenić na podstawie wartości odchyłki regulacji  $e$ .



Rys. 8.4. Wpływ sygnału zakłócającego na: a) przebieg zmiany wartości regulowanej  $y$  w czasie  $t$  w układzie regulacji trójpółłożeniowej; b) przebieg sygnału sterującego  $u$  w czasie  $t$

## 2. Ocena jakości regulacji

Podstawową miarą spełnienia przez układ regulacji postawionego przed nim zadania jest uchyb regulacji ( $\mathbf{e}$  lub  $\mathbf{e}_{sr}$ ). W idealnym układzie regulacji uchyb powinien wynosić zero, natomiast w rzeczywistym układzie zazwyczaj uchyb nie powinien być większy od uchybu założonego przed oceną regulacji. Najczęściej przyjmuje się, że maksymalny dopuszczalny

uchyb regulacji ( $\Delta e$ ) stanowi 5% wartości zadanej. Kolejnym wskaźnikiem istotnym w analizie układów regulacji jest określenie **częstotliwości załączania**  $f_z$  urządzenia wykonawczego, ponieważ nie może być ona zbyt duża, gdyż może spowodować to szybsze zużywanie się elementów układu. Przy bardzo dużej częstotliwości załączeń można nawet doprowadzić do zniszczenia poszczególnych elementów układu (najczęściej styków stycznika). W przypadku układów regulacji trójpołożeniowej, częstotliwość załączania  $f_z$  (wzór 4) stanowi podwojoną odwrotność **okresu**  $T$  [s], wyznaczonego z oscylacyjnego przebiegu wartości regulowanej w czasie.

$$f_z = \frac{2}{T} [Hz] \quad (4)$$

### 3. Stanowisko dydaktyczne – regulacja ciśnienia

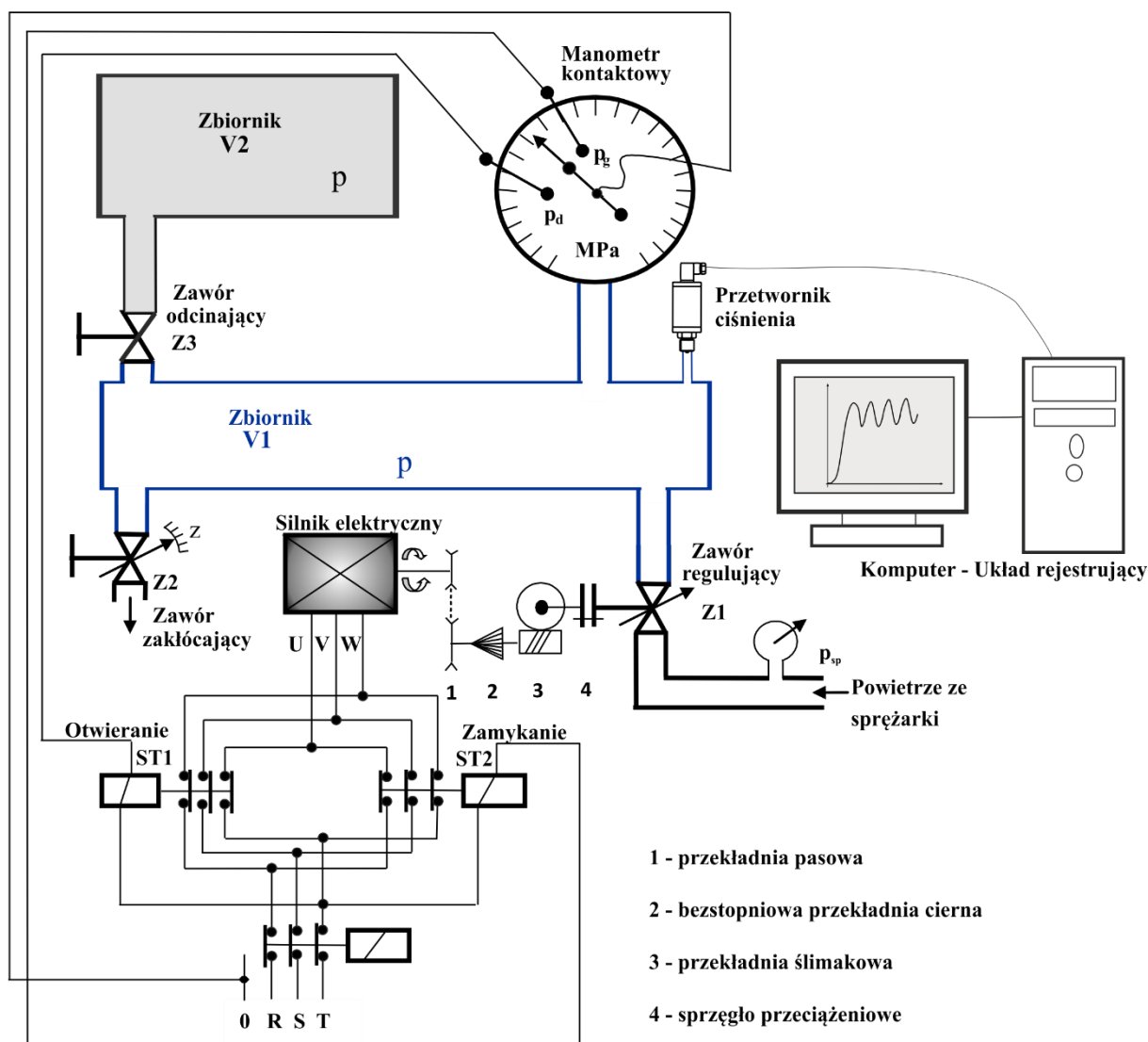
Schemat stanowiska do regulacji ciśnienia powietrza w obiekcie regulacji zbudowanym z dwóch zbiorników (V1 oraz V2), przedstawiono na rys. 8.5.

