

LABORATORIUM

1. Sprawdzić możliwość sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem – w szczególności sygnałów sterujących W1, G1 oraz pomiaru T1. Określić wartość pomiaru

temperatury w punkcie pracy ($G1 = 25 + \star$, gdzie \star oznacza numer zespołu).

Sprawdzono możliwość sterowania i komunikacji ze stanowiskiem.
Przeprowadzono pomiar temperatury w punkcie pracy $G1=32$, który wyniósł:
 $T1=40$ stopni C.

2. Przeprowadzić eksperyment mający na celu określenie wzmacnienia w funkcji sterowania: dla kolejnych wartości sterowania: 20, 30, ..., 80 pozyskać wartość ustabilizowanego sygnału wyjściowego. Narysować otrzymany przebieg. Narysować na jego podstawie punkty tworzące charakterystykę statyczną (można dokonać jej aproksymacji). Czy właściwości statyczne obiektu można określić jako (w przybliżeniu) liniowe?

Jeżeli tak, określić wzmacnienie statyczne procesu.

Przeprowadzono eksperyment mający na celu określenie wzmacnienia sterowania. Ustawiono kolejno wartości sterowania równe: 20, 30, 40, ..., 80, 90, następnie pozyskano wartości ustabilizowanego sygnału wyjściowego.

Na podstawie przebiegów uzyskano charakterystykę statyczną oraz dokonano jej aproksymacji

Charakterystyka statyczna pokazuje, że właściwości statyczne obiektu nie są liniowe, wartości sygnału wyjściowego w zależności od sygnału wejściowego nie zachowują się liniowo.

3. Dla trajektorii zmian sygnałów zadanych: T_{pp} , $T_{pp} + 5$, $T_{pp} + 15$, T_{pp} przetestować

regulatory z laboratorium 1 (tj. wykorzystywane dla obiektu liniowego). Omówić wyniki. Jakość regulacji ocenić jakościowo (na podstawie rysunków przebiegów sygnałów) oraz ilościowo, wyznaczając wskaźnik jakości regulacji. Zamieścić

wyniki pomiarów (przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu oraz wartości wskaźnika E).

Regulatory PID oraz DMC opracowane na laboratorium 1 dla obiektu liniowego zostały przetestowane dla obiektu nieliniowego. Ustawiono trajektorię zmian sygnałów zadanych $T = 39.4, 44.4, 54.4, 39.4$

Wyniki:

Jakość regulacji: jakościowa, ilościowa

Ocena jakości regulacji na podstawie rysunków przebiegów sygnałów polega na ocenie jakościowej, analizowane są takie kryteria jak czas regulacji czy przeregulowanie. Na podstawie tych kryteriów oceny dobierane są nastawy regulatora PID.

Ocena jakości regulacji ilościowa polega na wyznaczaniu wskaźnika jakości regulacji, którym jest suma kwadratów uchybów, a k_{konc} oznacza ilość kroków symulacji.

$$E = \sum_{k=1}^{k_{\text{konc}}} (y_{\text{zad}}(k) - y(k))^2$$

Ocena jakości regulacji jakościowa jest metodą mniej dokładną od oceny ilościowej, nie występuje tam obliczenia a jedynie analiza rysunków przebiegów. Podczas analizy rysunku osoba oceniająca jakość regulacji narażona jest na mało precyzyjne wnioski, gdyż należy wtedy zwracać uwagę na skalę rysunku i wiele innych parametrów. Ocena ilościowa nie bierze pod uwagę takich czynników jak np. oscylacje, jedynym kryterium jest suma kwadratów uchybów. Jeżeli do oceny jakości regulacji wymagane są inne kryteria niż podany wskaźnik jakości należy rozpatrzyć metodę oceny jakościowej.

Wyniki PID

Wskaźnik jakości błędu wyniósł $E =$

Jakość regulacji jest bardzo niska, powodem jest nieliniowość obiektu, jeden klasyczny regulator PID niewykorzystujący rozmycia daje bardzo słabe wyniki, ponieważ jego parametry dostosowane są do obiektu liniowego.

