

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Układ regulacji z regulatorem dwustawnym

4.1.1. Materiał nauczania

Regulatory dwustawne – algorytm działania

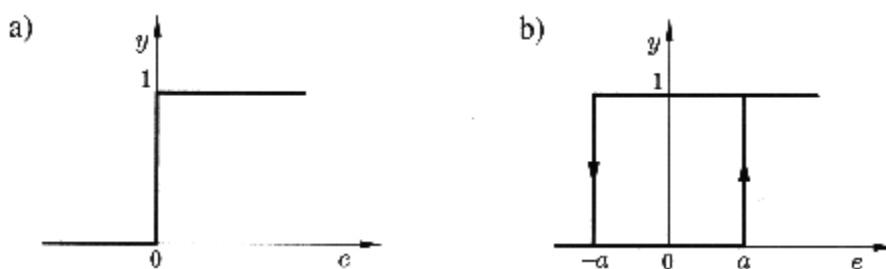
Regulacja dwustawna (dwupołożeniowa) jest najpopularniejszym sposobem regulacji, szczególnie w urządzeniach domowych, ale również w urządzeniach przemysłowych. Istotą tej regulacji jest, że na wyjściu regulatora otrzymujemy sygnał sterujący, który może przyjąć tylko dwa stany, umownie nazywane stanami 0 i 1. Stany te odpowiadają za załączenie lub wyłączenie dopływu energii (załączenie lub wyłączenie wyłącznika) lub materiału do obiektu (zamykanie lub otwieranie zaworu). Regulację dwustawną stosuje się do regulacji obiektów charakteryzujących się dużymi bezwładnościami. Do obiektów takich należą np.: obiekty cieplne (ogrzewane jak i chłodzone), zbiorniki, i in. Parametrami procesów utrzymywanych za pomocą regulacji dwustawnej to m.in.: temperatura, ciśnienie, poziom, napięcie elektryczne.

Najprostszym regulatorem dwustawnym jest element o charakterystyce przekaźnikowej (rys. 1), przełączany sygnałem uchybu (odchyłki regulacji) ε . Algorytm realizowany przez przekaźnik dwustawny uwzględnia tylko znak uchybu:

$$u = A \operatorname{sgn} \varepsilon,$$

gdzie funkcja signum (znak) jest określona wzorem:

$$\operatorname{sgn} \varepsilon = \begin{cases} +1 & \text{dla } \varepsilon > 0 \\ \text{nieokreślone} & \text{dla } \varepsilon = 0 \\ -1 & \text{dla } \varepsilon < 0. \end{cases}$$



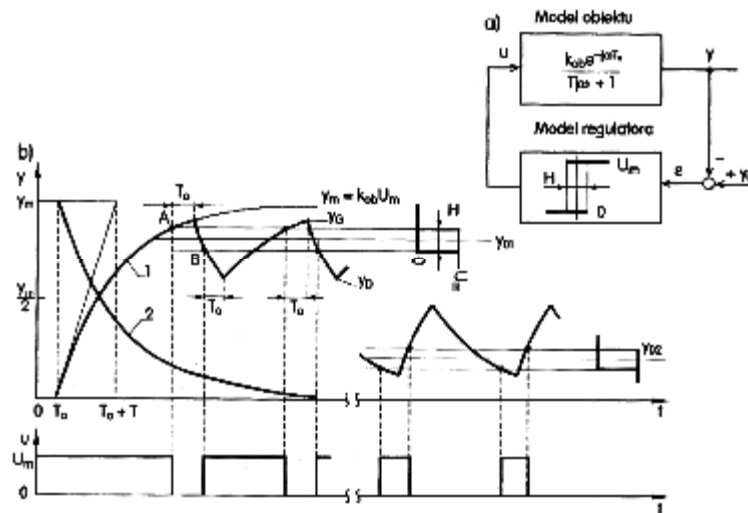
Rys. 1. Charakterystyki regulatorów dwustawnych: a) idealnego b) z histerezą [8, s. 65]

Na charakterystyce statycznej elementu przekaźnikowego – 0 oznacza stan wyłączenia, a 1 – stan załączenia.

Analiza układu regulacji dwustawnej z obiektem statycznym

Typowym przykładem regulacji dwustawnej jest proces zmiany temperatury obiektu cieplnego (rys. 2). Obiekt ten możemy opisać za pomocą prostego modelu liniowego, inercji pierwszego rzędu z opóźnieniem o parametrach:

- k_{ob} – wzmacnienie statyczne,
- T_o – czas opóźnienia,
- T – stała czasowa inercji (zastępcza).



Rys. 2. Układ regulacji dwustawnej temperatury: a) schemat, b) przebiegi sygnałów [7, s. 205]

Jeżeli w chwili $t = 0$ zostanie wprowadzona do układu regulacji wartość zadana y_{01} , to regulator załączy maksymalną moc grzania, ale układ nie osiągnie maksymalnej temperatury y_m , ponieważ w punkcie A nastąpi wyłączenie grzania. Przekroczenie wartości zadanej y_0 jest wynikiem histerezy regulatora punkcie A. Ta strefa niejednoznaczności zwana histerezą powoduje, że zmiana wartości sygnału sterującego występuje nie dla odchyłki regulacji $\epsilon = 0$, ale dla dwóch różnych wartości odchyłki: $\epsilon = H/2$ i $\epsilon = -H/2$ (zależnie od poprzednich wartości odchyłki). W punkcie A spełniony jest warunek wyłączenia: $\epsilon = y_0 - y = -H/2$. Temperatura jednak dalej rośnie – jest to wynikiem działania opóźnienia T_o , a następnie po tym czasie zaczyna opadać (krzywa 2). W punkcie B następuje załączenie grzania, ale temperatura dalej opada przez czas opóźnienia T_o , następnie zaczyna rosnąć itd.; cykl będzie się powtarzał. Temperatura w obiekcie oscyluje wokół wartości zadanej, a amplituda oscylacji zależy od szerokości pętli histerezy H oraz od stosunku opóźnienia T_o do stałej czasowej T obiektu. W zależności czy temperatura rośnie przez czas opóźnienia po wyłączeniu grzania czy maleje po załączeniu grzania, odbywa się to wzdłuż krzywych, których stromość zależy od stałej czasowej obiektu.

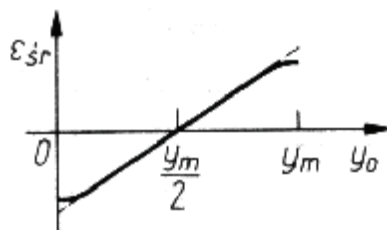
Układ regulacji dwustawnej charakteryzuje się także niedokładnym odtwarzaniem średniej wartości temperatury: $y_{sr} = (y_G + y_D) / 2$. Można to stwierdzić porównując przebiegi otrzymane dla wartości zadanej y_{01} i y_{02} . Dla dużej wartości $y_0 = y_{01}$ wartość średnia temperatury y_{sr1} jest mniejsza niż y_{01} . Natomiast dla małej wartości zadanej $y_0 = y_{02}$ wartość średnia temperatury y_{sr2} jest większa niż y_{02} . Jedyne w środku zakresu, dla wartości zadanej $y_0 = y_m/2$, wartość średnia temperatury będzie pokrywała się z wartością zadaną. Średnia odchyłka regulacji

$$\epsilon_{sr} = y_0 - y_r$$

zależy od wartości zadanej y_0 (rys.3). Zależność ta jest w przybliżeniu liniowa. Gdy przyjmiemy, że wielkością regulowaną jest temperatura średnia w obiekcie, to układ regulacji dwustawnej wykazuje cechy układu liniowego z regulatorem proporcjonalnym (liniowa zależność odchyłki statycznej od wartości zadanej).

Istotą regulacji dwustawnej jest to, że wielkość regulowana nie osiąga stanu ustalonego, ale oscyluje ze stałą amplitudą w otoczeniu wartości zadanej oraz przebieg jej zmian w zadanym zakresie jest identyczny z przebiegiem charakterystyki czasowej obiektu i realizowany jest przez

włączanie i wyłączanie dopływu energii do obiektu. Na własności układu regulacji mają wpływ parametry obiektu ($k_{ob.}$, T_o , T) i regulatora (strefa niejednoznaczności H) oraz wartość zadana.

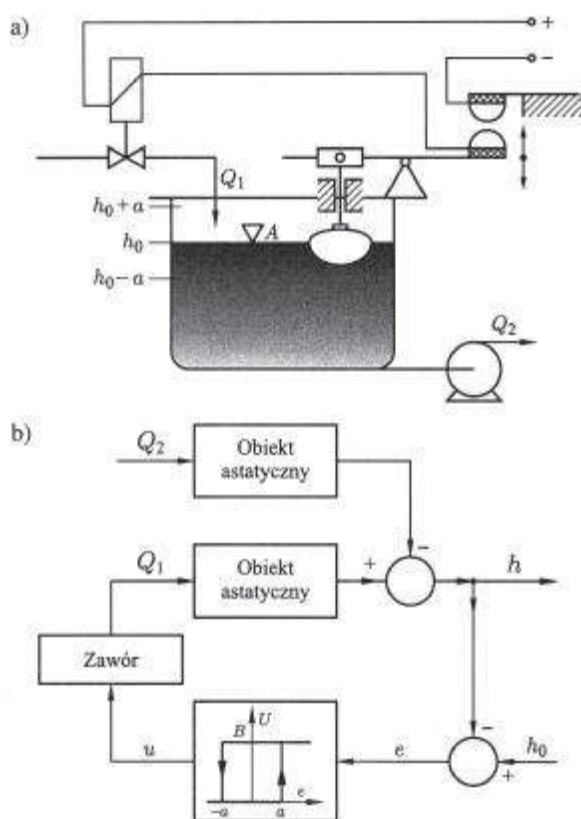


Rys. 3. Zależność średniej odchyłki regulacji dwustawowej ε_{sr} od temperatury zadanej y_0 [11, s. 93]