**Obiekt regulacji** – dwa zbiorniki V1 oraz V2 połączone zaworem odcinającym Z3.

**Regulator** – manometr kontaktowy, w którym wartość zadana ciśnienia  $p_z$  stanowi średnią arytmetyczną dolnej wartości ciśnienia  $p_d$  oraz górnej wartości ciśnienia  $p_g$ .

**Urządzenie wykonawcze** – silnik elektryczny + przekładnie, zawór Z1.

Sprężarka dostarcza powietrze o ciśnieniu  $p_{sp}$  do obiektu regulacji poprzez **zawór regulujący Z1**. Zmianę stanu otwarcia zaworu Z1 realizuje silnik elektryczny za pośrednictwem przekładni pasowej 1, bezstopniowej przekładni czarnej 2 (pozwalającej na różną prędkość zmiany otwarcia zaworu) oraz przekładni ślimakowej 3. Silnik uruchomiony zostaje poprzez włączenie stycznika ST1 (lewe obroty silnika) lub stycznika ST2 (prawe obroty silnika), które z kolei złączane są poprzez zwieranie styków manometru kontaktowego. W stanowisku dydaktycznym zakłócenia z o zadanej wartości, można uzyskać poprzez otwieranie **zaworu zakłócającego Z2**. W efekcie spowoduje to spadek ciśnienia  $p$  w obiekcie regulacji i odpowiednią do zaistniałej sytuacji reakcję regulatora.



Rys. 8.5. Schemat stanowiska trójpołożeniowej regulacji ciśnienia

#### 4. Zadania do wykonania

- Zapoznać się z działaniem stanowiska dydaktycznego do regulacji trójpołożeniowej ciśnienia powietrza w zbiorniku.
- Przy ustalonej wartości zadanej ciśnienia  $p_z$ , dobrać nastawy regulatora ( $p_d$ ,  $p_g$ ).
- Przeprowadzić obserwację oraz rejestrację procesu regulacji trójpołożeniowej ciśnienia powietrza w zbiorniku V1 w układzie bez zakłóceń ( $z = 0$ ) oraz z zakłóceniami o wybranej wartości ( $z = \text{od } 1 \text{ do } 10$ ).
- Połączyć zbiornik V1 i V2 poprzez przesterowanie zaworu odcinającego Z3. Przeprowadzić obserwację oraz rejestrację procesu regulacji trójpołożeniowej

ciśnienia powietrza w dwóch połączonych zbiornikach ( $V_1+V_2$ ), w układzie bez zakłóceń ( $z = 0$ ) oraz z zakłóceniami o wybranej wartości ( $z = \text{od } 1 \text{ do } 10$ ).

- W celu zaobserwowania wpływu szerokości strefy nieczułości na jakość regulacji - zaproponować inne wartości nastawy regulatora ( $p_d$ ,  $p_g$ ).
- Na podstawie zarejestrowanych wykresów zmiany wartości ciśnienia w czasie należy określić:
  - ✓ określić wpływ szerokości strefy nieczułości na odchylenie regulacji ( $e$  lub  $e_{sr}$ ) oraz częstotliwość załączeń  $f_z$ ,
  - ✓ określić wpływ wielkości sygnału zakłócającego na przebieg procesu regulacji ( $e$  lub  $e_{sr}$ ),
  - ✓ określić wpływ objętości  $V$  obiektu na odchylenie regulacji ( $e$  lub  $e_{sr}$ ) oraz częstotliwość załączeń silnika  $f_z$ .

## 5. Pytania kontrolne

- Omówić na wybranym przykładzie układ automatycznej regulacji z regulatorem trójpółeniowym.
- Narysować i opisać charakterystykę statyczną regulatora trójpółeniowego.
- Na podstawie przebiegu wartości regulowanej w czasie, wyznaczyć: wartość zadaną wartości regulowanej  $y_z$ , uchyb  $e$ , uchyb średni  $e_{sr}$ , częstotliwość załączeń urządzenia wykonawczego  $f_z$ .
- Na przykładzie stanowiska dydaktycznego przedstawić i opisać sposób stabilizacji układu automatycznej regulacji ciśnienia powietrza w zbiorniku.

Opracowanie: mgr inż. Beata Gal, na podstawie:

1. Brzózka J. „Regulatory i układy automatyki”, Mikom, Warszawa 2004
2. Praca Zbiorowa pod red. T. Mikulczyńskiego, „Laboratorium Podstaw automatyki i automatyzacji”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005
3. Węgrzyn S., „Podstawy automatyki”, PWN, Warszawa 1980
4. Kaczorek T., „Teoria sterowania”, PWN, Warszawa 1977
5. Żelazny M., „Podstawy automatyki”, PWN, Warszawa 1976