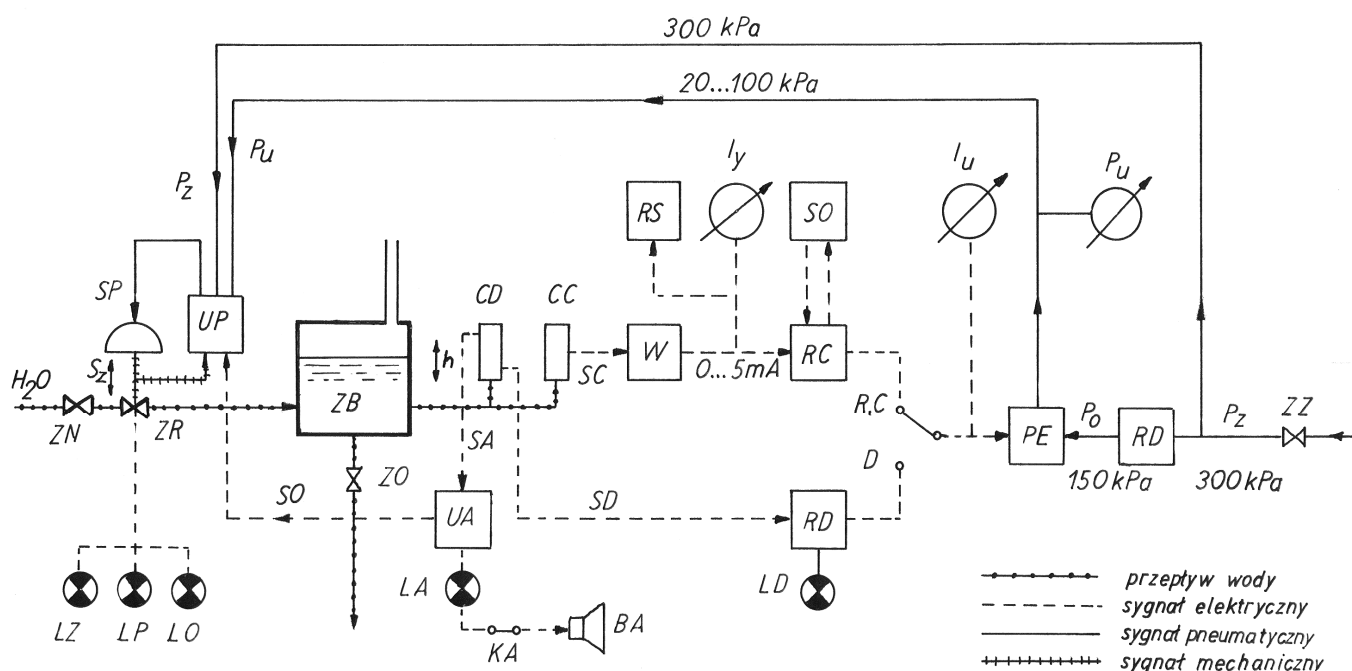


6. ELEKTRONICZNY REGULATOR PID DO REGULACJI POZIOMU CIECZY W ZBIORNIKU

Cel zadania: Porównanie statycznych i dynamicznych właściwości układów sterowania ręcznego oraz dwupołożeniowej i ciągłej regulacji poziomu cieczy w zbiorniku. Działanie przemysłowego, analogowego regulatora elektronicznego PID, międzysystemowego przetwornika elektropneumatycznego oraz zaworu regulacyjnego z pneumatycznym siłownikiem dwutłokowym i ustawnikiem pozycyjnym. Doświadczalne określenie optymalnych nastaw regulatora PID metodą Zieglera i Nicholosa.

6.1. UKŁAD REGULACJI

Schemat układu regulacji poziomu cieczy przedstawia rysunek 6.1. Obiektem regulacji jest zbiornik ZB, przez który przepływa woda wodociągowa. Zadaniem układu regulacji jest utrzymanie zadanego poziomu wody w zbiorniku (regulacja stałowartościowa).



Rys. 6.1. Schemat układu regulacji poziomu cieczy

Woda dopływa do zbiornika przez zawór napływowy ZN i następnie przez zawór regulacyjny ZR. Zawór regulacyjny jest obracany dwutłokowym siłownikiem pneumatycznym SP firmy Worcester, połączonym z ustawnikiem pozycyjnym UP. Ustawnik zapewnia

jednoznaczność i liniowość stopnia otwarcia zaworu S_z w funkcji wartości sygnału regulującego (ciśnienia P_u). Ustawnik i siłownik są zasilane sprężonym powietrzem o ciśnieniu $P_z = 250 \dots 300$ kPa ze stacji zasilania. Pozostałe układy pneumatyczne są zasilane niższym ciśnieniem P_0 , za pośrednictwem reduktora ciśnienia RD z filtrem i odoliwiaczem powietrza. Woda odpływa ze zbiornika przez zawór odpływowy ZO . Poziom wody w zbiorniku h jest mierzony czujnikiem analogowym (ciągłym) CC , a przekroczenia jego założonych wartości są sygnalizowane czujnikiem dyskretnym (dwupołożeniowym) CD .