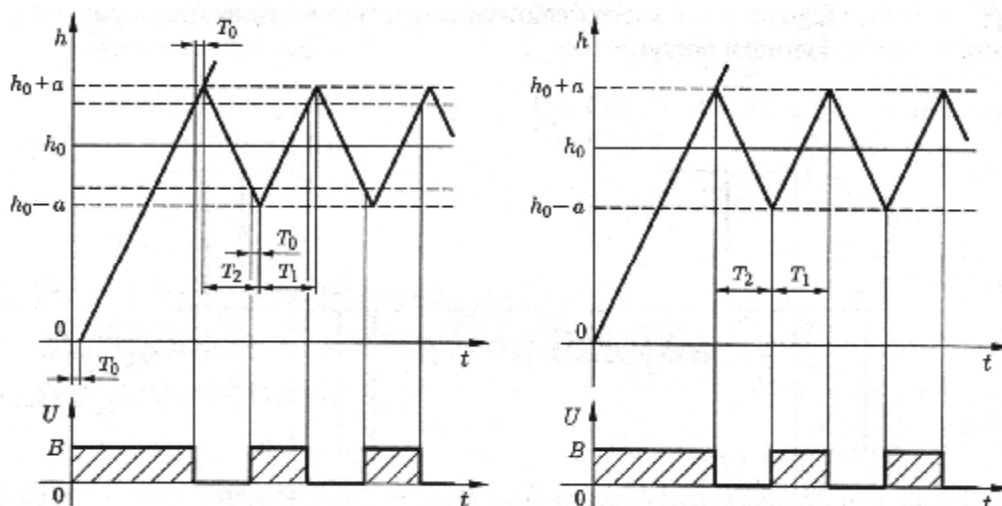
Analiza układu regulacji dwustawnej z obiektem astatycznym

Przykładem takiego układu regulacji jest regulacja poziomu cieczy w zbiorniku z wymuszonym wypływem (rys. 4). Natężenie strumienia cieczy Q_2 wypływającej przez pompę stanowi wielkość wymuszającą w układzie. Gdy poziom wody obniży się poniżej wartości $h_0 - a$, to regulator otworzy zawór na dopływie. Zawór ten zostanie zamknięty dopiero po przekroczeniu wartości poziomu $h_0 + a$. Zmiany objętości cieczy w zbiorniku są wynikiem wahań różnicy objętości na dopływie Q_1 i na wypływie ze zbiornika Q_2 . Wielkość regulowana waha się ze stałą amplitudą. Aby wystąpiły wahania wielkości regulowanej o stałym okresie pompa w układzie musi pracować w sposób ciągły ze stałą wydajnością ($Q_2 = \text{const}$), a ponadto wydajność pompy Q_2 jest mniejsza od natężenia strumienia cieczy Q_1 na dopływie.

W przypadku obiektu astatycznego z opóźnieniem, amplituda wahań poziomu zwiększa się o czas opóźnienia T_o (rys. 5).



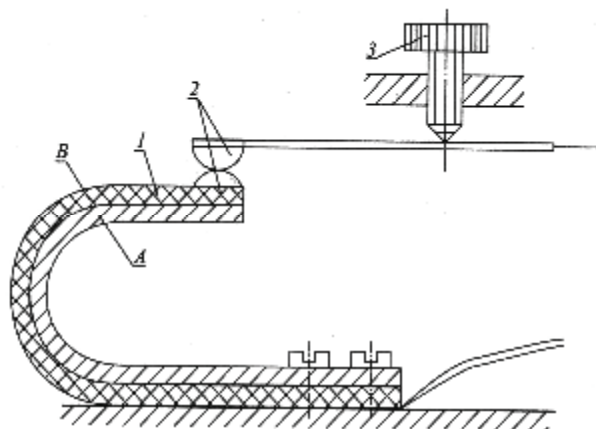
Rys. 4. Układ regulacji dwustawnej poziomu cieczy: a) schemat układu, b) schemat blokowy [8, s. 67]



Rys. 5. Przebieg poziomu cieczy w układzie regulacji dwustanowej: a) obiekt astatyczny z opóźnieniem, b) obiekt astatyczny bez opóźnienia [8, s. 67]

Przykłady zastosowań regulatorów dwustawnych

Regulację dwustanową stosuje się w urządzeniach, w których wymagana dokładność stabilizacji temperatury jest niewielka (np. w żelazku, lodówce, piekarniku, itp.), natomiast długi okres jej oscylacji uważany jest za zaletę ze względu na zmniejszenie zużycia się elementów przełączających.

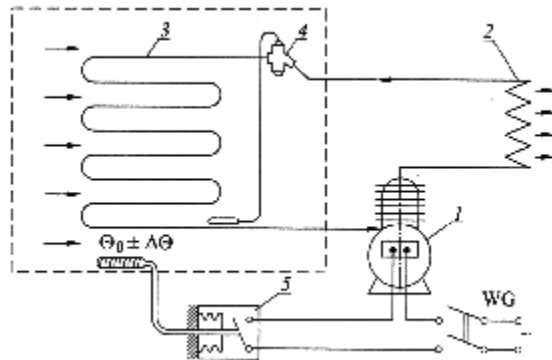


Rys. 6. Termoregulator bimetalowy żelazka z bezpośrednim załączaniem obwodu: 1 –taśma bimetalowa, 2 –zestyk, 3 – śruba regulacyjna, A – materiał o małym współczynniku rozszerzalności cieplnej, B – materiał o dużym współczynniku rozszerzalności cieplnej [9, s. 235]

W żelazku (rys.6), układ regulacji dwustawnej stanowi bimetal w postaci taśmy, która pod wpływem temperatury odkształca się w kierunku warstwy o mniejszym współczynniku rozszerzalności cieplnej. Po osiągnięciu odpowiedniej temperatury, taśma bimetalowa powoduje rozwarście zestyków i rozłączenie obwodu zasilającego grzałkę.

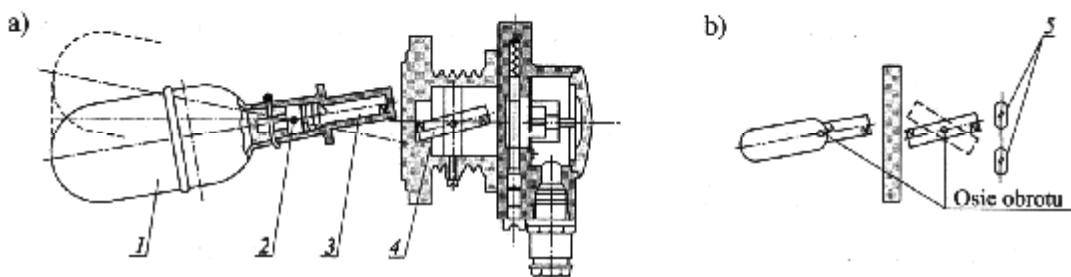
W chłodziarkach stosuje się obiegi sprężarkowe par czynnika chłodzącego (amoniaku, dwutlenku węgla, chlorku metylu, węglowodorów fluorowanych). Sprężanie par może odbywać się jedno- lub wielostopniowo, w zależności od żądanej temperatury parowania. W układzie jednostopniowym (rys.7), pary czynnika chłodzącego są w sprężarce -1, sprężane do odpowiedniego ciśnienia i temperatury nasycenia. W skraplaczu - 2, chłodzonym powietrzem (lub wodą) następuje skroplenie par. Ciekły czynnik chłodzący przepływa przez zawór

rozprężny – 4, w którym niewielka ilość czynnika odparowuje. W wyniku czego, ulega obniżeniu ciśnienie i temperatura pozostałej cieczy do poziomu ciśnienia i temperatury istniejącej w parowniku. W parowniku, pozostała część ciekłego czynnika chłodniczego odparowuje, dzięki pobieraniu ciepła z otoczenia komory chłodniczej. Żądana temperatura w komorze chłodniczej jest utrzymywana dzięki zastosowaniu termostatu – 5 z czujnikiem manometrycznym temperatury – 6. Jeżeli temperatura wzrośnie powyżej żądanej, to czujnik manometryczny, przełączając zestyk termostatu, spowoduje włączenie sprężarki, a gdy temperatura spadnie poniżej żądanej – nastąpi wyłączenie sprężarki. Dokładność załączania i wyłączania sprężarki zależy od szerokości histerezy termostatu.



Rys. 7. Schemat układu chłodniczego jednostopniowego: 1 – sprężarka, 2 – skraplacz, 3 – parownik, 4 – zawór rozprężny, 5 – termostat, 6 – czujnik manometryczny temperatury [15, s. 129]

Popularnymi regulatorami dwustawnymi są pompy z zamocowanym obrotowo pływakiem (rys. 8). W pływaku - 1, który pełni rolę czujnika umieszczony jest magnes – 3. Magnes ten, poprzez magnes pośredniczący – 4, oddziałuje na przekaźniki kontaktronowe – 5 pompy. Oba magnesy są skierowane do siebie biegunami jednoimiennymi, dzięki czemu magnes pośredniczący może zajmować, w zależności od położenia magnesu pływaka, tylko skrajne położenia. W położeniach tych następuje załączenie lub wyłączenie pompy.



Rys. 8. Pływakowy dwustawny regulator poziomy: a) budowa, b) schemat działania, 1 – pływak, 2 – oś obrotu, 3 – magnes pływaka, 4 – magnes pośredniczący, 5 – przekaźnik kontaktronowy [8, s. 71]

4.1.2. Pytania sprawdzające

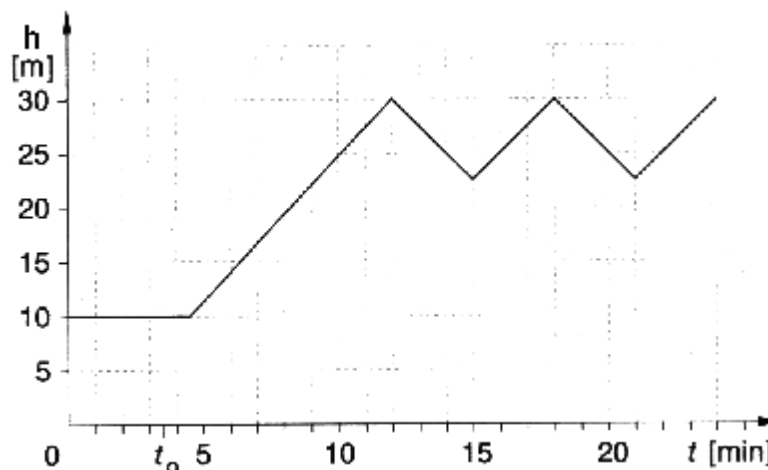
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jak wygląda charakterystyka statyczna regulatora dwustanowego?
2. Jaki algorytm realizuje przekaźnik dwustawny?
3. Jak wyglądają przebiegi sygnałów w układzie regulacji dwustawnej z obiektem statycznym z opóźnieniem i bez opóźnienia?
4. Jak wyglądają przebiegi sygnałów w układzie regulacji dwustawnej z obiektem astatycznym z opóźnieniem i bez opóźnienia?
5. Jaki wpływ na przebiegi regulacji dwustawnej ma czas opóźnienia obiektu regulowanego i histereza regulatora?
6. Od czego zależy amplituda oscylacji wielkości regulowanej w układach regulacji dwustawnej?
7. Od czego zależy średnia odchyłka regulacji w układach regulacji dwustawnej temperatury?
8. Jak zmienia się wartość temperatury dla małej wartości zadanej a jak dla dużej?
9. Kiedy w układach regulacji dwustawnej z obiektem jednoinercyjnym wartość średnia sygnału regulowanego pokrywa się z wartością zadaną?
10. Jak działa termoregulator bimetalowy w żelazku?
11. Jaka jest zasada działania układu chłodniczego?
12. Jaka jest zasada działania pływakowego dwustanowego regulatora poziomu?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Rysunek przedstawia przebieg czasowy poziomu cieczy w zbiorniku w układzie regulacji z regulatorem dwustawnym. Wiedząc, że proces regulacji rozpoczął się w chwili t_0 , oblicz częstotliwość przełączania regulatora.



