

MD-521P

Regulacja temperatury sterownikiem PLC

Instrukcja użytkownika, DTR

INSTRUKCJA

Spis treści

1. Charakterystyka stanowiska.....	3
1.1. Zastosowania:.....	3
1.2. Budowa stanowiska.....	4
1.3. Opis.....	6
2. Instrukcja BHP.....	9
2.1. Wskazówki ogólne.....	9
2.2. Konserwacja i przechowywanie stanowiska.....	9
2.3. Bezpieczeństwo pracy z urządzeniami elektrycznymi.....	9
3. Ćwiczenia.....	11
3.1. Zapoznanie się z czujnikami temperatury oraz standaryzacją sygnałów do układów automatyki, budowa stanowiska.....	11
3.2. Ćwiczenie nr 1. Identyfikacja elementów, zapoznanie ze stanowiskiem.....	15
3.3. Ćwiczenie nr 2. Implementacja algorytmu regulacji dwustanowej.....	15
3.4. Ćwiczenie nr 3. Implementacja algorytmu regulacji ciągłej P, PI – dla wybranych typów sterowników PLC.....	16
3.5. Ćwiczenie nr 4. Obsługa wbudowanego regulatora PID – dla wybranych typów sterowników PLC.....	16
4. Załączniki.....	17

1. Charakterystyka stanowiska

Stanowisko MD-521P stanowi obiekt sterowania PLC, które umożliwia regulację temperatury (P,PI,PID, dwustawna).

Regulacja temperatury jest realizowana przy użyciu grzałki. Do pomiaru temperatury wykorzystuje się czujnik temperatury Pt1000 w obudowie przemysłowej.

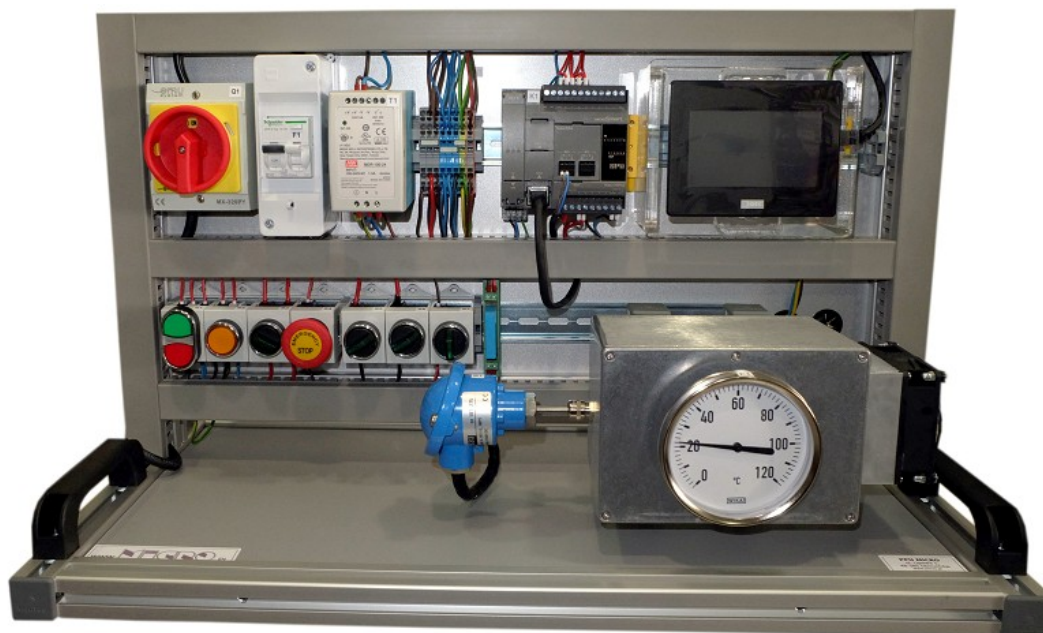
Do obiektu można wprowadzać zakłócenia, sterując pracą wentylatorów. Sterowanie obiektem odbywa się z wykorzystaniem sterownika PLC S7-1200.