Dyskretny czujnik dwupołożeniowy jest czujnikiem typu konduktometrycznego, w którym słup wody wodociągowej, zawierającej zawsze niewielkie ilości związków chemicznych w postaci zdysocjowanej, zamyka obwód prądu elektrycznego po zetknięciu się z umieszczonym w szklanej rurce drucikiem. Czujnik dwupołożeniowy wyposażono w dwa druciki, umocowane na różnych wysokościach i dostarczające dwóch dwustanowych, dyskretnych sygnałów elektrycznych: sygnału SD do dwupołożeniowego regulatora poziomu wody RD oraz sygnału alarmu SA do układu alarmu UA . Rurka czujnika dwupołożeniowego jest zaopatrzona w podziałkę i może być wykorzystywana również jako miejscowy, analogowy wskaźnik poziomu wody w zbiorniku, tzw. poziomowskaz.

Czujnik analogowy CC jest poziomomierzem pływakowym, z transformatorem różnicowym jako przetwornikiem liniowego przesunięcia pływaka. Konstrukcję i działanie tego przetwornika omówiono w literaturze ([1], rozdz. 10.1.6.B). Sygnał napięciowy SC z czujnika jest doprowadzony do wzmacniacza W i następnie jako sygnał prądowy I_y do elektronicznego regulatora analogowego RC .

Zespoły manipulacyjne i sygnalizacyjne układu regulacji są umieszczone w szafie sterowniczej. Elektryczny, analogowy sygnał poziomu wody w zbiorniku jest wskazywany przez miliamperomierz wielkości regulowanej I_y . Sygnał ten jest prądowym sygnałem standardowym $0 \dots 5$ mA. Zerowemu stanowi poziomu wody w zbiorniku ($h = 0$) odpowiada wartość prądu $I_y = 0$ mA; maksymalnemu mierzonemu stanowi poziomu wody ($h = 100\%$) odpowiada wartość prądu $I_y = 5$ mA.

Pod miernikiem sygnału I_y jest umieszczona lampka LD , sygnalizująca zadziałanie czujnika dwupołożeniowego CD przy napełnieniu zbiornika do ok. $h = 50\%$. Wzrost poziomu wody powyżej $h = 100\%$, powoduje zadziałanie czujnika alarmu i układu alarmu UA , odcinającego natychmiast dopływ wody do zbiornika i sygnalizującego optycznie (lampka LA) i akustycznie (buczek BA) stan przepełnienia zbiornika. Skasowanie sygnału akustycznego alarmu następuje po wciśnięciu przycisku KA .

Poniżej lampek LD i LA znajduje się wyłącznik sieciowy W_s oraz przełącznik rodzaju pracy układu: R – ręczna, D – automatyczna dwupołożeniowa, C – automatyczna analogowa.

W środkowej części szafy sterowniczej są umieszczone: elektroniczny regulator analogowy RC typu ARC-21, stacyjka operacyjna SO typu ADS-42 (obydwa urządzenia produkcji zakładów MERA-ELWRO) oraz rejestrator RS wielkości regulowanej (poziomu wody w zbiorniku). Rejestrator (typu KR-51 firmy Lumel) posiada umieszczony z lewej strony oddzielny wyłącznik sieciowy W_r . Prędkość przesuwu taśmy rejestratora nie jest typowa dla rejestratorów przemysłowych (2 cm/godz.) – została 10x zwiększona i wynosi 200 mm/godz.

Z prawej strony przedniej ściany szafy sterowniczej znajdują się dwa mierniki standardowych sygnałów wyjściowych u układu sterowania i regulacji: sygnału elektrycznego I_u (0...5 mA) oraz sygnału pneumatycznego P_u (20...100 kPa), wytwarzanego z sygnału elektrycznego przez międzysystemowy przetwornik elektropneumatyczny (PE na rys. 7.1).

Pod miernikami sygnałów u są umieszczone lampki sygnalizujące stan urządzenia wykonawczego – zaworu regulacyjnego (LZ – zamknięty, LO – otwarty, LP – położenia pośrednie).

Układ sterująco-regulacyjny może pracować w trzech wariantach:

- a) systemie ręcznego sterowania poziomem cieczy w zbiorniku,
- b) systemie automatycznej regulacji dwupołożeniowej,
- c) systemie automatycznej regulacji ciągłej.

W systemie **sterowania ręcznego** (R), sygnał wyjściowy układu jest nastawiany ręcznie przez obsługującego, za pośrednictwem stacyjki operacyjnej przełączonej na sterowanie ręczne. Ciągły, elektryczny sygnał wyjściowy stacyjki I_u jest przetwarzany w międzysystemowym przetworniku elektropneumatycznym PE na sygnał pneumatyczny P_u , który z kolei steruje ustawnikiem pozycyjnym sprzęgniętym z siłownikiem pneumatycznym i zaworem regulacyjnym. Wartość wielkości sterowanej (poziomu wody w zbiorniku) może być odczytywana z poziomowskazu, ze wskaźnika I_y (najdokładniej) lub ze wskaźnika rejestratora.