Rysunek do ćwiczenia 1. [5, s.246]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się materiałem teoretycznym o regulacji dwustawnej,
- 2) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 3) przerysować podany rysunek na kartkę papieru milimetrowego,

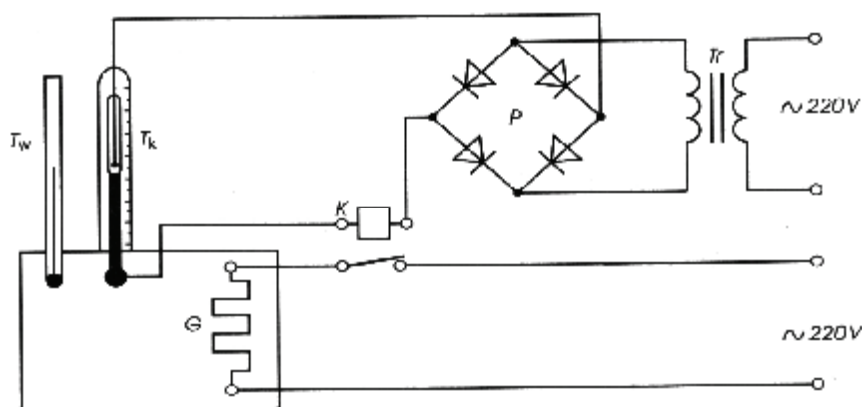
- 4) odczytać z rysunku czas opóźnienia obiektu regulacji,
- 5) określić górną i dolną wartość przełączania regulatora,
- 6) obliczyć szerokość pętli histerezy,
- 7) określić czas włączenia i wyłączenia regulatora,
- 8) obliczyć częstotliwość przełączania regulatora,
- 9) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 10) dokonać oceny poprawności wykonania ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- kartki papieru milimetrowego,
- przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6 wskazana przez nauczyciela.

Ćwiczenie 2

Badanie układu regulacji dwupołożeniowej temperatury.[2, s. 220]



Rysunek do ćwiczenia 2. Schemat układu regulacji temperatury [6, s. 92]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z materiałem teoretycznym o regulacji dwustawnej,
- 2) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 3) zapoznać się z charakterystyką i budową przekaźnika,
- 4) zapoznać się z badanym układem (sposób ustawienia wartości zadanej, budowa i sposób podłączenia czujnika temperatury),
- 5) połączyć układ dwustawnej regulacji temperatury według załączonego schematu,
- 6) wykonać pomiary zmian temperatury wody kolejno dla dwóch wartości zadanych: $y_{01} = 40^{\circ}\text{C}$ i $y_{02} = 80^{\circ}\text{C}$, nastawionych na termometrze kontaktowym,
- 7) odczytywać co minutę wartości temperatury na termometrze laboratoryjnym,
- 8) zapisać wyniki pomiarów w tabeli $T = f(t)$,
- 9) narysować na papierze milimetrowym otrzymane przebiegi regulacji temperatury,
- 10) odczytać z wykresu okres zmian, amplitudę zmian,
- 11) wyznaczyć wartość średnią temperatury dla dwóch wartości zadanych,
- 12) porównać i uzasadnić otrzymane wyniki i wykresy,
- 13) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 14) dokonać oceny poprawności wykonania ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- naczynie z wodą, grzałka, (ew. czajnik elektryczny),
- przełącznik typu R15,
- zasilacz (transformator z prostownikiem),
- miernik uniwersalny,
- termometr kontaktowy,
- termometr laboratoryjny,
- stoper,
- zeszyt,
- papier milimetrowy,
- przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6 wskazana przez nauczyciela.

Ćwiczenie 3

Badanie przemysłowego regulatora dwustawnego. Celem ćwiczenia jest poznanie budowy i właściwości regulatora w układzie regulacji.[7, s. 204]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się materiałem teoretycznym dotyczącym regulatorów dwustawnych,
 - 2) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
 - 3) zapoznać się ze sposobem użycia rejestratora,
 - 4) zapoznać się ze strukturą regulatora, rodzajem i zakresem nastaw oraz możliwością wyłączenia korekcyjnego sprzężenia zwrotnego,
 - 5) zmontować układ do zdejmowania charakterystyki statycznej regulatora,
 - 6) dokonać pomiarów a wyniki zanotować w przygotowanej tabelce,
 - 7) wykreślić charakterystykę statyczną regulatora bez korekcyjnego sprzężenia zwrotnego,
 - 8) wyznaczyć zakres strojenia histerezy H ,
 - 9) sporządzić charakterystykę $u_{sr} = f(\varepsilon)$ dla kilku nastaw regulatorów [$u_{sr} = t_z / (t_z + t_w)$],
 - 10) zarejestrować charakterystykę skokową obiektu przeznaczonego do współpracy z regulatorem dwustawnym,
 - 11) wyznaczyć parametry obiektu,
 - 12) połączyć układ regulacji z możliwością rejestracji przebiegu temperatury,
 - 13) zarejestrować przebiegi temperatury dla różnych nastaw wartości zadanej (25%, 50%, 75% zakresu regulacji),
 - 14) zanotować czasy załączenia i wyłączenia regulatora oraz amplitudę oscylacji dla każdej nastawy wartości zadanej,
 - 15) zarejestrować przebiegi temperatury dla stałej wartości zadanej wynoszącej 50% zakresu regulacji ale dla różnych wartości histerezy H regulatora,
 - 16) sporządzić dokumentację techniczną z wykonanych badań,
 - 17) sporządzić wnioski z przeprowadzonych badań,
 - 18) dokonać oceny poprawności wykonanego ćwiczenia.
- Wyposażenie stanowiska pracy:
 - regulator dwustawny (alternatywnie regulator wielofunkcyjny lub sterownik PLC),
 - obiekt regulacji,
 - instrukcje obsługi, karty katalogowe, dokumentacja techniczno-ruchowa urządzeń,

- miernik uniwersalny (alternatywnie układ do rejestracji zmiennych procesowych, np. miernik uniwersalny z interfejsem, komputer z oprogramowaniem, drukarka),
- rejestrator,
- źródło prądowe,
- stoper,
- kartki papieru,
- przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6 wskazana przez nauczyciela.

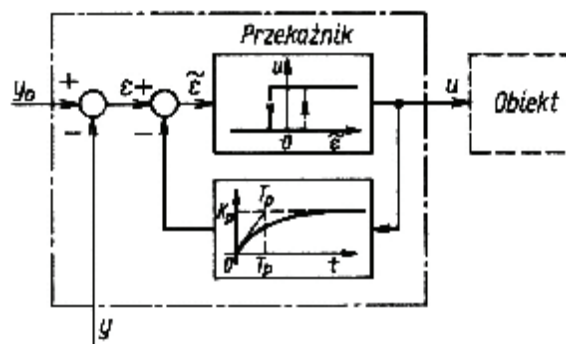
4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) wyznaczyć charakterystykę statyczną regulatora bez sprzężenia zwrotnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyznaczyć z przebiegów regulacji temperatury w układzie regulacji dwustawnej amplitudę oscylacji, częstotliwość oscylacji, histerezę przekaźnika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) narysować zależność odchylenia wartości średniej y_{sr} od wartości zadanej w regulatorze dwustawnym bez korekcji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) porównać właściwości układów regulacji z obiektami różniącymi się czasem opóźnienia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.2. Regulatory dwustawne – bezpośredniego działania, z wbudowanym blokiem PID

4.2.1. Materiał nauczania

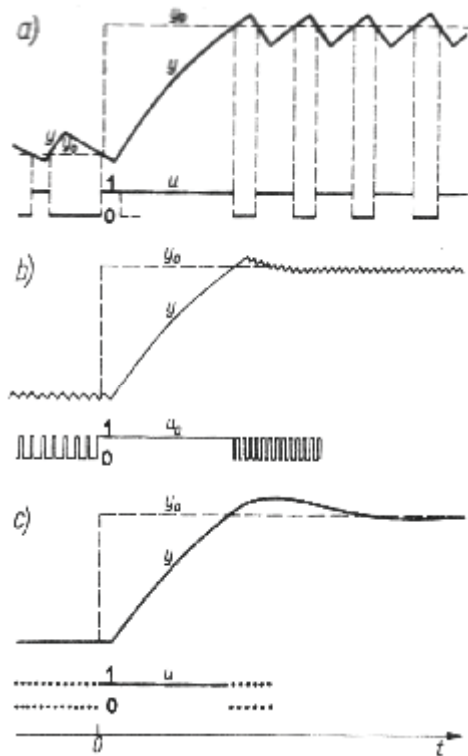
W przypadku wielu procesów sterowanych w sposób dwustawny jakość takiej regulacji jest niewystarczająca ze względu na przebieg oscylacyjny zmian temperatury w obiekcie. Amplituda oscylacji uległaby zmniejszeniu, gdyby możliwe byłoby wcześniejsze przełączanie stanów wyjść regulatora, zanim zostanie spełniony warunek wyłączenia $\varepsilon = -H/2$ lub załączenia $\varepsilon = H/2$. Zmniejszenie amplitudy oscylacji można uzyskać albo przez częstszą zmianę sygnały sterującego albo przez zastosowanie tzw. korekcyjnego sprzężenia zwrotnego. W tym celu, wokół regulatora wprowadza się ujemne, dynamiczne sprzężenie zwrotne. Są to najczęściej podgrzewane oporniki lub termoelementy o odpowiednich stałych czasowych. Element korekcyjny ma charakter inercyjny o wzmacnieniu K_P i stałej czasowej T_P (rys. 9).