Wyniki DMC

Wskaźnik jakości błędu wyniósł $E=$

Jakość regulacji jest bardzo niska analogicznie do regulatora PID, powodem jest nieliniowość obiektu, jeden klasyczny regulator DMC niewykorzystujący rozmycia daje bardzo słabe wyniki, ponieważ jego parametry dostosowane są do obiektu liniowego.

4. W tym samym programie zaimplementować rozmyty algorytm PI lub PID. Dla tej samej trajektorii zmian sygnału wartości zadanej spróbować dobrać parametry lokalnych algorytmów PI (PID) w taki sposób, aby osiągnąć lepszą jakość regulacji w porównaniu z regulatorem klasycznym (pojedynczym). Wykonać eksperymenty dla 3 regulatorów lokalnych. Omówić proces doboru parametrów i zamieścić uzyskane przebiegi regulacji.

Poprzez zastosowanie wielu lokalnych regulatorów dla poszczególnych punktów pracy zaimplementowano rozmyty algorytm PID. Wybór regulatora dokonywany jest dzięki funkcji przynależności. Jako funkcja przynależności posłużyła nam funkcja trapezoidalna. Funkcja ta zawiera współczynniki, które definiują jak duży wpływ na dane wyjście ma dany regulator w badanym obszarze. Dobór tych współczynników został przeprowadzony poprzez obserwacje zachowania obiektu. Dla każdego z lokalnych regulatorów PID należało dobrać parametry osobno w jego punkcie pracy, w tym celu została opracowana funkcja optymalizująca je, wykorzystano do niej wbudowaną funkcję programu MATLAB `fmincon`. Ostatecznie regulatory zostały połączone w funkcji. Dzięki wykorzystaniu rozmytego algorytmu PID możemy zniwelować problem nieliniowości obiektu.

Eksperyment został wykonany dla 3 regulatorów lokalnych.

Obszary działania regulatorów:

Nastawy regulatorów:

Regulator 1: $K = T_i = T_d =$

Regulator 2: $K = T_i = T_d =$

Regulator 3: $K = T_i = T_d =$

Wnioski:

Dobrze dobrana funkcja przynależności i dobrze nastrojone regulatory lokalne dadzą znacznie lepszą jakość regulacji niż jeden klasyczny regulator bez rozmycia.

5. W tym samym programie zaimplementować rozmyty algorytm DMC w najprostszej wersji analitycznej, o parametrach $N_u = N = D$ i $\lambda = 1$. Dla powyższej trajektorii zmian sygnału wartości zadanej wykonać eksperymenty dla różnych 3 regulatorów lokalnych. Zamieścić wyniki eksperymentów.

Eksperyment został wykonany dla 3 różnych regulatorów lokalnych.

Parametry regulatora 1: $N_u = N = D = 21$ i $\lambda = 1$

wynik

Parametry regulatora 2: $N_u = N = D =$ i $\lambda = 1$

Parametry regulatora 3: $N_u = N = D =$ i $\lambda = 1$

6. Spróbować dobrać parametry określające karę za przyrosty sterowania lokalnych algorytmów DMC metodą eksperymentalną. Zamieścić wybrane wyniki eksperymentów.

$\Lambda = ?$

PROJEKT

1. Sprawdzić poprawność podanego punktu pracy.
2. Wyznaczyć symulacyjnie odpowiedzi skokowe procesu dla kilku zmian sygnału sterującego, przy uwzględnieniu ograniczeń wartości tego sygnału, jego wartość na początku eksperymentu wynosi 0. Narysować te odpowiedzi na jednym rysunku. Narysować charakterystykę statyczną procesu $y(u)$. Czy właściwości statyczne i dynamiczne procesu są liniowe?
3. Napisać i omówić program w języku MATLAB do symulacji cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC (w najprostszej wersji analitycznej) dla symulowanego procesu.