W systemie **automatycznej regulacji dwupołożeniowej** (D) jest wykorzystywany dwupołożeniowy czujnik poziomu wody CD , dostarczający sygnału dyskretnego do regulatora dwupołożeniowego RD . Elektryczny sygnał wyjściowy regulatora, o charakterze nieciągłym (dwustanowym): 0 mA lub 5 mA, jest przetwarzany w przetworniku międzysystemowym PE na również dwustanowy sygnał pneumatyczny (100 kPa lub 20 kPa), sterujący siłownikiem pneumatycznym i zaworem regulacyjnym. Siłownik może więc ustawiać zawór tylko w krańcowych

położeniach: zamkniętym lub otwartym. Zbyt niski poziom wody w zbiorniku powoduje całkowite otwarcie zaworu ($P_u = 100$ kPa), natomiast po przekroczeniu poziomu zadanego ($h \approx 50\%$), zawór zamyka się całkowicie ($P_u = 0$ kPa).

W systemie **automatycznej regulacji ciągłej (C)**, jest wykorzystywany analogowy czujnik poziomu wody CC , dostarczający ciągłego sygnału elektrycznego $I_y = f(h)$ do regulatora analogowego RC . Regulator porównuje sygnał wielkości regulowanej I_y z sygnałem wielkości zadanej i odpowiednio kształtuje wyjściowy sygnał wielkości regulującej I_u , zgodnie z zaprogramowaną charakterystyką PID. Sygnał I_u jest następnie przetwarzany w przetworniku międzysystemowym na sygnał pneumatyczny P_u , sterujący ustawnikiem pozycyjnym, sprzęgniętym z siłownikiem pneumatycznym i zaworem regulacyjnym. Wzrost poziomu wody w zbiorniku wywołuje zwiększenie prądu I_y . Regulator odpowiednio kształtuje wyjściowy sygnał wielkości regulującej, zmniejszając wartość prądu I_u i przymykając zawór regulacyjny na dopływie wody do zbiornika. W ten sposób zostaje zamknięta pętla ujemnego sprzężenia zwrotnego w układzie stałowartościowej, analogowej regulacji poziomu wody w zbiorniku.

Schematy układów sterowania i regulacji oraz statyczne i dynamiczne właściwości regulatorów opisano w literaturze ([1], rozdz. 17.1.1 i 18.2.4 oraz dodatkowe instrukcje teoretyczne do laboratorium nr 2 i 4).

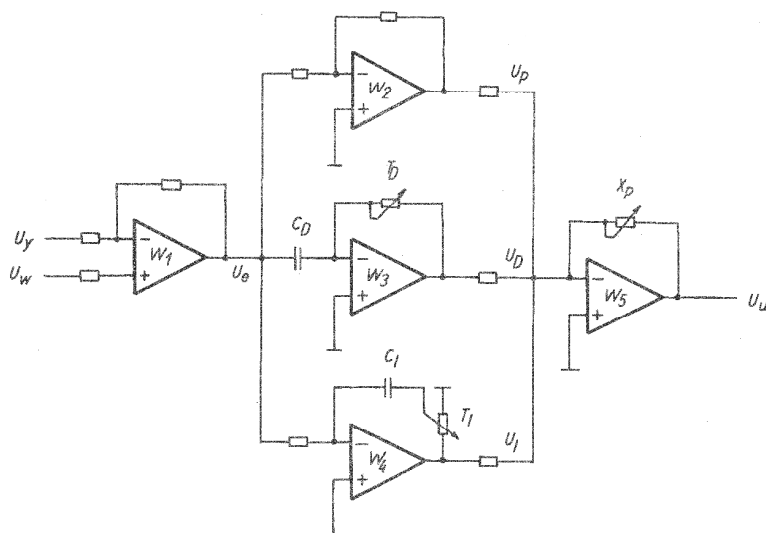
6.2. BUDOWA I DZIAŁANIE ELEKTRONICZNEGO REGULATORA PID

Uproszczony schemat blokowy elektronicznego, analogowego regulatora PID przedstawia rysunek 6.2. Podstawowym elementem składowym układu regulatora jest scalony, półprzewodnikowy wzmacniacz operacyjny W , posiadający dwa wejścia: odwracające kierunek (fazę) napięcia wejściowego ($-$) i nie odwracające kierunku (fazy) napięcia wejściowego ($+$). Przez łączenie wyjścia wzmacniacza z jednym z jego wejść można zamykać pętlę sprzężenia zwrotnego ujemnego lub dodatniego. Sprzężenie to może być proporcjonalne (rezystor w pętli sprzężenia) lub inercyjne, o charakterystyce różniczkującej czy całkującej (odpowiednio włączony w pętlę sprzężenia człon RC). Ujemne sprzężenie proporcjonalne pozwala na zmianę statycznego wzmocnienia wzmacniacza, natomiast sprzężenie różniczkujące (D) lub całkujące (I) kształtuje jego właściwości dynamiczne.