Rys. 9. Układ regulatora dwustawnego z korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym[11, s.94]

Sygnał wyjściowy elementu dynamicznego korekcyjnego nadąża szybciej za sygnałem wyjściowym przekaźnika niż sygnał wyjściowy obiektu, który reaguje z opóźnieniem. Dzięki ujemnemu sprzężeniu zwrotnemu od układu korekcyjnego do wejścia przekaźnika, w układzie wystąpią oscylacje o okresie zależnym głównie od parametrów przekaźnika i członu korekcyjnego, a w niewielkim stopniu od parametrów obiektu. Wartości K_P i T_P są znacznie mniejsze od wartości odpowiednich parametrów obiektu – wzmacnienia K_0 i stałej czasowej T_0 . Sprzężenie zwrotne korekcyjne o małej stałej czasowej wywołuje wzrost częstotliwości oscylacji. Natomiast duża bezwładność obiektu powoduje, że amplituda sygnału wyjściowego y , wywołana tymi szybkimi zmianami sygnału wejściowego u , nie będzie duża (rys.10). Przebieg otrzymany przy dużej częstotliwości przełączeń (rys.10c) przypomina przebiegi otrzymywane przy sterowaniu ciągłym.

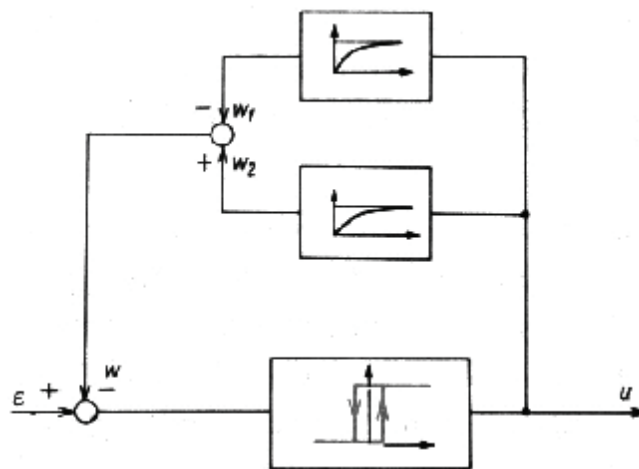
Regulator dwustawny z korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym zmniejsza znacznie amplitudę oscylacji w porównaniu z regulatorem bez korekcji. Natomiast nie likwiduje całkowicie średniej odchyłki regulacji. Zależność między średnią odchyłką a wartością zadaną jeszcze bardziej jest liniowa – regulator wykazuje więc cechy regulatora proporcjonalnego P. Dzięki korekcyjnemu sprzężeniu regulator ten wykazuje też cechy regulatora różniczkowego D.



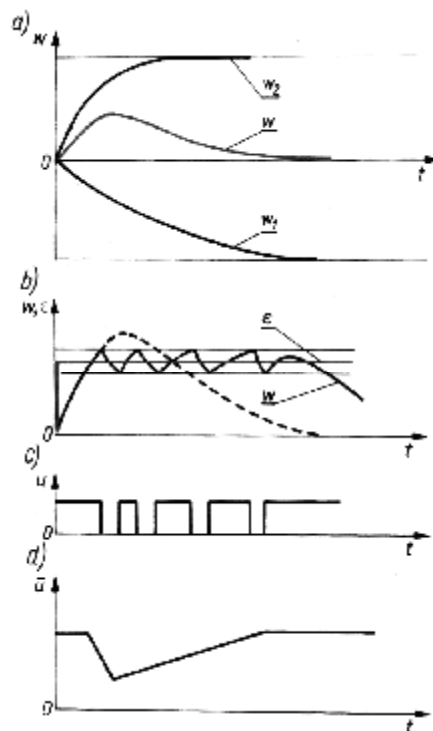
Rys. 10. Przykładowe przebiegi temperatury układu regulacji dwustawnej: a) bez korekcji, b) i c) z korekcją przy różnych wartościach wzmocnienia regulatora [11, s.95]

Podsumowując, możemy regulator dwustanowy z korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym traktować jak przybliżenie regulatora PD. Gdy regulator dwustanowy zostanie objęty dodatnim sprzężeniem zwrotnym przez element inercyjny to może być uważany za regulator typu PI.

Aby regulator dwustanowy mógł być traktowany jako regulator PID, należy objąć go korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym: inercyjnym ujemnym i dodatnim (rys. 11). W układzie z takim regulatorem przebieg sygnału wyjściowego regulatora u po skokowej zmianie sygnału odchyłki ε jest zbliżony do charakterystyki skokowej regulatora PID (rys.12).



Rys. 11. Schemat blokowy regulatora dwustawnego z korekcyjnym dodatnim i ujemnym sprzężeniem zwrotnym[9, s. 242]

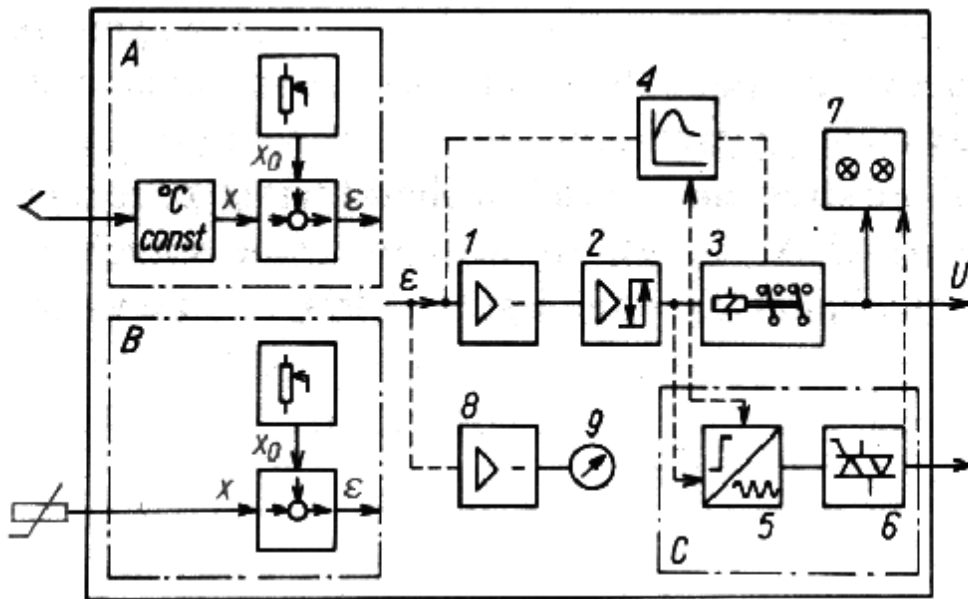


Rys. 12. Przebiegi sygnałów w układzie regulatora dwustawnego PID z korekcją a) przebiegi w_1 , w_2 oraz w , otrzymane w odpowiedzi na skok wartości u , b) i c) przebiegi w oraz u otrzymane po skokowej zmianie sygnału ε , d) przebieg wartości średniej u [9, s.243]

Regulator dwustawny temperatury serii RE

Regulatory dwustawne temperatury z korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym tej serii (rys.13) produkowane są przez Zakłady Aparatów Elektronicznych LUMEL w Zielonej Górze. Regulatory są wykonywane do współpracy z czujnikiem termorezystancyjnym Pt 100 (wersja B) albo z czujnikiem termoelektrycznym, np. Fe – Ko, Pt Rh – Pt (wersja A). Otrzymywany z układu wejściowego (A lub B) sygnał uchybu regulacji po wzmacnieniu steruje przerzutnikiem. Zarówno wzmacniacz jak i przerzutnik z regulowaną szerokością pętli histerezy, są wykonane w oparciu o wzmacniacze scalone. Następnie przerzutnik uruchamia wyjściowy przekaźnik elektromagnetyczny (w regulatorach RE1 i RE3) lub przekaźnik elektroniczny (w regulatorach RE11 i RE 31). Zwarcie styków przekaźnika (sygnalizacja przez zapalenie lampki na płycie czołowej regulatora) powoduje podanie napięcia do obwodu z korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym (zrealizowanym przez układy RC z tranzystorami polowymi), które może być typu PD lub PID. Regulator ponadto wyposażony jest w miernik uchybu regulacji.

Przekaźnikami elektronicznymi są pełnookresowe łączniki prądu przemiennego, w których elementami łącznikowymi są triaki. Dzięki temu możliwa jest duża częstotliwość przełączeń, duża niezawodność oraz beziskrowa praca. Wadą jest wrażliwość triaków na temperaturę otoczenia.



Rys. 13. Schemat blokowy regulatorów RE1 i RE3: A – układ wejściowy do współpracy z termoelementem, B – układ wejściowy do współpracy z termorezystorem, C – przekaźnik elektroniczny, 1 – wzmacniacz uchybu, 2 – przerzutnik, 3 – przekaźnik elektromagnetyczny, 4 – element sprzężenia zwrotnego, 5 – generator, 6 – triak, 7 – lampki sygnalizacyjne, 8 – wzmacniacz uchybu, 9 – miernik uchybu [9, s. 245]

4.2.2. Pytania sprawdzające

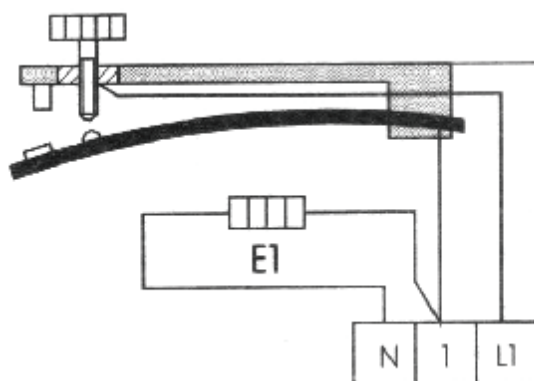
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jak można zmniejszyć oscylację drgań amplitudy w układach regulacji dwustawnej temperatury?
2. Dlaczego element korekcyjnego sprzężenia zwrotnego ma charakter inercyjny?
3. Jaka jest zasada działania regulatorów dwustawnych z korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym?
4. Kiedy regulator dwustawny z korekcją możemy traktować jak typu PD lub PI?
5. Jakim sprzężeniem należy objąć regulator dwustawny aby wykazywał działanie podobne do regulatora typu PID?
6. Jak są zbudowane regulatory serii RE1 i RE3 i czym się różnią?
7. Jaki rodzaj przekaźnika zastosowano w regulatorach RE11 i RE 31?
8. Jakie zalety mają przekaźniki elektroniczne?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1[5, s. 246]

W termostatach bimetalowych, w pobliżu styku bimetalowego zainstalowany jest rezystor grzejny pełniący funkcję termicznego sprzężenia zwrotnego. Podaj, w jaki sposób termiczne sprzężenie zwrotne wpływa na temperaturę, gdy regulator bimetalowy jest wyłączony i włączony. Wyjaśnij wpływ sprzężenia na częstotliwość przełączeń regulatora. Określ zmiany szerokości pętli histerezy regulatora bimetalowego z termicznym sprzężeniem zwrotnym.