1.1. Zastosowania:

- Zapoznanie się z układem sterowania oraz układem realizującym proces regulacji temperatury.
- Zapoznanie się z zasadami działania regulatorów dwustawnych, P, PI.
- Nabycie umiejętności związanych z rozwiązywaniem praktycznych problemów inżynierskich.

1.2. Budowa stanowiska

Na Rys. 1 przedstawiono budowę stanowiska MD-521P.



Rys. 1: Stanowisko dydaktyczne z serii MD-521P

- **K1:** Sterownik PLC **S7-1200 1215C DC/DC/DC (6ES7215-1AG40-0XB0))**
- Przewód komunikacyjny 1x Ethernet
- Oprogramowanie sterownika PLC: Step7 Basic
- **A1:** Panel operatorski HMI Simatic KTP400, Siemens
- Przyciski i kontrolki sterownicze na szynę TH-35:
 - **S1:** przycisk podwójny z podświetleniem: monostabilny ze stykiem NO zielony S1.S0, przycisk monostabilny ze stykiem NC czerwony S1.S1, lampka w kolorze zielonym S1.P;
 - **S2:** przycisk monostabilny żółty, ze stykiem NO;
 - **S3:** przełącznik pokrętny 3-pozycyjny 2xNO, pokrętny;
 - **S4:** przycisk bez samoczynnego powrotu ze stykiem NC, grzybowy, awaryjny
 - **S5-S7:** przycisk pokrętny 2-pozycyjny ze stykiem NO, zielony
- Model badanego obiektu – blok aluminiowy
- Grzałka – rezystor 22Ω (E1, E2)
- **B1:** Czujnik temperatury Pt1000 z wyjściem analogowym 0-10V

- Termometr bimetaliczny
- Radiator z wentylatorem
- **K2**: Przekaznik półprzewodnikowy
- **Q1**: Wyłącznik główny stanowiska,
- **F1**: Wyłącznik różnicowo-nadprądowy B10,
- **X1**: Listwa zasilająca 24 V DC.
- Konstrukcja stanowiska z profili aluminiowych
- Elementy łączeniowe i konstrukcyjne niezbędne do poprawnej pracy stanowiska
- Zasilanie stanowiska: sieciowe 230 V AC

1.3. Opis

Na stanowisku zastosowano pomiar temperatury na termorezystorze Pt1000 zakresem przetwarzania 0-100 °C (B1).

Grzanie bloku aluminiowego (wewnątrz osłony) jest zrealizowane na dwóch rezystorach dużej mocy o rezystancji 22 Ω każdy. Rezystory mogą być włączane/wyłączane z obwodu przy użyciu przycisku pokrętnego S3.

Sterowanie grzaniem pochodzi z wyjścia oznaczonego na sterowniku PLC jako DQa.0 lub bezpośrednio z linii zasilającej 24 V DC. Sygnał ten steruje przekaźnikiem SSR (K2) załączającym zasilanie do grzałek (E1, E2). W przekaźniku jest wbudowana dioda LED sygnalizująca jego załączenie.

Do bloku grzejnego jest także przymocowany wentylator przyspieszający jego chłodzenie, który może być załączony za pomocą przycisku pokrętnego S7.

Sygnały wejściowe analogowe sterownika PLC:

Lp.	Symbol	Nazwa	PLC
1	B1	Temperatura, napięcie 0-10V odpowiadające 0-100°C	%IW64 (AI.0)

Sygnały wyjściowe sterownika PLC:

Lp.	Symbol	Nazwa	PLC
1	PWM	Sygnał PWM sterujący pracą grzałki, częstotliwość < 1 Hz	%Q0.0 (DQa.0)

Na Rys.2. przedstawiono ekran główny panela operatorskiego KTP400.