Wzmacniacz W_1 jest członem sumującym regulatora, dokonującym operacji porównania dwóch sygnałów napięciowych $U_w - U_y = U_e$. Wzmacniacz W_2 jest członem proporcjonalnym o stałym wzmocnieniu. Wzmacniacz W_3 jest członem różniczkującym, z nastawianym czasem wyprzedzenia T_D natomiast wzmacniacz W_4 stanowi człon całkujący z nastawianym czasem

zdwojenia T_I . Trzy sygnały: U_P , U_D i U_I są następnie doprowadzone do wzmacniacza W_5 , umożliwiającego płynną zmianę wzmocnienia ich sumy i tym samym nastawianie zakresu proporcjonalności regulatora X_p .

Omówiony układ wzmacniaczy operacyjnych realizuje klasyczny algorytm analogowego regulatora PID.



Rys. 0.2. Schemat blokowy elektronicznego regulatora PID

6.3. WŁAŚCIWOŚCI STATYCZNE UKŁADU

6.3.1. CHARAKTERYSTYKA STEROWANIA ZAWOREM REGULACYJNYM

Sprawdzić czy jest uruchomiona sprężarka stacji zasilania powietrzem (ewent. spytać laboranta) i czy ciśnienie powietrza w stacji (na korytarzu, prawy manometr) osiągnęło wartość przynajmniej 300 kPa (300 bar). Sprężarka jest sterowana automatycznie i wyłącza się po osiągnięciu zadanego ciśnienia (ok. 400 kPa). Otworzyć **całkowicie** umieszczony w pobliżu reduktora ciśnienia *RD* zawór odcinający *ZZ*. Manometr reduktora ciśnienia powinien wskazywać wartość ok. 250 kPa.

Wyłączyć zasilanie rejestratora wyłącznikiem W_r . Włączyć zasilanie szafy sterowniczej czerwonym przyciskiem W_s . Nastawić ręczny rodzaj pracy układu sterująco-regulacyjnego przez wciśnięcie przycisku R . Regulator ciągły przełączyć na ręczną pracę układu – **wcisnąć** przycisk A/R w stacyjce operacyjnej (przycisk S w dowolnym położeniu). Zawór napływowy ZN wody do zbiornika (z prawej strony przy ścianie) powinien być zamknięty, zawór odpływowy ZO (z przodu zbiornika) całkowicie otwarty (100% wypływu). W tych warunkach, mimo otwierania zaworu regulacyjnego, zbiornik nie będzie napełniał się wodą.

Używając na przemian przycisków „+” i „-” w stacyjce operacyjnej, można dowolnie otwierać i zamykać zawór regulacyjny. Naciśnięcie i przytrzymanie odpowiedniego przycisku powoduje otwieranie lub zamykanie zaworu ze stałą prędkością (typowy człon całkujący!). W momencie puszczenia przycisku, układ zapamiętuje położenie zaworu i utrzymuje je bardzo długo. Nawet kilkunastominutowy zanik napięcia zasilającego nie spowoduje skasowania analogowej pamięci układu.

Stopień otwarcia zaworu można odczytywać z prawego wskaźnika stacyjki (sygnał wyjściowy u w procentach otwarcia zaworu), z miliamperomierza sygnału I_u (w mA) lub z ciśnieniomierza sygnału P_u (w kPa). Położenie zaworu jest również sygnalizowane lampkami LZ , LP i LO .

Wypróbować działanie przycisków ręcznego sterowania zaworem. Zwrócić uwagę na możliwość impulsowego operowania przyciskami, dzięki całkującej charakterystyce układu zapamiętywania położenia zaworu. Sprawdzić wpływ zaniku napięcia zasilającego na stan pamięci: po nastawieniu dowolnego położenia zaworu, wyłączyć zasilanie układu przyciskiem W_s nawet na kilka minut. Po ponownym włączeniu zasilania, zawór powinien ustawić się w położeniu takim samym, jak nastawione poprzednio.

Charakterystyka sterowania zaworem jest to zależność stopnia otwarcia zaworu S_z od wartości sterującego zaworem sygnału pneumatycznego P_u i elektrycznego sygnału wyjściowego stacyjki operacyjnej I_u . Operując przyciskami ręcznego sterowania zaworem, nastawiać kolejne wartości prądu I_u od 0 mA do 5 mA co 0,5 mA, notując w tabelce odpowiadające im wartości ciśnienia P_u oraz stopnia otwarcia zaworu S_z .

6.3.2. CHARAKTERYSTYKA DWUPOŁOŻENIOWEGO CZUJNIKA POZIOMU WODY

Przyciskiem sterowania ręcznego „-” zamknąć całkowicie zawór regulacyjny ($u = 0\%$). Otworzyć **całkowicie** zawór napływowy ZN wody do zbiornika (z prawej strony przy ścianie). Zamknąć zawór odpływowy ZO .