Rysunek do ćwiczenia 1. [5, s. 246]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się materiałem teoretycznym o regulacji dwustawnej z korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym,
- 2) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 3) przeanalizować pracę termostatu bimetalowego z rezystorem grzejnym,
- 4) wyjaśnić wpływ termicznego sprzężenia zwrotnego na temperaturę w termostacie,
- 5) podać jaki jest wpływ tego sprzężenia na częstotliwość przełączeń regulatora,
- 6) podać jak zmienia się szerokość pętli histerezy regulatora objętego termicznym sprzężeniem,
- 7) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 8) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zeszyt,
- przybory do pisania,
- literatura z rozdziału 6 wskazana przez nauczyciela.

Ćwiczenie 2

Zbadaj układ regulacji temperatury z regulatorem dwustawnym z korekcją.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 2) zapoznać się ze sposobem użycia rejestratora,
- 3) zapoznać się ze strukturą regulatora, rodzajem i zakresem nastaw,
- 4) zarejestrować odpowiedź skokową obiektu przeznaczonego do współpracy z regulatorem dwustawnym,
- 5) wyznaczyć zastępcze parametry obiektu,
- 6) zarejestrować dla kilku różnych nastaw regulatorów dwustawnych z korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym odpowiedzi układu zamkniętego na skokową zmianę sygnału wartości zadanej i zakłócenia,

- 7) powtórzyć badanie układu z regulatorem z wyłączonym korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym,
- 8) porównać otrzymane przebiegi i uchyby ustalone,
- 9) wykonać dokumentację ćwiczenia,
- 10) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 11) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- regulator przemysłowy dwustawny,
- obiekt regulacji (naczynie z wodą, grzałka),
- źródło standardowego sygnału prądowego ($4 \div 20\text{mA}$),
- czujnik temperatury,
- rejestrator,
- stoper,
- przyrządy pomiarowe (miliwoltomierz, termometr),
- instrukcje obsługi regulatora i rejestratora (karty katalogowe),
- papier,
- przybory do pisania,
- literatura z rozdziału 6 wskazana przez nauczyciela.

4.2.4. Sprawdzian postępów

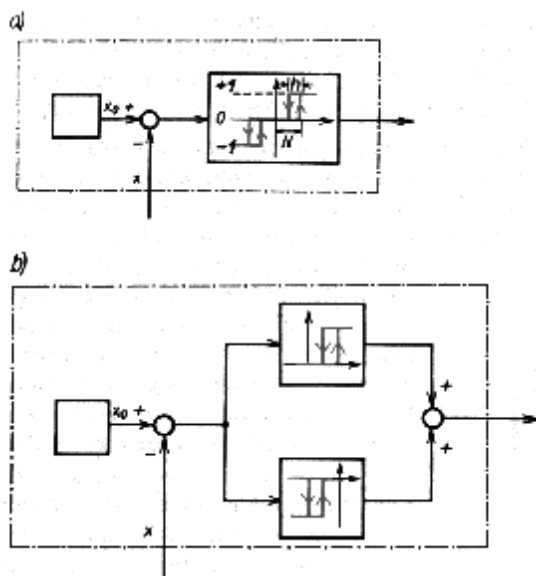
Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) wyjaśnić wpływ sprzężenia korekcyjnego na częstotliwość przełączeń regulatora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) wyjaśnić, dlaczego regulator dwustawny szybciej skompensuje zakłócenie skokowe na wyjściu obiektu niż regulator ciągły?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) porównać przebiegi sygnału wyjściowego w układach regulacji temperatury z regulatorami dwustawnymi ze sprzężeniem korekcyjnym i bez sprzężenia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) zdjąć charakterystyki statyczne regulatorów dwustawnych dla różnych wartości histerezy?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.3. Regulacja trójstawna

4.3.1. Materiał nauczania

Regulatory trójstawne (trójpołożeniowe) charakteryzują się tym, że ich sygnał wyjściowy może przyjmować jedną z trzech wartości, oznaczonych jako -1 , 0 i 1 . Wartości te mogą odpowiadać np. sterowaniu napędu elektrycznego – ruch w lewo, hamowanie, ruch w prawo; oraz działaniu – grzanie, stygnięcie, chłodzenie lub – grzanie z mocą znamionową, grzanie z mocą mniejszą niż znamionowa, stygnięcie.

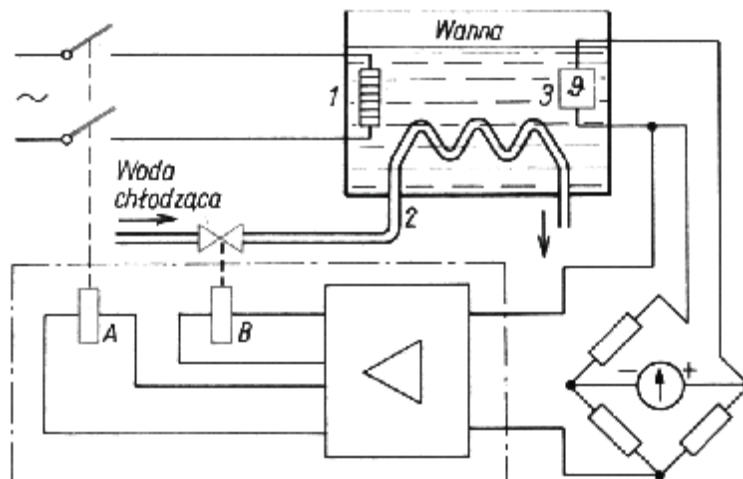
Funkcję regulatora trójstawnego pełni przekaźnik trójpołożeniowy (rys. 14 a). Często w rozwiązaniach praktycznych zamiast elementu trójstawnego stosowane są dwa elementy dwustanowe (po zsumowaniu ich charakterystyk otrzymuje się charakterystykę elementu trójstawnego – rys.14 b).



Rys. 14. Schemat blokowy regulatora trójstawnego: a) z elementem trójstawnym, b) z dwoma elementami dwustanowymi [9, s. 235]

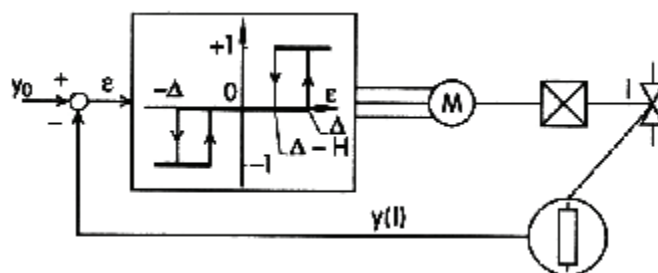
Przykładem zastosowania regulatora trójstawnego jest układ stabilizacji temperatury wody w wannie służącej do hartowania wyrobów stalowych (rys.15). Temperatura wody w wannie w początkowym okresie regulacji jest za niska. Do podgrzania jej służy grzejnik, który jest załączany przez przekaźnik A. Po zanurzeniu w wannie gorących przedmiotów w celu ich zahartowania, woda w wannie wzrośnie. Jeżeli wzrost będzie nadmierny, to wówczas załączy się przekaźnik B, który powoduje otwarcie zaworu doprowadzającego wodę chłodzącą.

Przedstawiony układ regulacji trójstawnej działa w ten sposób, że jeżeli wartość temperatury wody jest niższa od wartości nastawionej dolnej – to zwarty jest przekaźnik A, a gdy temperatury wody w wannie jest większa od nastawionej wartości górnej – to zwarty jest przekaźnik B. Pomiedzy tymi dwoma wartościami - dolną i górną, istnieje jeszcze tzw. strefa nieczułości, w której nie działa żaden przekaźnik.



Rys. 15. Układ regulacji temperatury z regulatorem trójstawnym: 1 – grzejnik, 2 – chłodnica, 3 – czujnik temperatury, A – przekaźnik, B - elektromagnes [9,s. 237]

Innym przykładem elementu, który podlega sterowaniu za pomocą regulatora trójstawnego jest silnik o stałej prędkości pracujący w układzie serwomechanizmu przekaźnikowego. Silnik ten używany jest do sterowania zaworu nastawczego (rys. 16).

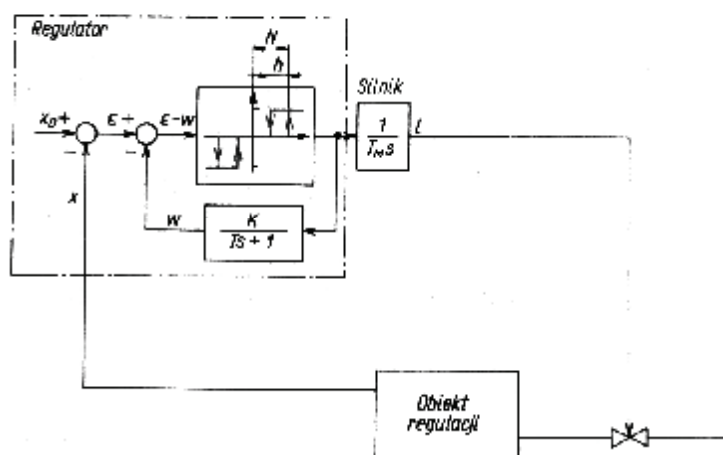


Rys. 16. Układ trójstawnej regulacji położenia zaworu [7,s. 222]

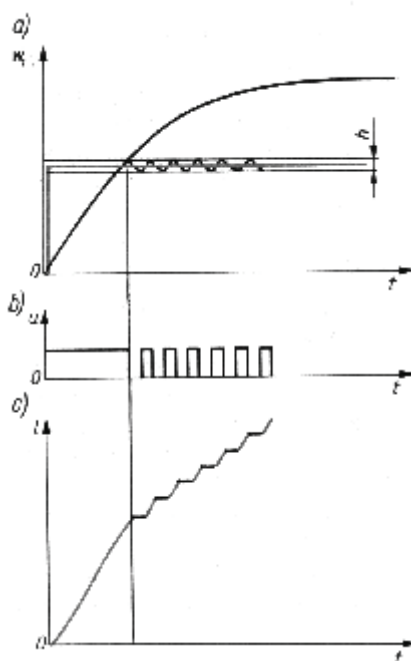
Regulatory krokowe

Regulatory trójstawne, podobnie jak wcześniej omówione regulatory dwustawne, mogą być wyposażone w układy korekcyjne. Regulatorem krokowym nazywamy układ złożony z regulatora trójstawnego objętego korekcyjnym ujemnym inercyjnym sprzężeniem zwrotnym oraz z silnika. Na rys. 17 przedstawiono schemat układu regulacji z takim regulatorem, który steruje obiektem za pośrednictwem silnika przestawiającego zawór.