Teoria z poprzednich proj

4. Dla zaproponowanej trajektorii zmian sygnału zadanego (kilka skoków o różnej wartości, przyjąć możliwie duże zmiany punktu pracy, wynikające z charakterystyki statycznej) dobrać nastawy regulatora PID i parametry algorytmu DMC (dowolną metodą). Omówić metodę doboru nastaw i uzasadnić jej zastosowanie. Jakość regulacji oceniać jakościowo (na podstawie rysunków przebiegów sygnałów) oraz ilościowo, wyznaczając wskaźnik jakości regulacji

k_{konc}

$$E = \sum_{k=1}^{k_{\text{konc}}} (y^{\text{zad}}(k) - y(k))^2$$

$k=1$

gdzie k_{konc} oznacza koniec symulacji (zawsze taki sam). Zamieścić wyniki symulacji

PID

Regulator został nastrojony metodą Zieglera-Nicholsa .

Założenia teoretyczne

Metoda Zieglera-Nicholsa polega na nastawieniu regulatora na działanie proporcjonalne i zwiększaniu wzmocnienia doprowadzając układ do granicy stabilności. W stanie na granicy stabilności (oscylacje niegasnące) należy odczytać współczynnik wzmocnienia krytycznego układu K_k oraz okres oscylacji T_k . Na podstawie tych wartości obliczamy nastawy regulatora P,PI oraz PID za pomocą współczynników zawartych w tabeli:

Typ regulatora	K_r	T_i	T_d
P	$0,5K_k$	-	-

PI	$0,45K_k$	$0,85T_k$	-
PID	$0,6K_k$	$0,5T_k$	$0,12T_k$

Parametry regulatora PID:

DMC

TO samo co w proj 1

Do doboru nastaw regulatora DMC zastosowano metodę inżynierską, która polega na przeprowadzeniu doświadczeń i analizy uzyskanych wyników. Na podstawie wyciągniętych wniosków modyfikowane są nastawy regulatora. Parametry dobierane są metodą prób i błędów, aż do osiągnięcia oczekiwanych wyników.

Horyzont dynamiki D jest to liczba współczynników odpowiedzi skokowej, tzn. liczba kroków dyskretyzacji, po której można uznać odpowiedź skokową za stabilną równą K_{stat} . Wyznaczona ona została z odpowiedzi skokowej obiektu poprzez wyznaczenie z niej chwili, w której odpowiedź jest stabilna.

Horyzont predykcji N jest to wartość na podstawie, której prognozuje się zachowanie modelu. Zwiększając ten parametr uzyskaliśmy bardzo dobry czas regulacji oraz praktycznie zerowe przesterowanie.

Horyzont sterowania N_u tak jak horyzont predykcji jest parametrem dostrajania regulatora, zależnymi od szybkości dynamiki procesu, możliwości obliczeniowych oraz dokładności modelu, eksperymentalnie dobrano wartość tego parametru.

Ostatnim krokiem w dostrajaniu naszego regulatora było wyznaczenie współczynnika kary λ , za pomocą którego można zapewnić kompromis pomiędzy szybkością regulacji, a postacią sygnału sterującego. Ponownie było on wyznaczany metodą testowania. Zwiększenie współczynnika kary pogorszyło wynik działania regulatora, został więc on zmniejszony.

Jakość regulacji:

Ocena jakości regulacji na podstawie rysunków przebiegów sygnałów polega na ocenie jakościowej, analizowane są takie kryteria jak czas regulacji czy przeregulowanie. Na podstawie tych kryteriów oceny dobierane są nastawy regulatora PID.

Ocena jakości regulacji ilościowa polega na wyznaczaniu wskaźnika jakości regulacji, którym

jest suma kwadratów uchybów, a k_{konc} oznacza ilość kroków symulacji.

k_{konc}

$$E = \sum_{k=1}^{k_{\text{konc}}} (y_{\text{zad}}(k) - y(k))^2$$

$k=1$

Ocena jakości regulacji jakościowa jest metodą mniej dokładną od oceny ilościowej, nie występuje tam obliczenia a jedynie analiza rysunków przebiegów. Podczas analizy rysunku osoba oceniająca jakość regulacji narażona jest na mało precyzyjne wnioski, gdy należy wtedy zwracać uwagę na skalę rysunku i wiele innych parametrów. Ocena ilościowa nie bierze pod uwagę takich czynników jak np. oscylacje, jedynym kryterium jest suma kwadratów uchybów. Jeżeli do oceny jakości regulacji wymagane są inne kryteria niż podany wskaźnik jakości należy rozpatrzyć metodę oceny ilościowej.