Operując przyciskami „+” i „-” doprowadzić zawór regulacyjny do otwarcia w ok. 50% ($u = 50\%$). Obserwować poziomowskaz przy zbiorniku i podnoszący się powoli poziom wody h . Zwrócić uwagę na zadziałanie czujnika dwupołożeniowego w momencie osiągnięcia poziomu wody $h \approx 50\%$ (zaświeci się lampka LD).

Nie zamykając zaworu regulacyjnego poczekać, aż poziom wody przekroczy 100% i osiągnie stan alarmowy. Po włączeniu się alarmu skasować sygnał akustyczny przyciskiem KA .

Zwrócić uwagę na niemożność skasowania optycznego sygnału alarmowego (lampka *LA*) oraz automatyczne zamknięcie się zaworu regulacyjnego, niezależne od operowania przyciskami sterowania ręcznego. Lampka alarmu zgaśnie dopiero po obniżeniu się poziomu wody w zbiorniku poniżej stanu alarmowego (w **następnym punkcie zadania**), wtedy również zostanie przywrócona możliwość sterowania zaworem regulacyjnym.

6.3.3. CHARAKTERYSTYKA CIĄGŁEGO CZUJNIKA POZIOMU WODY

Przyciskiem sterowania ręcznego „-” stacyjki doprowadzić sygnał u do wartości zerowej (zawór regulacyjny zamknięty). Otwierając minimalnie zawór odpływowy *ZO*, doprowadzić wskazania poziomomierza przy zbiorniku do 100% (dolny menisk!). Zwrócić uwagę na zgaśnięcie lampki alarmu. Odczytać z miliamperomierza i zanotować w tabelce wartość sygnału wielkości regulowanej I_y .

Poziom wody w zbiorniku obniżyć powoli do 90%. Ponownie odczytać wartość prądu I_y (w przypadku zbyt niskiego obniżenia poziomu wody należy go podnieść korzystając z przycisku „+”). Pomiary kontynuować, obniżając poziom wody w zbiorniku co 10% aż do 0%. Zbadaliśmy zależność wskazań miernika I_y od poziomu wody w zbiorniku h – charakterystykę statyczną ciągłego (analogowego) pomiaru poziomu wody.

6.4. RĘCZNE STEROWANIE POZIOMEM WODY W ZBIORNIKU

Czynność ta będzie polegała na takim operowaniu przyciskami ręcznego sterowania zaworem, żeby przy uruchomionym dopływie i odpływie wody, utrzymać w zbiorniku jej zadany poziom (sterowanie ręczne w układzie zamkniętym – ze sprzężeniem zwrotnym).

Stan napełnienia zbiornika można odczytywać z miernika I_y lub z rejestratora. Najlepiej jednak wykorzystać w tym celu stacyjkę operacyjną. Po nastawieniu w stacyjce zadanej wartości poziomu wody w , miernik odchylenia regulacji $-e$ (lewy) wskazuje (w procentach) odchylenie poziomu wody w zbiorniku od wartości zadanej. Funkcję tę spełnia stacyjka niezależnie od rodzaju pracy układu (sterowania ręcznego, czy regulacji automatycznej). Właściwemu (zadanemu) poziomowi wody odpowiada oczywiście wartość $e = 0$ ($y = w$). Położenie zaworu regulacyjnego można oceniać na podstawie wychyleń drugiego (prawego) wskaźnika stacyjki (u), wykalibrowanego w procentach otwarcia zaworu.

Oba wskaźniki wykorzystują doskonale efekt analogowy – na lewym wskaźniku wzrost poziomu wody powoduje podnoszenie się wskazówki; na prawym wskazówka podnosi się przy otwieraniu zaworu (zwiększaniu dopływu wody do zbiornika).

Nastawić **lewym** pokrętle stacyjki zadany poziom wody $w = 50\%$. Pokrętko jest wieloobrotowe, uwaga na cyfrowy odczyt jednostek w okienku i analogowy odczyt części dziesiątych na podziałce pokrętki (wartość 50% , to cyfra 5 w okienku i 0 na skali pokrętki!). **Włączyć** rejestrator wyłącznikiem W_r . Otworzyć całkowicie zawór odpływowy ZO . Obserwując wskaźniki $-e$ oraz u stacyjki i operując przyciskami ręcznego sterowania zaworem („+” i „-”), starać się utrzymać zadaną wartość poziomu wody w zbiorniku (ok. 50%). Na zwiększanie się poziomu wody (wzrost wartości $-e$), kiedy wskazówka $-e$ podnosi się, należy reagować przemykaniem zaworu (zmniejszaniem wartości u) przyciskiem „-” i odwrotnie. Starać się uzyskiwać **najbliższe zeru wskazania miernika $-e$ stacyjki**. Ze względu na całkująco-inercyjną charakterystykę dynamiczną obiektu regulacji (zbiornik z wymuszonym dopływem i swobodnym odpływem cieczy), czynność ta wymaga dużego skupienia.