Własności dynamiczne regulatora trójstawnego objętego sprzężeniem zwrotnym są identyczne jak regulatora dwustawnego z korekcją dynamiczną (w zależności od znaku sygnału wejściowego działa albo przekaźnik „dodatni” albo „ujemny”). Regulator trójstawny z korekcyjnym sprzężeniem stanowi więc człon o właściwościach PD. Silnik jako element wykonawczy jest członem całkującym. W wyniku szeregowego połączenia regulatora o właściwościach PD z silnikiem o właściwościach I otrzymujemy regulator krokowy typu PI. Silnik jest sterowany impulsami +1 i -1 (o czasie trwania zależnym od wartości odchyłki), poroizdzielanymi okresami wyłączenia 0. Silnik przestawiając zawór wykonuje jak gdyby „kroki”, o długości zależnej od wartości uchybu. Stąd nazwa – regulator krokowy, dla układu regulatora trójstawnego z korekcją oraz silnika wykonawczego (rys. 18).



Rys. 17. Schemat układu sterowania z regulatorem trójstawnym i silnikowym członem wykonawczym [9, s. 243]



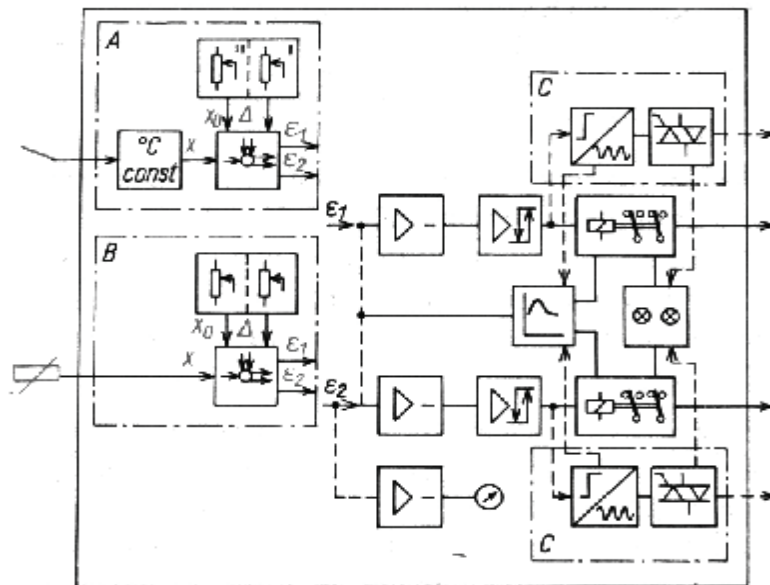
Rys. 18. Przebiegi w układzie regulatora trójstawnego ze sprzężeniem zwrotnym sterującego silnikiem, po pojawieniu się uchybu: a) sygnał na wyjściu elementu sprzężenia zwrotnego, b) stan przekaźnika, c) położenie wału silnika [9, s. 244]

Regulatory trójstawne serii RE

Regulatory serii RE produkcji Zakładów LUMEL w Zielonej Górze, które są oznaczone symbolami RE2 i RE4 (wersja elektronicznym przekaźnikiem wyjściowym to RE21 i RE41) są regulatorami trójstawnymi (rys.19).

Regulatory te, podobnie jak regulatory dwustawne serii RE, przygotowane są do współpracy z czujnikiem termorezystancyjnym albo z czujnikiem termoelektrycznym. Ich układ wejściowy różni się od układu wejściowego regulatorów dwustawnych. Wytwarza on dwa sygnały uchybu ε_1 i ε_2 , które po wzmacnieniu w dwóch identycznych wzmacniaczach, sterują dwoma przerzutnikami formujących dwuwartościowe sygnały sterujące. Dodatkowo w układzie

regulatora znajduje się potencjometr nastawczy do ustawiania przesunięcia między sygnałami ε_1 i ε_2 , które wyznaczają szerokość strefy nieczułości na charakterystyce statycznej regulatora trójstawnego. W obu kanałach równocześnie można włączyć korekcyjne sprzężenie zwrotne typu PD, natomiast tylko w jednym kanale jeżeli jest typu PID. Regulatory trójstawne RE są stosowane w prostych układach regulacji temperatury.



Rys. 19. Schemat blokowy regulatora trójstawnego RE2 i RE4: A – układ wejściowy do współpracy z termoelementem, B – układ wejściowy do współpracy z termorezystorem, C – przełączniki elektroniczne [9, s. 246]

4.3.2. Pytania sprawdzające

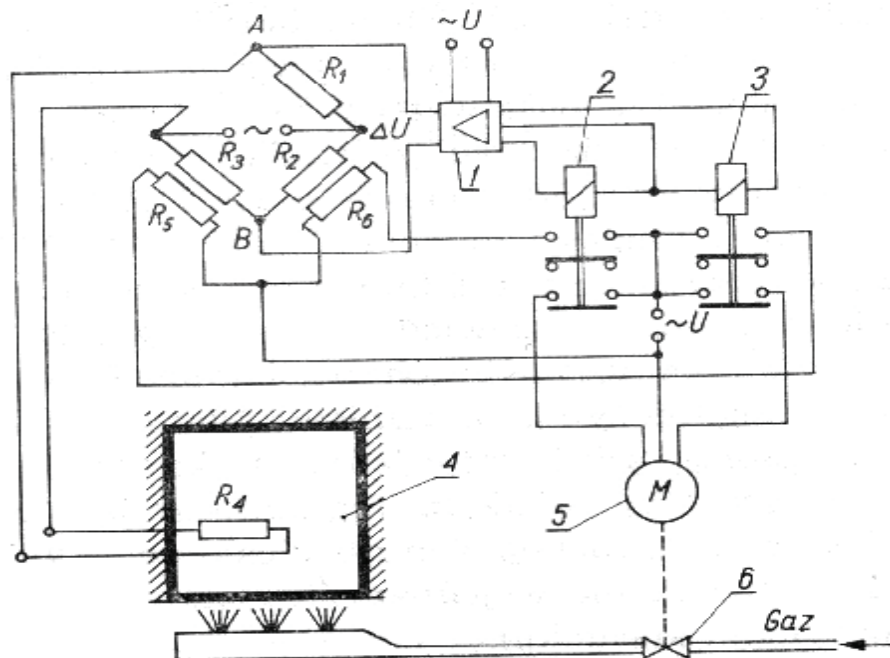
Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jak wygląda charakterystyka statyczna przełącznika trójstawnego?
2. Jak z dwóch elementów dwustanowych można otrzymać element trójstawny?
3. Jakim działaniom, w praktyce, w układach mogą odpowiadać stany pracy regulatora trójstawnego?
4. Jaka jest zasada działania układu regulacji temperatury wody w wannie hartowniczej?
5. Kiedy nie działają przełączniki A i B w układzie regulacji temperatury wody w wannie z regulatorem trójstawnym?
6. Jaka jest zasada działania układu trójstawnej regulacji położenia zaworu?
7. Jakie cechy charakterystyczne posiada regulator krokowy?
8. Jakie właściwości dynamiczne ma regulator trójstawny z korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym?
9. Dlaczego regulatory trójstawne z korekcją nazywamy regulatorami krokowymi?
10. Jaka jest zasada działania regulatora trójstawnego serii RE?
11. Jaka jest różnica w układzie regulatora trójstawnego i regulatora dwustawnego serii RE?
12. Czy korekcyjnym sprzężeniem zwrotnym można równocześnie objąć oba przełączniki w regulatorze trójstawnym serii RE?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykonaj badanie układu regulacji automatycznej z regulatorem krokowym w układzie jak na rysunku. Wielkością regulowaną jest temperatura w piecu ogrzewanym gazem.



Rysunek do ćwiczenia 1. Układ regulacji z regulatorem krokowym: 1 – wzmacniacz, 2, 3 – styczniki, 4 – piec, 5 – silnik nawrotny, 6 – zawór [2, s. 222]

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 2) zapoznać się z właściwościami układu badanego w ćwiczeniu (funkcjami, sposobem łączenia elementów, możliwością rejestrowania przebiegów),
- 3) zapoznać się ze sposobem użycia rejestratora,
- 4) zapoznać się z konstrukcją regulatora,
- 5) przygotować układ do badań,
- 6) wyznaczyć charakterystykę statyczną i dynamiczną obiektu regulowanego,
- 7) wyznaczyć nową wartość zadaną,
- 8) zaobserwować zmianę zachowania urządzenia wykonawczego,
- 9) zarejestrować przebieg temperatury w piecu na skokową zmianę wartości zadanej,
- 10) zmienić ilość dopływającego gazu,
- 11) zaobserwować zmianę zachowania się układu regulacji w czasie,
- 12) narysować otrzymane przebiegi,
- 13) sformułować wnioski,
- 14) wykonać dokumentację ćwiczenia,
- 15) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 16) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- piec ogrzewany gazem,
- silnik nawrotny,
- instalacja gazowa z zaworem nastawczym,
- wzmacniacz,
- styczniki,
- układ mostka elektrycznego,
- czujnik rezystancyjny do pomiaru temperatury wewnątrz pieca,
- grzejnik oporowy,
- opornik półprzewodnikowy,
- rejestrator,
- miernik uniwersalny,
- stoper,
- instrukcje, karty katalogowe urządzeń,
- papier,
- przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6 wskazana przez nauczyciela.