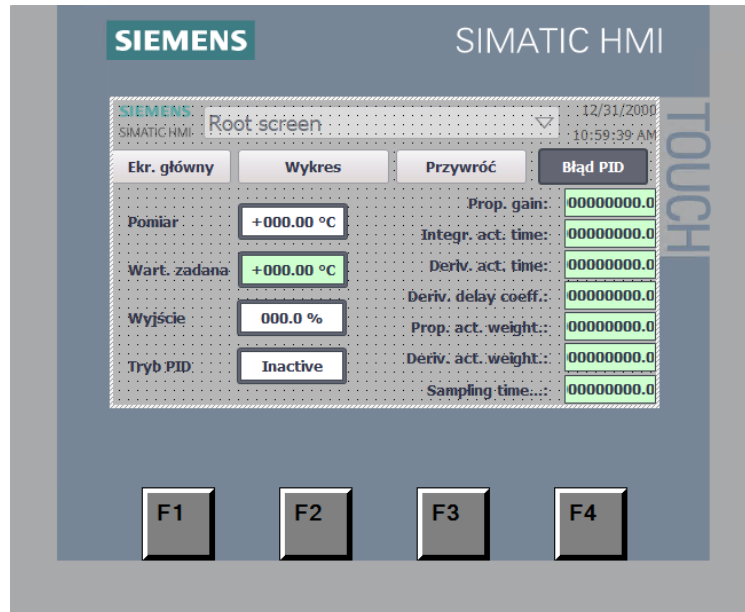
Pola zielone – możliwość edycji parametrów:

- *Wartość zadana* [°C]
- Parametry konfiguracyjne wbudowanego regulatora PID:
 - *Prop. gain* – wzmacnienie,
 - *Int.act.time* – czas opóźnienia,
 - *Deriv. act. time* – czas wyprzedzenia,
 - *Deriv. delay coeff.*
 - *Prop. act. weight*
 - *Deriv. act. weight*
 - *Sampling time*

Pola białe — prezentacja wartości:

- *Pomiar* – wartość mierzona,

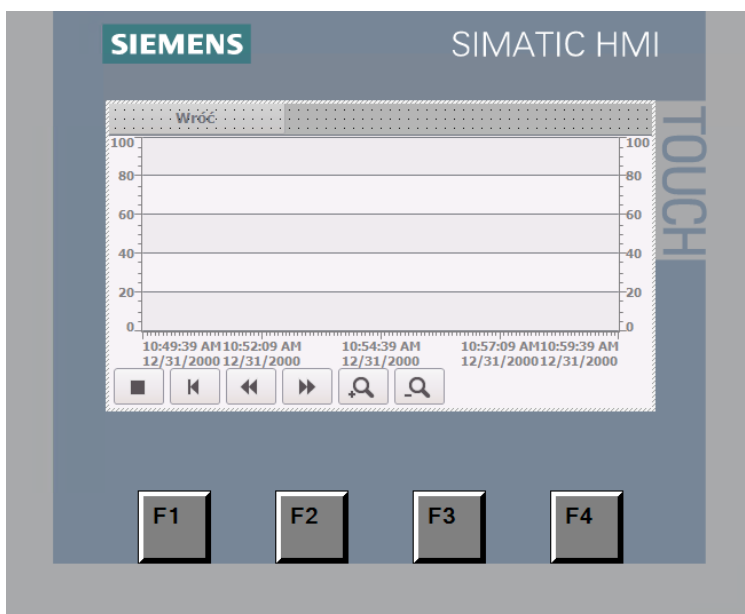
- *Wyjście [%]* - sygnał sterujący,
- *Tryb PID* – informacja o rodzaju pracy regulatora (tryb ręczny, tryb autotunig itp.)