Każda z osób wykonujących zadanie powinna przeprowadzić próbę ręcznego utrzymywania poziomu wody w zbiorniku przez co najmniej 5 minut. Wyniki ręcznego utrzymywania zadanego poziomu wody w zbiorniku są rejestrowane na taśmie rejestratora. Na tę taśmę należy w odpowiednich miejscach nanieść (po otwarciu drzwiczek rejestratora) inicjały autorów sterowania.

6.5. DWUPOŁOŻENIOWA REGULACJA POZIOMU WODY

Otworzyć całkowicie zawór regulacyjny ($u = 100\%$) i wcisnąć przycisk D włączający dyskretny regulator dwupołożeniowy. Stacyjka nadal nastawiona na pracę ręczną, zawór odpływowy ZO całkowicie otwarty, rejestrator nadal **włączony**.

Obserwować pracę układu regulacji przez 5 minut. Zwrócić uwagę na zależność stanu zaworu regulacyjnego od działania dwupołożeniowego czujnika poziomu wody w zbiorniku oraz na pewne spowolnienie funkcjonowania zaworu, wynikające z niezbyt szybkiego działania siłownika.

Po upływie 5 minut zmniejszyć wypływ wody ze zbiornika, przemykając zawór ZO do 50% wypływu. Obserwować działanie regulatora przez następne 5 minut i zaznaczyć na taśmie rejestratora (po otwarciu drzwiczek) oba warianty regulacji. Zwrócić uwagę na zależność częstotliwości działania regulatora (zaworu z siłownikiem) od nastawionej wielkości wypływu wody ze zbiornika!

6.6. CIĄGŁA REGULACJA POZIOMU WODY

6.6.1. OKREŚLENIE KRYTYCZNEGO WZMOCNIENIA REGULATORA

Właściwe wykorzystanie ciągłej, analogowej regulacji PID wymaga zoptymalizowania współczynników algorytmu regulatora ([1], rozdz. 23.2.2 i dodatkowa instrukcja teoretyczna do laboratorium nr 4). W badanym układzie regulacji zastosujemy doświadczalną metodę Zieglera i Nicholasa ([1], rozdz. 23.2.2.B), która polega na określeniu krytycznego wzmocnienia regulatora i obliczeniu optymalnych wartości współczynników algorytmu z odpowiednich wzorów. Wzmocnienie krytyczne określa się, doprowadzając funkcjonujący układ regulacji do wzbudzenia (oscylacji), w wyniku stopniowego zwiększania wzmocnienia (zmniejszania zakresu proporcjonalności) regulatora PID w konfiguracji P (z wyłączonymi funkcjami całkowania i różniczkowania).

Stacyjkę operacyjną i regulator przełączyć na automatyczny rodzaj pracy (**wyciśnięte** przyciski *S* i *A/R*), rejestrator **włączony**. Wciskając przycisk *C* włączyć ciągłą regulację poziomu wody. Otworzyć całkowicie zawór odpływowy *ZO*. Sprawdzić nastawienie **lewym** pokrętkiem stacyjki zadanego poziomu wody $w = 50\%$.

Wysunąć z szafy sterowniczej panel regulatora RC (do pierwszego oporu!). Na prawej bocznej ścianie panelu są umieszczone elementy manipulacyjne regulatora PID. Można nimi nastawiać (w procentach) zakres proporcjonalności X_p , czas zdwojenia T_I oraz czas wyprzedzenia T_D . Nastawy regulatora wprowadza się **zgrubnie** zwieraczami ($\times 0,1$, $\times 1$, $\times 10$) wyciągając je z gniazdek (**nie próbując obracać!**) i umieszczając ponownie w odpowiedniej pozycji oraz **dokładnie**, odpowiednimi pokrętkami.

Zminimalizować całkujące działanie regulatora przez ustawienie maksymalnego czasu zdwojenia ($T_I = 30$ min) oraz wyłączyć jego działanie różniczkujące przez ustawienie zerowego czasu wyprzedzenia ($T_D = 0$ min). Nastawić początkowe, niewielkie wzmocnienie regulatora $X_p = 100\%$ ($K_p = 1$) i przez 5 minut obserwować działanie układu regulacji.

Zwrócić uwagę na proporcjonalne do odchylenia regulacji e wychylenia wskaźnika u stacyjki. Spadek poziomu wody w zbiorniku powoduje proporcjonalne otwieranie zaworu regulacyjnego. Mimo włączenia układu ciągłej regulacji proporcjonalnej, wielkość regulowana może mieć jednak wartość różną od zadanej, ponieważ przy małym wzmocnieniu regulatora występuje znaczny statyczny błąd regulacji ([1], rys. 18.9).