Ćwiczenie 2

Badanie układu regulacji trójstawnej i krokowej oraz wpływu parametrów poszczególnych elementów na jakość regulacji.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 2) zapoznać się z właściwościami układu badanego w ćwiczeniu (funkcjami, sposobem łączenia elementów, możliwością rejestrowania przebiegów),
- 3) zapoznać się ze sposobem użycia rejestratora,
- 4) zapoznać się z dokumentacją i konstrukcją regulatora,
- 5) przygotować układ do badań,
- 6) zapoznać się z silnikiem współpracującym z regulatorem trójstawnym,
- 7) wyznaczyć czas przejścia pełnego zakresu przez silnik współpracujący z regulatorem trójstawnym,
- 8) wyznaczyć charakterystykę statyczną i dynamiczną serwomechanizmu przekaźnikowego dla różnych wartości strefy nieczułości Δ i histerezy H ,
- 9) określić na podstawie powyższych charakterystyk wpływ parametrów Δ i H na właściwości serwomechanizmu,
- 10) przeprowadzić powyższe badania w układzie z regulatorem krokowym i dla silnika współpracującego z regulatorem krokowym,
- 11) zarejestrować odpowiedź obiektu na skokową zmianę wartości zadanej i zakłócenia w układzie z regulatorem krokowym,
- 12) sformułować wnioski,
- 13) wykonać dokumentację ćwiczenia,
- 14) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 15) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- regulator trójstawny (alternatywnie regulator wielofunkcyjny wraz z oprogramowaniem do konfigurowania regulatora lub sterownik PLC),
- obiekt regulacji (piec ogrzewany gazem),
- silniki,
- instrukcje obsługi, karty katalogowe, DTR-ki,
- miernik uniwersalny,
- rejestrator (alternatywnie układ do rejestracji zmiennych procesowych, np. miernik uniwersalny z interfejsem, komputer z oprogramowaniem, drukarka),
- stoper,
- kartki papieru A4,
- przybory do pisania i rysowania,
- literatura z rozdziału 6 wskazana przez nauczyciela.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) wyznaczyć charakterystykę statyczną i dynamiczną serwomechanizmu przekąźnikowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) podać wpływ strefy nieczułości Δ i histerezy H na właściwości serwomechanizmu przekąźnikowego (z regulatorem trójstawnym)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) podać wpływ strefy nieczułości Δ i histerezy H na właściwości układu regulacji krokowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) narysować przebiegi sygnału sterującego na wejściu obiektu w układzie z regulatorem krokowym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) narysować układ regulacji zawierający regulator ciągły i elektryczny element wykonawczy z silnikiem stałoprędkościowym, sterowanym regulatorem trójstawnym?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4.4. Programowa realizacja regulatorów nieliniowych

4.4.1. Materiał nauczania

Programowa realizacja regulatora dwustawnego w sterowniku

Programowanie sterownika polega na wpisaniu do jego pamięci programu sterowniczego, w postaci listy pojedynczych rozkazów (lista rozkazów AWL). Kolejność wpisywania rozkazów wynika z zasad programowania danego sterownika. Rozkaz (rys.20) składa się z kilku części:

Adres	Rozkaz		
	Operacja	Operand	
		Symbol	Parametr
0000	L	E	0.01

Rys. 20. Przykład rozkazu [18, s. 6]

- adresu – określa numer miejsca w pamięci sterownika rozkazu,
- operacji – określa zadanie sterownika,
- operandu, składającego się z symbolu i parametru; podaje czego ma dotyczyć dana operacja,
- symbolu – określa rodzaj operandu,
- parametru – określa konkretny parametr.

Dodatkowo, dla lepszego zrozumienia programu, można dodać komentarz do każdego wiersz programu. Lista rozkazów AWL zawiera określoną liczbę kolejno ponumerowanych wierszy, którą dzieli się na segmenty.

Przykładowe operacje (rozказы):

- L Ładuj – tym rozkazem rozpoczyna się każdy program sterowniczy; występuje również po każdym znaku przyporządkowania (=),
- = Przyporządkowanie - wynik funkcji logicznej jest przyporządkowany jednemu z operandów,
- U AND - rozkaz do tworzenia funkcji iloczynu logicznego AND dwóch operandów,
- PE Koniec programu - na końcu każdego programu sterowniczego musi znaleźć się ten rozkaz,
- S Set - rozkaz wpisujący stan jedynki logicznej 1 do określonego operandu,
- R Reset - rozkaz wpisujący stan zera logicznego 0 do określonego operandu,
- NOP Operacja zerowa - rozkaz służący jedynie do zarezerwowania miejsca w pamięci sterownika (pusty wiersz).

Przykładowe operandy:

- E Wejście - symbol oznaczający wejście sterownika,
- A Wyjście - symbol oznaczający wyjście sterownika,
- M Merker - symbol komórki pamięci sterownika.

W trakcie pisania programu sterowniczego często powtarzają się jednakowe fragmenty, zawierające określone rozказы. Są to bloki funkcyjne (moduły), które w trakcie programowania przywołuje się odpowiednim skrótem. Wystarczy tylko określić jego parametry.

Przykładowe moduły:

- T Moduł czasowy - umożliwia realizację opóźnionego włączenia i wyłączenia,
- Z Licznik - umożliwia zliczanie obiektów (zarówno do przodu jak i do tyłu),
- CP Komparator - umożliwia porównanie ze sobą dwóch wartości.

Lista przyporządkowująca zawiera wykaz wszystkich elementów sterujących i wykonawczych przyłączonych do wejść i wyjść sterownika.

W sterownikach programowalnych PLC możliwe jest zrealizowanie regulatora dwustawnego.

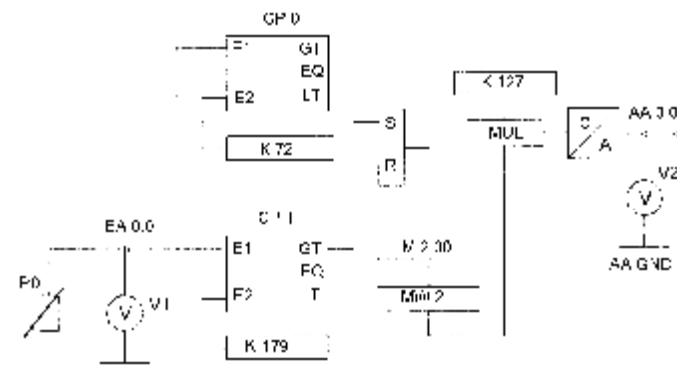
Aby możliwe było przetwarzanie wyników pomiarów, np. temperatury, ciśnienia, poziomu cieczy itp., sterownik wyposażony jest w moduł analogowy. Umożliwia on przetworzenie sygnałów analogowych na napięcie stałe z przedziału $0 \div 10V$. Następnie sygnał analogowy napięcia przetwarzany jest w przetworniku A/C na ośmiobitowy sygnał binarny. Napięciu z przedziału $0 \div 10V$ odpowiada $0 \div 255$ sygnałów binarnych. Dalej sygnał jest najczęściej przetwarzany w komparatorze. Komparator ma dwa wejścia, umożliwiające porównanie ze sobą dwóch wartości. Na wejście 1 (E1) podaje się – przez wejście analogowe EA 0.01 sterownika – wartość rzeczywistą (sygnału regulowanego np. temperaturę), a na wejście 2 (E2) wartość zadaną. Wartość zadaną np. temperatury możemy podać w postaci stałej K lub przez drugie wejście analogowe sterownika. Komparator w sposób ciągły porównuje obie wartości, sprawdzając, która z zależności jest spełniona:

- $E1 > E2$,
- $E1 = E2$,
- $E1 < E2$.

Przykład zaprogramowania regulatora dwustawnego bez histerezy w sterowniku S400 [18, s. 60]:

AWL:	0	CP 0		Wywołanie modułu komparatora CP 0
		E1:	EA 0.01	Wartość rzeczywista sygnału
		E2:	K 130	Wartość zadana podana w postaci stałej
		GT:	M 0.00	$E1 > E2$
		EQ:	M 0.01	$E1 = E2$
		LT:	M 0.02	$E1 < E2$
	1	L M	0.00	
	2	UN	M 0.02	
	3	=	A 0.01	
	4	L	M 0.01	
	5	O	M 0.02	
	6	UN	M 0.00	
	7	=	A 0.02	
	8	PE		

Dla zrealizowania regulatora dwustawnego z histerezą stosuje się dwa komparatory. Poniżej przedstawiono schemat blokowy regulatora dwustawnego z histerezą zaprogramowanego w sterowniku SYSTRON S400 (rys.21).



Rys. 21. Schemat blokowy regulatora dwustawnego z histerezą zrealizowanego w sterowniku S400 [19]

W tabeli 1 podano listę rozkazów AWL oraz listę przyporządkowującą umożliwiającą zaprogramowanie regulatora w sterowniku S400.

Tabela 1. Programowa realizacja regulatora dwupołożeniowego z histerezą w sterowniku S400 [19]

REGULATOR DWUPOŁOŻENIOWY

Lista rozkazów	Lista przyporządkowująca
* -----	EA 0.0 – wejście analogowe
* Regulator dwupołożeniowy	AA 0.0 – wyjście analogowe
* z histerezą.	AA GND – masa wyjścia analogowego
* -----	V1 – woltomierz cyfrowy napięcia U1
* Komparatory -----	V2 – woltomierz cyfrowy napięcia U2
CP 0	*****
E1 : EA 0.0	Wykonać połączenia:
E2 : K 102 * histereza (dobór) -----	PI → EA 0.0
LT: M 0.00	V1 → EA 0.0, GND
CP 1	V2 → AA 0.0, AA GND
E1 : EA 0.0	*****
E2 : K 178 * histereza (dobór) -----	
GT: M 0.05	
* Pamięć -----	
LM 0.05	
SM 2.00	
LM 0.00	
RM 2.00	
* Amplituda -----	
L K 127	
MUL MW 2	
= AA 0.0	
PE	

Realizacja programowalna regulatora trójstawnego w sterowniku PLC

W sterownikach programowalnych PLC możliwe jest zrealizowanie regulatora trójstawnego.