PID 1 BEST

Nastawy: $K = 0.145$ $T_i = 3.3$ $T_d = 1.03$ $E = 299.244$

Z4PIDBEST

PID Finniczek

Nastawy: $K = 0.185$ $T_i = 7.3$ $T_d = 3.03$ $E = 1588.894$

Z4PIDFinniczek

PID Kondziu

Nastawy: $K = 0.23$ $T_i = 2.09$ $T_d = 0.87$ $E = 375.087$

Z4PIDKondziu

DMC 1

$D = 70$ $N = 50$ $N_u = 6$ $\Lambda = 25$ $E = 223.852$

Z4DMC

Wnioski: Dla obu regulatorów dobrano nastawy oraz przeprowadzono wiele eksperymentów w celu polepszenia jakości ich regulacji. Do optymalizacji nastaw regulatorów posłużono się wbudowaną funkcją matlaba `fmincon`. Mimo tego dla nieliniowego obiektu klasyczne pojedyncze regulatory osiągnęły słabą jakość regulacji a błędy dla najlepszych wynosiły:

PID – $E = 229.244$

DMC – $E = 223.852$

5. W tym samym programie zaimplementować i omówić rozmyty algorytm PID i rozmyty algorytm DMC w najprostszej wersji analitycznej. Uzasadnić wybór zmiennej, na podstawie której dokonywane jest rozmywanie. Uzasadnić wybór i kształt funkcji przynależności.

Poprzez zastosowanie wielu lokalnych regulatorów dla poszczególnych punktów pracy zaimplementowano rozmyte algorytmy PID oraz DMC. Wybór regulatora dokonywany jest dzięki funkcji przynależności. Jako funkcja przynależności posłużyła nam funkcja trapezoidalna. Funkcja ta zawiera współczynniki, które definiują jak duży wpływ na dane wyjście ma dany regulator w badanym obszarze. Dobór tych współczynników został przeprowadzony poprzez obserwacje zachowania obiektu. Dla każdego z lokalnych regulatorów PID oraz DMC należało dobrać parametry osobno w jego punkcie pracy, w tym celu zostały przeprowadzone eksperymenty, parametry dobrane zostały metodą inżynierską. Ostatecznie regulatory zostały połączone w funkcji. Dzięki wykorzystaniu rozmytego algorytmu PID oraz DMC możemy zniwelować problem nieliniowości obiektu. Rozmywanie dokonywane jest na podstawie charakterystyki statycznej, dobór parametrów na podstawie aktualnej wartości sygnału wyjściowego y . Kształt trapezoidalny funkcji przynależności został wybrany na podstawie eksperymentów, dla trapezoidalnej funkcji wagi zmieniają się proporcjonalnie. Kształt trapezu pozwala na utrzymanie wartości 1 co w przypadku trójkątnej nie jest możliwe, natomiast na ramionach trapezu można dobrze uzupełniać funkcje przynależności równie dobrze jak w trójkątnej.

6. Dobrać parametry każdego z lokalnych regulatorów w taki sposób, aby osiągnąć możliwie wysoką jakość regulacji w okolicach jego punktu pracy (przyjąć dla DMC $\lambda = 1$). Wykonać, dla założonej trajektorii zmian sygnału wartości zadanej, eksperymenty uwzględniając różną liczbę regulatorów lokalnych (2, 3, 4, 5, ...).

Zamieścić wyniki symulacji.

Funkcje przynależności

Funkcja przynależności dla 2 regulatorów DMC

Podział na dwa obszary pracy:

1: -4.7747 : -0.08;

2: -0.08 : 0.15;

Wykres przynależności

Funkcja przynależności dla 3 regulatorów DMC

Podział na trzy obszary pracy:

1: -4.7747 : -0.25;

2: -0.25 : 0.15

Wykres przynależności

Funkcja przynależności dla 4 regulatorów DMC

Podział na cztery obszary pracy:

1: -4.7747 : -0.35;

2: -0.35 : -0.18;

3: -0.18 : 0.07

4: 0.07 : 0.15

Wykres przynalN4

Funkcja przynależności dla 5 regulatorów DMC

Podział na pięć obszarów pracy:

1: -4.7747 : -0.35;

2: -0.35 : -0.12;

3: -0.12 : -0.04

4: -0.04 : 0.08

5: 0.08 : 0.15

Wykres PrzynalN5

PID

PID2:

Nastawy regulatora PID1: $K = 0.1323$ $T_i = 3.626$ $T_d = 1.00$

Nastawy regulatora PID2: $K = 0.1629$ $T_i = 1.00$ $T_d = 1.00$

Wskaźnik jakości $E = 238.787$

Wykres Z5PID2

PID3:

Nastawy regulatora PID1: $K = 0.1323$ $T_i = 3.626$ $T_d = 0.10$

Nastawy regulatora PID2: $K = 0.1433$ $T_i = 1.333$ $T_d = 0.10$

Nastawy regulatora PID3: $K = 0.1629$ $T_i = 1.00$ $T_d = 0.10$

Wskaźnik jakości $E = 229.783$

Wykres Z5PID3

PID4:

Nastawy regulatora PID1: $K = 0.132$ $T_i = 3.626$ $T_d = 0.10$

Nastawy regulatora PID2: $K = 0.149$ $T_i = 1.462$ $T_d = 0.10$

Nastawy regulatora PID3: $K = 0.136$ $T_i = 1.015$ $T_d = 0.10$

Nastawy regulatora PID4: $K = 0.206$ $T_i = 1.000$ $T_d = 0.10$

Wskaźnik jakości $E = 244.452$

Wykres Z5PID4

PID5:

Nastawy regulatora PID1: $K = 0.132$ $T_i = 3.626$ $T_d = 0.10$

Nastawy regulatora PID2: $K = 0.154$ $T_i = 1.587$ $T_d = 0.10$

Nastawy regulatora PID3: $K = 0.131$ $T_i = 1.015$ $T_d = 0.10$

Nastawy regulatora PID4: $K = 0.164$ $T_i = 1.000$ $T_d = 0.10$

Nastawy regulatora PID5: $K = 0.213$ $T_i = 1.000$ $T_d = 0.10$

Wskaźnik jakości $E = 235.314$

Wykres Z5PID5

DMC

DMC2:

Nastawy regulatora DMC1: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC2: $D = N = Nu = \lambda = 1$

DMC3:

Nastawy regulatora DMC1: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC2: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC3: $D = N = Nu = \lambda = 1$

DMC4:

Nastawy regulatora DMC1: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC2: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC3: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC4: $D = N = Nu = \lambda = 1$

DMC5:

Nastawy regulatora DMC1: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC2: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC3: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC4: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC5: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Wnioski: Wykorzystanie rozmytego algorytmu regulacji dla obu regulatorów daje lepsze wyniki jakości regulacji w stosunku do pojedynczego regulatora liniowego.

W przypadku regulatorów PID najlepszy okazał się regulator rozmyty składający się z 3 regulatorów lokalnych. Wynika z tego, że większa ilość regulatorów lokalnych nie gwarantuje lepszej jakości regulacji.

W przypadku regulatorów DMC najlepszy okazał się regulator rozmyty składający się z regulatorów lokalnych. Wynika z tego, że większa ilość regulatorów lokalnych nie gwarantuje lepszej jakości regulacji.

7. Dla zaproponowanej trajektorii zmian sygnału zadanego oraz dla różnej liczby regulatorów lokalnych (2, 3, 4, 5, ...) spróbować dobrać parametry λ dla każdego z lokalnych regulatorów DMC. Zamieścić wyniki symulacji.

DMC2:

Nastawy regulatora DMC1: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC2: $D = N = Nu = \lambda = 1$

DMC3:

Nastawy regulatora DMC1: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC2: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC3: $D = N = Nu = \lambda = 1$

DMC4:

Nastawy regulatora DMC1: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC2: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC3: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC4: $D = N = Nu = \lambda = 1$

DMC5:

Nastawy regulatora DMC1: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC2: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC3: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC4: $D = N = Nu = \lambda = 1$

Nastawy regulatora DMC5: $D = N = Nu = \lambda = 1$