Kontynuować pomiary, zmniejszając stopniowo zakres proporcjonalności regulatora od 100 do 50, 20, 15, 10 i 5% i rejestrując przy każdym nastawionym wzmocnieniu przebieg regulacji przez 5 minut. Zaobserwować, przy którym zakresie proporcjonalności pojawią się na

wykresie rejestratora **regularne oscylacje** poziomu wody w zbiorniku, podobne do przebiegu obserwowanego przy regulacji dwupołożeniowej (w razie wątpliwości poprosić o pomoc prowadzącego zajęcia nauczyciela). Właśnie przy tym X_p osiągnęliśmy krytyczny zakres proporcjonalności – wzmocnienie układu regulacji jest „wzmocnieniem krytycznym” X_{pkr} . Dalej **nie potrzeba już zmniejszać** zakresu proporcjonalności regulatora, tylko zanotować osiągniętą wartość X_{pkr} (w procentach).

Pozostawiając nastawioną krytyczną wartość X_{pkr} regulatora, zmierzyc (używając sekundomierza) i zanotować (w sekundach) okres oscylacji (T_{osc}) wielkości regulowanej (poziomu cieczy h) przy krytycznym zakresie proporcjonalności X_{pkr} . Korzystać ze wskaźnika rejestratora, obliczyć średnią z trzech pomiarów. Okres oscylacji jest odcinkiem czasu pomiędzy dwoma sąsiednimi maksimami lub minimami rejestrowanego przebiegu zmian wielkości regulowanej!

Zwrócić uwagę na fakt, że po osiągnięciu krytycznego wzmocnienia regulatora, układ regulacji ciągłej ma charakterystykę dynamiczną regulatora dwupołożeniowego. Sygnał I_u osiąga tylko dwie krańcowe wartości, zawór regulacyjny jest otwarty lub zamknięty, a poziom wody w zbiorniku oscyluje wokół wartości zadanej.

6.6.2. OBLICZENIE OPTYMALNYCH NASTAW REGULATORA PID

Znajomość krytycznego wzmocnienia lub krytycznego zakresu proporcjonalności regulatora w badanym układzie regulacji oraz okresu oscylacji występujących w układzie przy tym wzmocnieniu, pozwala na obliczenie optymalnych współczynników algorytmu analogowego regulatora PID (tzw. nastaw regulatora PID) ze wzorów Zieglera i Nicholasa ([1], rozdz. 23.2.2.B). Obliczyć optymalne wartości nastaw regulatora według tabeli 7.1 (**okres oscylacji przeliczyć na minuty!**).

Tabela 6.1. Optymalne nastawy regulatora PID wg Zieglera i Nicholasa [3]

Rodzaj regulatora	Nastawy		
	X_p [%]	T_I [min]	T_D [min]
PID	$1,7 X_{pkr}$	$0,5 T_{osc}$	$0,12 T_{osc}$

Obliczone optymalne wartości nastawić odpowiednimi przełącznikami i pokrętłami regulatora. W przypadku wątpliwości poprosić o pomoc prowadzącego zajęcia nauczyciela!

Obserwować pracę układu ciągłej regulacji poziomu wody w zbiorniku z optymalnymi nastawami regulatora PID i przy $w = 50\%$ przez 5 minut. Po tym czasie zmniejszyć zadaną wartość poziomu wody w z 50% do 25% (uwaga na cyfrowy odczyt jednostek w okienku i analogowy odczyt części dziesiątych na skali pokrętkła – wartość 25%, to cyfra 2 w okienku i 50 na skali pokrętkła!).

Po następnych 5 minutach nastawić $w = 75\%$ (7 i 50 na skali pokrętkła) i rejestrować przebieg regulacji jeszcze przez 5 minut. Po tym czasie wyłączyć rejestrator wyłącznikiem W_r i cały układ regulacji wyłącznikiem W_s .

6.7. ZAKOŃCZENIE ZADANIA

Zamknąć całkowicie zawór napływowy ZN wody do zbiornika (z prawej strony przy ścianie). Zawór odpływowy ZO pozostawić całkowicie otwarty. Zamknąć zawór odcinający dopływ sprężonego powietrza ZZ . Poprosić laboranta o wyjęcie taśmy z zapisem rejestratora.

6.8. OPRACOWANIE WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

6.8.1. RĘCZNE STEROWANIE POZIOMEM WODY W ZBIORNIKU

Korzystając z wyników pomiarów z punktu 6.3.1, wykreślić charakterystykę statyczną sterowania zaworem z siłownikiem i ustawnikiem pozycyjnym – zależność stopnia otwarcia zaworu S_z od wielkości sygnału sterującego P_u . Na drugim wykresie przedstawić charakterystykę statyczną międzysystemowego przetwornika elektropneumatycznego czyli zależność wielkości sygnału pneumatycznego P_u od wielkości sygnału elektrycznego I_u . Na wykresie trzecim umieścić wypadkową charakterystykę ręcznego sterowania zaworem – zależność stopnia otwarcia zaworu S_z od wielkości sygnału elektrycznego I_u .