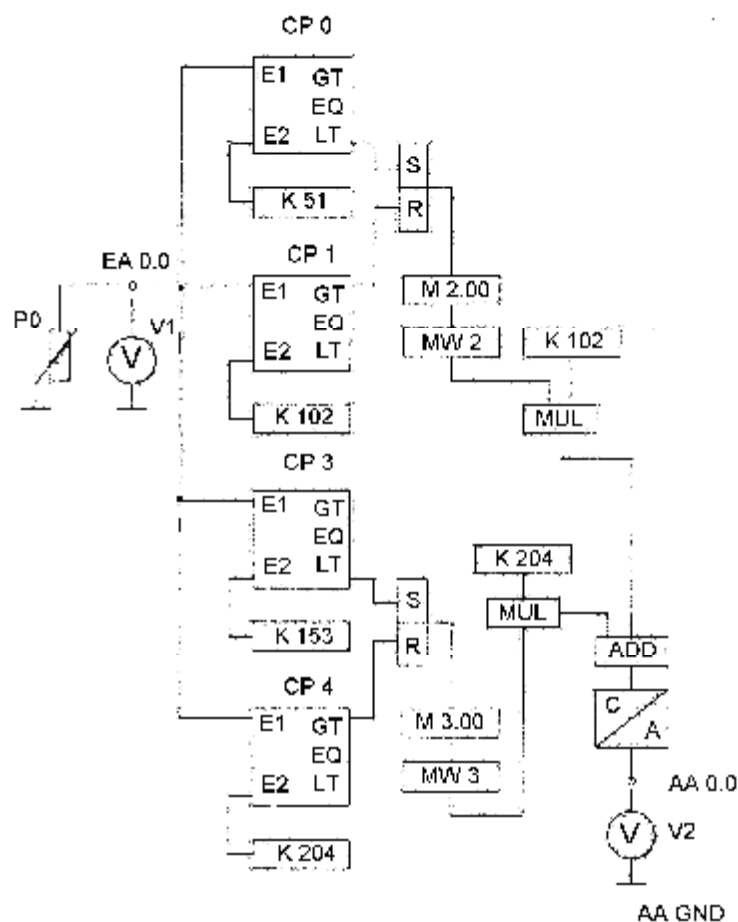
W tabeli 2 podano przykładową listę rozkazów AWL oraz listę przyporządkującą umożliwiającą zaprogramowanie regulatora w sterowniku S400.

Tabela 2. Programowa realizacja regulatora trójpołożeniowego z histerezą w sterowniku S400 [19]

REGULATOR TRÓJPOŁOŻENIOWY

Lista rozkazów	Lista przyporządkowująca
* -----	EA 0.0 – wejście analogowe
* Regulator trójpołożeniowy	AA 0.0 – wyjście analogowe
* -----	AA GND – masa wyjścia analogowego
* Komparatory -----	V1 – woltomierz cyfrowy napięcia U1
CP 0	V2 – woltomierz cyfrowy napięcia U2
E1 : EA 0.0	*****
E2 : K 75 * histereza 1 (dobór) ----	Wykonać połączenia:
LT: M 0.00	P1 → EA 0.0
CP 1	V1 → EA 0.0 , GND
E1 : EA 0.0	V2 → AA 0.0 , AA GND
E2 : K 120 * histereza 1 (dobór) ----	*****
GT: M 0.05	
* -----	
CP 3	
E1 : EA 0.0	
E2 : K 160 * histereza 2 (dobór) ----	
GT: M 0.01	
CP 4	
E1 : EA 0.0	
E2 : K 205 * histereza 2 (dobór) ----	
LT: M 0.06	
* Pamięci -----	
L M 0.05 * pamięć 1 -----	
S M 2.00	
L M 0.00	
R M 2.00	
L M 0.01 * pamięć 2 -----	
S M 3.00	
L M 0.06	
R M 3.00	
* Amplituda -----	
L K 102 * amplituda 1 (dobór)	
MUL MW 2	
= MW 4	
L K 204 * amplituda 2 (dobór)	
MUL MW 3	
ADD MW 4	
= AA 0.0	
PE	

Poniżej przedstawiono schemat blokowy regulatora trójstawnego z histerezą zaprogramowanego w sterowniku SYSTRON S400 (rys.22).



Rys. 22. Schemat blokowy regulatora trójstawnego z histerezą zrealizowanego w sterowniku S400 [19]

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Z jakich części składa się rozkaz AWL?
2. Co oznaczają operandy E, A, M?
3. Na jaki sygnał napięciowy przetwarzane są w module analogowym sterownika wyniki pomiarów wielkości analogowych?
4. Na jaki sygnał binarny przetwarzany jest sygnał napięciowy w przetworniku A/C sterownika?
5. W jaki sposób programuje się szerokość histerezy w regulatorze dwustawnym w sterowniku?
6. Do czego w regulatorze trójstawnym zrealizowanym w sterowniku programowalnym potrzebne są cztery komparatory?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Zaprogramuj w sterowniku PLC układ regulacji dwustanowej ogrzewania. Opis układu: w pewnym procesie chemicznym temperatura powinna być utrzymywana na stałym poziomie 80°C z tolerancją $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Czujnik mierzy temperaturę rzeczywistą, która jest w przetworniku pomiarowym przetwarzana na napięcie stałe $0 \div 10\text{V}$. Napięcie to podawane jest na wejście

EA 0.00 sterownika. Sterowanie ogrzewaniem odbywa się za pomocą wyjścia A 0.00 sterownika. W układzie znajdują się dwie lampki sygnalizacyjne: H1 – sygnalizuje temperaturę niższą, a lampka H2 – temperaturę wyższą od zadanej. Opracuj listę przyporządkowującą, przelicz temperaturę na wartości binarne oraz opracuj listę rozkazów AWL z komentarzem.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się materiałem teoretycznym dotyczącym programowania regulatora dwustanowego w sterowniku PLC,
- 2) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 3) przeanalizować zadanie i rozpoznać rodzaj regulatora,
- 4) narysować charakterystykę statyczną regulatora,
- 5) opracować listę przyporządkowującą,
- 6) przeliczyć wartości maksymalną i minimalną temperatury na wartości binarne,
- 7) opracować listę rozkazów AWL z komentarzem,
- 8) zaprogramować układ regulacji temperatury z regulatorem dwustawnym,
- 9) dokonać symulacji działania układu regulacji,
- 10) zarejestrować przebieg zmian temperatury w układzie,
- 11) wykonać dokumentację ćwiczenia,
- 12) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 13) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- sterownik PLC (np. S400),
- instrukcja obsługi,
- komputer z oprogramowaniem,
- mierniki uniwersalne,
- rejestrator,
- drukarka,
- papier do drukarki,
- literatura z rozdziału 6 wskazana przez nauczyciela.

Ćwiczenie 2

Zaprogramuj w sterowniku PLC układ stabilizacji temperatury wody w wannie hartowniczej z regulatorem trójstawnym. Opis układu: temperatura wody w wannie hartowniczej może wynosić od $40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ do $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Gdyby temperatura była niższa od dopuszczalnej to w wannie znajduje się grzałka załączana stycznikiem A, natomiast do ochłodzenia wody służy chłodnica z zaworem otwieranym stycznikiem B. Czujnik mierzy rzeczywistą temperaturę, która jest następnie przetwarzana w przetworniku pomiarowym na napięcie stałe $0 \div 10\text{V}$. Napięcie to podawane jest na wejście EA 0.00 sterownika. Sterowanie ogrzewaniem odbywa się za pomocą wyjścia A 0.00 sterownika, a sterowanie zaworem doprowadzającym zimną wodę w celu jej ochłodzenia odbywa się za pomocą wyjścia A 0.01 sterownika. Opracuj listę przyporządkowującą, przelicz temperatury na wartości binarne oraz opracuj listę rozkazów AWL z komentarzem.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się materiałem teoretycznym dotyczącym programowania regulatora trójstawnego w sterowniku PLC,
- 2) zorganizować stanowisko pracy do wykonania ćwiczenia,
- 3) przeanalizować zadanie i rozpoznać rodzaj regulatora,
- 4) narysować charakterystykę statyczną regulatora,
- 5) opracować listę przyporządkowującą,
- 6) przeliczyć wartości maksymalne i minimalne temperatury na wartości binarne,
- 7) opracować listę rozkazów AWL z komentarzem,
- 8) wpisać opracowany program do sterownika i sprawdzić jego działanie,
- 9) dokonać symulacji działania układu regulacji,
- 10) zarejestrować przebieg zmian temperatury w układzie,
- 11) wykonać dokumentację ćwiczenia,
- 12) zaprezentować wykonane ćwiczenie,
- 13) dokonać oceny ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- sterownik PLC (np. S400),
- instrukcja obsługi,
- komputer z oprogramowaniem,
- mierniki uniwersalne,
- rejestrator,
- drukarka,
- papier do drukarki,
- literatura z rozdziału 6 wskazana przez nauczyciela.

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:	Tak	Nie
1) przeliczać wartości temperatury na wartości binarne?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) opracować listę przyporządkowującą?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) napisać listę rozkazów AWL dla układu regulacji z regulatorem dwustawnym bez i z histerezą?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wpisać do sterownika program?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) napisać listę rozkazów AWL dla regulatora trójstawnego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

6. LITERATURA

1. Barlik R., Nowak M.: Układy sterowania i regulacji urządzeń energoelektronicznych. WSiP, Warszawa 1998
2. Dębski S.: Pracownia automatyki dla zasadniczych szkół zawodowych. PWSZ, Warszawa 1973
3. Findeisen Wł. (red): Poradnik inżyniera automatyka. WNT, Warszawa 1973
4. Gerlach M., Janas R.: Automatyka. WSiP, Warszawa 1998
5. Hörnemann E., Hübscher H., Klaue J., Schierack K., Stolzenburg R.: Elektrotechnika. Instalacje elektryczne i elektronika przemysłowa. WSiP, Warszawa 1998
6. Kojtych A., Szawłowski M., Szymczyk W.: Pomiary wielkości fizycznych. WSiP, Warszawa 1998
7. Komor Z.: Pracownia automatyki. WSiP, Warszawa 1996
8. Kordowicz-Sot A.: Automatyka i robotyka. Układy regulacji automatycznej. WSiP, Warszawa 1999
9. Kostro J.: Elementy, urządzenia i układy automatyki. WSiP, Warszawa 1997
10. Markowski A., Kostro J., Lewandowski A.: Automatyka w pytaniach i odpowiedziach. WNT, Warszawa 1979
11. Płoszajski G.: Automatyka. WSiP, Warszawa 1995
12. Pokutycki j.: Elementy automatyki elektryczne i elektroniczne. WSiP, Warszawa 1977
13. Pułaczewski J.: Automatyka. PWSZ, Warszawa 1969
14. Pułaczewski J.: Automatyka w przemyśle chemicznym. WSiP, Warszawa 1975
15. Siemianko Fr., Gawrysiak M.: Automatyka i robotyka. WSiP, Warszawa 1996
16. Skrypt kursu dla początkujących SPS 1/1 - Wprowadzenie techniki sterowników z programowalną pamięcią do polskich szkół kształcenia zawodowego: Opis techniczny sterownika z programowalną pamięcią SYSTRON S400. Oprogramowanie w języku polskim. Projekt-Management GmbH
17. Technika sterowników z programowalną pamięcią. WSiP, Warszawa 1998
18. Technika sterowników z programowalną pamięcią. Ćwiczenia. WSiP, Warszawa 1998
19. Wajsman J.: Materiały dydaktyczne na pracownię sterowników z programowalną pamięcią w ZST w Mikołowie.