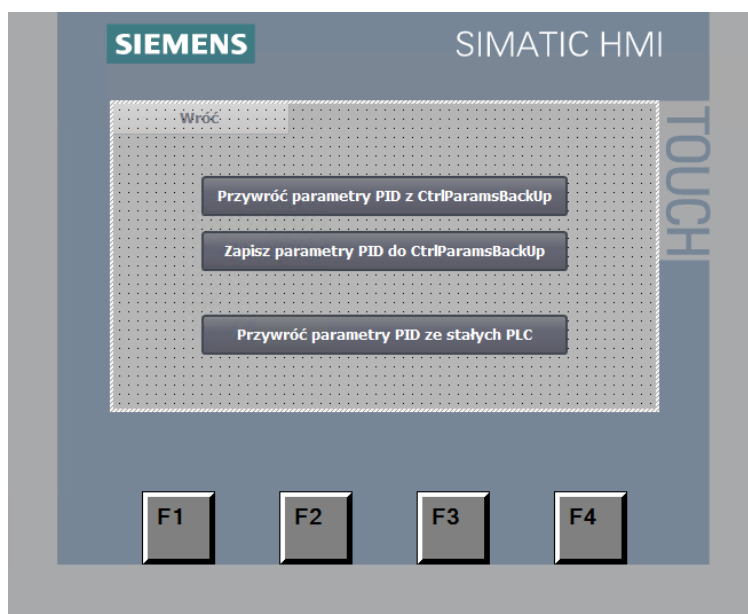
Rys. 2: Ekran główny na panelu HMI

Przyciski na ekranie:

- *Wykres* – przejście do ekranu wykresu (Rys. 3.);
- *Przywróć* – przejście do ekranu przywracania parametrów domyślnych regulatora PID (Rys.4.);
- *Błąd PID* – wyświetlanie informacji o błędach regulatora i kasowanie błędów.



Rys. 3: Ekran Wykres



Rys. 4: Ekran Przywróć

2. Instrukcja BHP

2.1. Wskazówki ogólne

1. Przed przystąpieniem do pracy należy zapoznać się z budową stanowiska dydaktycznego oraz rolą poszczególnych elementów wykonawczych, oraz z dokumentacją elektryczną przykładowego połączenia.
2. Nie wolno włączać stanowiska bez instruktażu i zezwolenia osoby prowadzącej zajęcia dydaktyczne.
3. Zasilanie stanowiska: 230V AC
4. Po zakończeniu zajęć należy wyłączyć zasilanie stanowiska, uporządkować miejsce pracy i jego otoczenie.

2.2. Konserwacja i przechowywanie stanowiska

1. Stanowisko należy przechowywać w pomieszczeniu zamkniętym.
2. W celu zabezpieczenia stanowiska przed nadmiernym zabrudzeniem należy regularnie przecierać konstrukcję delikatnie zwilżoną szmatką/gąbką lub przedmuchiwać sprężonym powietrzem.

2.3. Bezpieczeństwo pracy z urządzeniami elektrycznymi

1. Należy przestrzegać ogólnych przepisów użytkowania instalacji oraz szczegółowych zaleceń eksploatacyjnych urządzeń elektrycznych i elektronicznych.
2. Napięcie bezpieczne (robocze i dotyku) w zależności od warunków środowiskowych wynosi:
 - dla prądu przemiennego:
 - 50 V (pomieszczenia suche),
 - 25 V (pomieszczenia mokre i gorące);
 - dla prądu stałego:
 - 120 V (pomieszczenia suche),
 - 60 V (pomieszczenia mokre i gorące).
3. Skutki oddziaływania prądu przemiennego na człowieka:
 - $I > 25 \text{ mA}$ – początek skurczów mięśni;
 - $I > 70 \text{ mA}$ – początek migotania komór sercowych;
 - $I > 200 \text{ mA}$ – migotanie komór serca (skurcz mięśni sercowych – ograniczenie krążenia krwi);
 - $I > 3 \text{ A}$ – paraliż i zatrzymanie pracy serca;

- $I > 5 \text{ A}$ – zwęglenie tkanek organizmu.
4. Osobie, która uległa porażeniu prądem elektrycznym, należy bezzwłocznie udzielić pierwszej pomocy!

3. Ćwiczenia

3.1. Zapoznanie się z czujnikami temperatury oraz standaryzacją sygnałów do układów automatyki, budowa stanowiska

Pomiar temperatury

Kompletny tor pomiaru temperatury składa się z elementów:

1. Przetwornik fizyczny, który pod wpływem zmian temperatury zmienia jedną ze swoich właściwości, najlepiej elektrycznych, najczęściej rezystancję lub generowane napięcie.
2. Podłączenie elektryczne przetwornika fizycznego z układem pomiarowym, od którego zależy poprawność pracy poniższego.
3. Układ pomiarowy, który przetwarza właściwość przetwornika fizycznego na sygnał elektryczny.
4. Układ standaryzujący lub komunikacyjny, który posiada wyjście elektryczne analogowe (najczęściej 0-10 V lub 4-20 mA) odpowiadające określonemu zakresowi temperatury, lub wyjście cyfrowe, które udostępnia dane w określonym formacie i protokole komunikacyjnym.
5. Linii transmisyjnej, której rolą jest przekazać sygnał analogowy lub cyfrowy na większą odległość bez zakłóceń.
6. Odbiornika (np. sterownik PLC), który przetwarza sygnał analogowy na postać cyfrową lub dekoduje dane komunikacyjne.