6.8.2. CHARAKTERYSTYKA DWUPOŁOŻENIOWEGO CZUJNIKA POZIOMU WODY

Korzystając z wyników pomiarów z punktu 6.3.3, wykreślić charakterystykę statyczną pływakowego, ciągłego czujnika poziomu wody w zbiorniku – zależność wielkości sygnału I_y od poziomu wody h . Ze względu na duży dla tego typu czujnika transformatorowego zakres przesunięcia pływaka, charakterystyka ta nie musi być idealnie liniowa.

6.8.3. RĘCZNE STEROWANIE POZIOMEM WODY W ZBIORNIKU

Korzystając z wykresu rejestratora z zapisanym przebiegiem ręcznego utrzymywania zadanego poziomu wody w zbiorniku, określić maksymalne odchylenia ($+e_{\max}$ i $-e_{\max}$) poziomu wody w zbiorniku od wartości zadanej ($h = 50\%$), w procentach całego zakresu regulacji (szerokości taśmy rejestratora wynoszącej 10 cm) przyjętego za 100% – patrz załącznik na końcu instrukcji. Przy analizie zapisu rejestratora nie brać pod uwagę odchylenia h w momentach rozpoczynania i kończenia czynności sterowania ręcznego.

Obliczyć maksymalny błąd względny ΔE_{\max} ręcznego sterowania poziomem wody w zbiorniku:

$$\Delta E_{\max} = +e_{\max} + |-e_{\max}| \quad [\%] \quad (6.1)$$

6.8.4. DWUPOŁOŻENIOWA REGULACJA POZIOMU WODY

Korzystając z zapisu rejestratora, określić maksymalne odchylenia ($+e_{\max}$ i $-e_{\max}$) poziomu wody w zbiorniku od wartości zadanej ($h = 50\%$), w procentach całego zakresu regulacji (szerokości taśmy rejestratora wynoszącej 10 cm) przyjętego za 100%, w czasie ustabilizowanej pracy regulatora (w kilka minut od uruchomienia pomiaru).

Obliczyć maksymalny błąd względny regulacji dwupołożeniowej z równania (6.1) dla obu badanych położenia zaworu odpływowego (100% i 50% wypływu).

6.8.5. CIĄGŁA REGULACJA POZIOMU WODY

Korzystając z taśmy z zapisem rejestratora, określić maksymalne odchylenia ($+e_{\max}$ i $-e_{\max}$) poziomu wody w zbiorniku od wartości zadanych $w = 25, 50$ i 75% , w procentach całego zakresu regulacji (szerokości taśmy rejestratora wynoszącej 10 cm) przyjętego za 100%, w czasie ustabilizowanej pracy regulatora PID z wcześniej dobranymi, optymalnymi nastawami. Obliczyć maksymalny błąd względny regulacji ciągłej z równania (6.1) dla wszystkich nastawianych wartości zadanego poziomu wody.

6.9. SPRAWOZDANIE

Sprawozdanie z wykonania zadania powinno zawierać:

- uproszczone (nie przerysowane z instrukcji) schematy blokowe układów sterowania ręcznego oraz dwupołożeniowej i ciągłej regulacji poziomu wody w zbiorniku (z krótkimi opisami),
- tabele z wynikami pomiarów, zapis rejestratora z zaznaczeniem na taśmie **wszystkich** wykonanych doświadczeń,
- wykresy charakterystyk statycznych układu sterowania zaworem (trzy) i ciągłego czujnika poziomu wody (jeden),
- obliczenia optymalnych nastaw regulatora PID,
- wartości błędów sterowania i regulacji $+e_{\max}$, $-e_{\max}$ i ΔE_{\max} dla sterowania ręcznego i badanych regulacji automatycznych (tabelka zbiorcza),
- wnioski dotyczące **wszystkich** wykonanych doświadczeń i wyników obliczeń.

6.10. LITERATURA

Podstawowymi źródłami umożliwiającymi poszerzenie materiału zawartego w instrukcji są notatki z wykładów „Pomiary i automatyka” na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności, dodatkowe cztery instrukcje teoretyczne do laboratorium oraz książki:

- [1] **Ludwicki M.: Sterowanie procesami w przemyśle spożywczym, PTTŻ, Łódź 2002.**
- [2] Romer E.: Miernictwo przemysłowe, PWN, W-wa 1978.
- [3] Żelazny M.: Podstawy automatyki, PWN, W-wa 1976.

Opracował: dr inż. Marek Ludwicki, Politechnika Łódzka, I-30

<http://snack.p.lodz.pl/ludwicki>
marek.ludwicki@p.lodz.pl

Wszelkie prawa zastrzeżone. Żadna część tej pracy nie może być powielana, czy rozpowszechniana w jakiegokolwiek formie w jakikolwiek sposób, bądź elektroniczny, bądź mechaniczny, włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych nośników informacji, bez zgody autora.

Copyright © 2014-11-04
 All rights reserved

Załącznik: skalowanie papieru z rejestratorów