Często w układach z wyjściem analogowym część 2 do 4 są połączone, nierozróżnialne.

W przypadku niektórych sterowników możliwe jest bezpośrednie podłączenie przetwornika fizycznego. W takim przypadku tor wygląda następująco: przetwornik fizyczny, linia transmisyjna, układ wejściowy PLC, układ standaryzujący.

Ponadto stosuje się także układy korygujące nieliniową charakterystykę przetwornika fizycznego. Najczęściej linearyzację wykonuje się w układzie pomiarowym lub cyfrowo.

Powszechnie wykorzystuje się następujące przetworniki fizyczne:

1. parametryczne – rezystancyjne (termorezystory) – pod wpływem temperatury zmieniają ich rezystancja:
 1. platynowe Pt100, Pt1000 – rezystancja rośnie wraz z temperaturą, wykonane z drutu platynowego, liczba określa rezystancję przy 0 °C
 2. NTC – rezystancja maleje wraz z temperaturą, najczęściej półprzewodnikowe o rezystancji 10kΩ przy 25 °C
2. generacyjne, najczęściej termopary/termoelementy – złożone z dwóch różnych metali, na połączeniu których powstaje różnica potencjałów – napięcie rzędu od kilku- do kilkuset mili-

woltów. Występuje kilka ustandaryzowanych termoelementów, charakteryzujących się określoną charakterystyką i zakresem pracy, oznaczane literowo, np.:

1. „K” – NiCr-NiAl, od -200 °C do 1200 °C,
2. „J” – Fe-CuNi, od -40 °C do 750 °C.

W przypadku czujników rezystancyjnych ważną kwestią jest podłączenie elektryczne przetwornika fizycznego z układem pomiarowym, który ma zmierzyć jego rezystancję. W najprostszym przypadku, gdy przetwornik (rezystor) jest podłączony dwoma przewodami z układem pomiarowym, ten „widzi” zsumowaną rezystancję przetwornika, przewodów oraz złączy. Należy zwrócić też uwagę, że rezystancja przewodów i złączy zmienia się z temperaturą nieliniowo, a ich temperatura nie jest ściśle związana z temperaturą mierzonego obiektu.

Aby pomiar był dokładniejszy stosuje się połączenia trzy- i czteroprzewodowe. W przypadku ostatniego każda strona rezystora posiada dwa wyprowadzenia. Najczęściej jeden komplet wyprowadzeń używa się do pobudzenia przetwornika małym, stałym prądem. W efekcie na drugim komplecie wyprowadzeń pojawia się napięcie równe iloczynowi prądu oraz rezystancji przetwornika (z pominięciem przewodów i złączy). Układ pomiarowy mierzy napięcie i uzyskuje informacje o rezystancji przetwornika.

W przypadku czujników generacyjnych (termopar) złącze jest najczęściej wykonane przez zgrzanie lub zlutowanie dwóch drutów wykonanych z różnych metali. Dwa druty metalowe muszą zostać doprowadzone do układów elektronicznych i do nich podłączone. Należy zwrócić uwagę na to, że każde połączenie dwóch metali skutkuje pojawieniem się zjawiska termoelektrycznego. Poza właściwą termoparą przetwornika fizycznego mamy też złącza na przyłączach elektrycznych. Ważne jest, aby wszystkie punkty podłączenia termopary miały jednakową temperaturę.

Często spotyka się połączenie przetwornika z układem pomiarowym (i standaryzującym) w jednej obudowie, np.:



*Rys. 5: Przykład czujnik z przetwornikiem,
źródło: www.hcsklep.pl*

Poza samą kwestią zmian zachodzących w czujniku pod wpływem temperatury należy zwrócić także uwagę na jego montaż. Właściwe wykonanie umożliwia:

1. fizyczne zamocowanie czujnika na obiekcie, kontakt z materiałem mierzonym;
2. ochronę przetwornika przed skrajnymi temperaturami (np. pomimo tego, że Pt100 może pracować temperaturach kriogenicznych, to niewłaściwie obudowany rezystor uległby uszkodzeniu mechanicznemu wskutek naprężeń mechanicznych po schodzeniu);
3. oddzielenie termiczne przetwornika od elektroniki – dotyczy przetworników zintegrowanych.

W analogowych torach pomiarowych w automatyce stosuje się dwa standardy sygnałów:

1. Napięciowy 0-10 V – czujnik posiada minimum trzy przyłącza elektryczne: zasilanie +, wyjście sygnału 0-10 V, masa (wspólna dla zasilania i sygnału). Czujnik podaje między wyjście sygnałowe a masę napięcie proporcjonalne do temperatury. Interpretacja napięcia (przeliczenie na temperaturę) zależy od indywidualnej kalibracji czujnika, np. dla zakresu 20-120 °C: 0 V → 20 °C, 10 V → 120 °C.
2. Prądowy 4-20 mA – czujnik posiada minimum dwa przyłącza: zasilanie/sygnał +, zasilanie/sygnał –. Często taki dwuprzewodowy czujnik można podłączyć na dwa sposoby:
 1. „+” do górnego potencjału zasilania, „–” do wejścia prądowego odbiornika – prąd wpływa do odbiornika;
 2. „–” do dolnego potencjału zasilania, „+” do wejścia prądowego odbiornika – prąd wypływa z odbiornika.

Czujniki z wyjściem prądowym występują też w wersjach 3- i więcej przewodowych. W takich rozwiązaniach najczęściej nie ma dowolności podłączania pętli prądowej do odbiornika – czujnik posiada stałe podłączenia zasilania oraz wyjście sygnałowe, które w zależności od wykonania działa na prądzie wypływającym lub wpływającym.

Podobnie jak w czujnikach z wyjściem napięciowym wartość sygnału prądowego odpowiada temperaturze i zależy od indywidualnej kalibracji, np. dla zakresu 0-100 °C: 4 mA → 0°C, 20 mA → 100 °C.

Dokładność pomiaru temperatury zależy od wszystkich części składowych toru pomiarowego:

1. dokładności wykonania przetwornika, odporności na czynniki środowiskowe
2. toru elektrycznego – odporności na zakłócenia, brak zniekształcania sygnału
3. układów elektronicznych – poprawność przetwarzania układu z przetwornika, poprawność konwersji analogowo-cyfrowej, linearyzacja, nieczułość na zmiany temperatury otoczenia.

Sterowanie grzałką

Sterowanie mocą grzałki wymaga kontroli średniej wartości prądu grzałek. Za uwagi na problematyczne regulowanie ciągłe wartości prądu nie stosuje się tej metody. Dużo łatwiej i taniej jest załączać i wyłączać grzałki przez przekaźniki mechaniczne lub półprzewodnikowe (SSR – ang. Solid

State Relay). Z reguły układy termiczne charakteryzują się dużą bezwładnością i z powodzeniem można zastosować sterowanie ON/OFF lub PWM. Nadal z uwagi na dużą bezwładność cieplna sygnał PWM może być niskiej częstotliwości, rzędu 0,1 – 1 Hz.

Stanowisko

W omawianym stanowisku zastosowano pomiar temperatury na termorezystorze Pt100 ze zintegrowanym przetwornikiem 0-10 V i zakresem przetwarzania 0-100 °C.

Grzanie bloku jest zrealizowane na dwóch rezystorach dużej mocy o rezystancji 22 Ω każdy. Rezystory mogą być włączane/wyłączane z obwodu przy użyciu przycisków bistabilnych S5 i S6.

Sygnał grzania steruje przekaźnikiem SSR załączającym zasilanie do grzałek. W przekaźniku jest wbudowana dioda LED sygnalizująca jego załączenie.

Do bloku grzejnego jest także przymocowany wentylator przyspieszający chłodzenie. Może on być włączony za pomocą przycisku S7.

3.2. Ćwiczenie nr 1. Identyfikacja elementów, zapoznanie ze stanowiskiem

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową stanowiska oraz funkcjami poszczególnych elementów wykonawczych.

Program ćwiczenia

1. Podłącz zasilanie do stanowiska. Używając multimetru zmierz napięcie na wyjściu przetwornika temperatury (listwa zaciskowa, linie 4 i 5). Ile wynosi temperatura?
2. Podłącz wyjście przetwornika do wejścia analogowego sterownika PLC i skonfiguruj go właściwie do obsługi podłączonego sygnału. Użyj monitora pracy sterownika (lub napisz odpowiedni program) żeby obserwować wartość wejściową sygnału analogowego.
3. Napisz program przeliczający sygnał z przetwornika analogowego na temperaturę. Obserwuj jego działanie.
4. Podłącz sterowanie grzaniem (listwa zaciskowa, linia 3) do wyjścia sterownika PLC (przełącznikowego lub tranzystorowego). Użyj monitora pracy sterownika (lub napisz odpowiedni program) żeby włączać i wyłączać grzałkę.

3.3. Ćwiczenie nr 2. Implementacja algorytmu regulacji dwustanowej

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z działaniem regulacji ON/OFF i nabycie umiejętności ręcznej implementacji algorytmu.

Program ćwiczenia

1. Napisz program, w którym grzałka będzie włączona jeśli temperatura jest niższa od określonej wartości progowej.
2. Zmodyfikuj program tak, aby wartość nie była zapisana na stałe w kodzie lecz pobierana ze zmiennej – wartość zadana. Daje to możliwość zmiany progu załączenia w trakcie działania programu.
3. Zmodyfikuj program tak, aby wprowadzić histerezę pracy grzałki. Na przykład utwórz drugi próg, który będzie o 2 °C niższy od wartości zadanej i będzie załączał grzałkę. Gdy wartość mierzona przekroczy zadaną, to grzałka zostanie wyłączona.

3.4. Ćwiczenie nr 3. Implementacja algorytmu regulacji ciągłej P, PI – dla wybranych typów sterowników PLC

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest stworzenie algorytmu sterowania regulatorem typu P oraz PI

Program ćwiczenia

1. Napisz program który będzie zapewniał obsługę wyjścia PWM. Ustaw częstotliwość pracy wyjście na około 1 Hz. Zmieniaj wartość sygnału wyjściowego (wypełnienie) o 0 do 100 % i obserwuj diodę LED przekaźnika SSR.
2. Rozszerz program o obliczanie różnicy między wartością zadaną a mierzoną – uchyb regulacji.
3. Wprowadź do programu współczynnik proporcjonalności regulatora typu P. Przemnóż przez niego uchyb i uzyskaną wartością wysteruj wyjście PWM. Pamiętaj o:
 1. właściwy kierunek regulacji (znak uchybu) – im wartość wejściowa jest mniejsza od zadanej, tym bardziej powinniśmy grzać
 2. właściwy format każdej liczby
 3. właściwy zakres wartości sterującej PWM

Jak napisany regulator będzie działał dla różnych wartości współczynnika P?

4. Rozszerz program do regulatora PI. W tym na przykład dopisz kod który będzie okresowo (np. co 100 ms) dodawał uchyb do zmiennej tworzącej całkę. Pamiętaj w przemnożeniu pierw uchybu przez współczynnik I. Na koniec dodaj wartość całki i wyjścia członu P. Nie zapomnij skontrolować wartości granicznych otrzymanego wyniku przed przekazaniem go to wysterowania wyjścia PWM.

Jak napisany regulator będzie działał dla różnych wartości współczynnika opóźnienia I oraz proporcjonalności P?

3.5. Ćwiczenie nr 4. Obsługa wbudowanego regulatora PID – dla wybranych typów sterowników PLC

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest nauka obsługi wbudowanego regulatora PID.

Program ćwiczenia

Napisz program, w którym wykorzystasz wbudowany w sterownik regulator.

Pamiętaj o właściwym formacie wartości wejściowych i wyjściowych.

4. Załączniki

1. *Przykład programu demonstracyjnego PLC i HMI*