

Projektowanie układów sterowania : laboratorium 1, zespół ★

Temat: implementacja, weryfikacja poprawności działania i dobór parametrów algorytmów regulacji jednowymiarowego procesu laboratoryjnego.

Podstawą oceny za laboratorium jest sporządzone w systemie LaTeX sprawozdanie. Podczas pracy należy korzystać z pakietu MATLAB. Do obsługi stanowiska przygotowane zostały funkcje, które pozwalają na odczyt pomiarów, ustawienie nowego sterowania, oczekiwanie na kolejną iterację (tj. uaktualnienie pomiarów). W trakcie zajęć należy wykorzystać wiedzę z projektu 1. w zakresie implementacji regulatorów PID oraz DMC. Użyte w ramach tego laboratorium stanowisko zostało opisane w osobnym dokumencie.

Stanowisko wykorzystane do realizacji tego laboratorium składa się z grzałki G1, wentylatora W1 oraz czujnika temperatury T1. Sygnałem sterującym jest moc grzania (0-100%) grzałką G1, sygnałem wyjściowym jest pomiar wykonany przez czujnik temperatury T1 (temperatura w °C) natomiast wentylator W1 należy traktować jako cecha otoczenia – jego użycie pozwala przyspieszyć opadanie temperatury zmierzonej na czujniku T1. Moc W1 musi wynosić 50%. Czas próbkowania jest równy 1 s. W czasie trwania laboratorium należy wykonać następujące zadania:

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 $G1 = 25 + \star \bmod 5$.
2. Wyznaczyć odpowiedzi skokowe procesu dla trzech różnych zmian sygnału sterującego G1 rozpoczynając z punktu pracy. Narysować otrzymane przebiegi na jednym rysunku. Czy właściwości statyczne obiektu można określić jako (w przybliżeniu) liniowe? Jeśli tak wyznaczyć wzmocnienie statyczne procesu?
3. Przekształcić jedną z otrzymanych odpowiedzi w taki sposób, aby otrzymać odpowiedź skokową wykorzystywaną w algorytmie DMC, tzn. zestaw liczb s_1, s_2, \dots (przy skoku jednostkowym sygnału sterującego: od chwili $k = 0$ włącznie sygnał sterujący ma wartość 1, w przeszłości jest zerowy). Zamieścić rysunek odpowiedzi skokowej. Należy wykonać aproksymację odpowiedzi skokowej używając w tym celu członu inercyjnego drugiego rzędu z opóźnieniem (szczegóły w opisie znajdującym się na stronie przedmiotu). W celu doboru parametrów modelu wykorzystać optymalizację. Zamieścić rysunek porównujący odpowiedź skokową oryginalną i wersję aproksymowaną. Uzasadnić wybór parametrów optymalizacji.
4. Napisać program w języku MATLAB do regulacji cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC (w najprostszej wersji analitycznej) dla procesu stanowiska. Uwzględnić istniejące ograniczenia wartości sygnału sterującego $0 \leq G1(k) \leq 100$.
5. Dla zaproponowanej trajektorii zmian sygnału zadanego (dwa skoki o różnej amplitudzie) dobrać nastawy regulatora PID i parametry algorytmu DMC metodą eksperymentalną. Omówić wyniki i ewentualne sposoby poprawy jakości regulacji. Jakość regulacji oceniać jakościowo (na podstawie rysunków przebiegów sygnałów) oraz ilościowo, wyznaczając wskaźnik jakości regulacji. Zamieścić wybrane wyniki pomiarów (przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu oraz wartości wskaźnika E).

Projektowanie układów sterowania : laboratorium 2, zespół ★

Temat: implementacja, weryfikacja poprawności działania i dobór parametrów algorytmów regulacji jednowymiarowego procesu laboratoryjnego z pomiarem zakłócenia.

Podstawą oceny za laboratorium i projekt jest sporządzone w systemie LaTeX sprawozdanie. Użyte w ramach tego laboratorium stanowisko zostało opisane w osobnym dokumencie zamieszczonym w zespole przedmiotu.

Stanowisko wykorzystane do realizacji tego laboratorium składa się z grzałki G1, wentylatora W1 oraz czujnika temperatury T1. Sygnałem sterującym jest moc grzania (0-100%) grzałką G1, sygnałem wyjściowym jest pomiar wykonany przez czujnik temperatury T1 (temperatura w °C) natomiast wentylator W1 należy traktować jako cecha otoczenia – moc W1 musi wynosić 50%. Jako sygnał zakłócający Z zostanie wykorzystana **także** grzałka G1. Jest to sygnał o **nieznanym wzmocnieniu**. Do pracy w tej konfiguracji wymagane będzie użycie funkcji `sendControlsToG1AndDisturbance`, która przyjmuje dwa argumenty. Są to kolejno moc grzałki G1 i wartość zakłócenia. Czas próbkowania jest równy 1 s. W czasie trwania laboratorium należy wykonać następujące zadania:

1. Sprawdzić możliwość sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem – w szczególności sygnałów sterujących W1, G1, Z oraz pomiaru T1. Określić wartość pomiaru temperatury w punkcie pracy $Z = 0$, $G1 = 25 + \star \bmod 5$.
2. Wyznaczyć odpowiedzi skokowe toru zakłócenie-wyjście procesu dla trzech różnych zmian sygnału zakłócającego Z rozpoczynając z punktu pracy. Narysować otrzymane przebiegi na jednym rysunku. Czy właściwości statyczne obiektu można określić jako (w przybliżeniu) liniowe? Jeżeli tak, określić wzmocnienie statyczne tego toru procesu.
3. Przygotować odpowiedzi skokowe wykorzystywane w algorytmie DMC, tzn. zestaw liczb s_1, s_2, \dots oraz s_1^z, s_2^z, \dots . Zamieścić rysunki odpowiedzi skokowych. Należy wykonać aproksymację odpowiedzi skokowych. W celu można wykorzystać dowolne narzędzie. Zamieścić rysunek porównujący odpowiedź skokową oryginalną i wersję aproksymowaną. Opisać zastosowaną metodę (pozwalając na odtworzenie procesu aproksymacji) oraz uzasadnić wybór wszystkich parametrów z tym związanych.
4. Napisać i omówić program w języku MATLAB do regulacji algorytmu DMC (w najprostszej wersji analitycznej) dla procesu stanowiska. Dobrać parametry D , N , N_u , λ algorytmu DMC przy skokowej zmianie sygnału wartości zadanej i zerowym zakłóceniu. Uwzględnić istniejące ograniczenia wartości sygnału sterującego $0 \leq G1(k) \leq 100$.
5. Dobrać parametr D^z . Założyć, że oprócz zmian sygnału wartości zadanej następuje skokowa zmiana sygnału zakłócenia z wartości 0 do ok. 30 (zmiana ta ma miejsce po osiągnięciu przez proces wartości zadanej wyjścia). Uwzględnić co najmniej dwie zmiany sygnału zakłócenia. Zamieścić wybrane wyniki eksperymentu. Pokazać, że uwzględnienie pomiaru zakłócenia prowadzi do lepszej regulacji niż gdy brak jest tego pomiaru – porównać wyniki eksperymentu z regulatorem nie uwzględniającym pomiaru zakłóceń.

Projektowanie układów sterowania : laboratorium 3, zespół ★

Temat: implementacja, weryfikacja poprawności działania i dobór parametrów algorytmów regulacji jednowymiarowego procesu laboratoryjnego o istotnie nieliniowych właściwościach.

Podstawą oceny za laboratorium i projekt jest sporządzone w systemie L^AT_EX sprawozdanie. Użyte w ramach tego laboratorium stanowisko zostało opisane w osobnym dokumencie zamieszczonym w plikach przedmiotu.

Podczas laboratorium badania prowadzone będą dotyczyły procesu o jednym wejściu i jednym wyjściu. W tym celu wykorzystane zostanie stanowisko z następującymi elementami: sterowanie – grzałka G1, pomiar – czujnik temperatury T1, stałe sterowanie wentylator W1. Sygnał sterujący G1 może zmieniać się z w zakresie (0-100 %), sygnał wyjściowy to pomiar wykonywany przez czujnik temperatury T1 (temperatura w °C), natomiast wentylator W1 należy traktować jako cechę otoczenia – jego użycie pozwala przyspieszyć opadanie temperatury zmierzonej na czujniku T1. Sterowanie W1 musi wynosić 50 %. Czas próbkowania jest równy 1 s. Sterowanie obiektem odbywa się przy użyciu funkcji `sendNonlinearControls(u)`, która wprowadza nieliniowość na wejściu obiektu u.

W czasie trwania laboratorium należy wykonać następujące zadania:

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 $G1 = 25 + \star \bmod 5$.
2. Przeprowadzić eksperyment mający na celu określenie wzmocnienie 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 wzmocnienie statyczne procesu.
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).
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.
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 3 regulatorów lokalnych. Zamieścić wyniki eksperymentów.
6. Spróbować dobrać parametry określające karę za przyrosty sterowania lokalnych algorytmów DMC metodą eksperymentalną. Zamieścić wybrane wyniki eksperymentów.

Projektowanie układów sterowania : laboratorium 4, zespół ★

Temat: weryfikacja modeli, implementacja i dobór parametrów algorytmów regulacji oraz wizualizacja złożonego procesu laboratoryjnego.

Podstawą oceny za laboratorium jest sporządzone w systemie LaTeX sprawozdanie. Podczas pracy należy korzystać z pakietu MATLAB, oprogramowanie GX Works, GX Log Viewer i GT Designer. Do obsługi stanowiska grzejąco-chłodzącego przygotowany został szablon, który pozwala na odczyt pomiarów oraz ustawienie nowego sterowania z użyciem protokołu MODBUS RTU. Do obsługi stanowiska INTECO wykorzystane zostanie połączenie analogowe – szczegóły w osobnej instrukcji.

Podczas laboratorium badania prowadzone będą dotyczyły dwóch procesów:

- stanowiska grzejąco-chłodzącego – proces o dwóch wejściach (grzałki G1 i G2), dwóch wyjściach (temperatury T1 i T3), przy stałej pracy wentylatorów W1 oraz W2 z połową mocy maksymalnej, obiekt z założenia jest symetryczny (tj. wpływ G1 na T1 jest taki sam jak wpływ G2 na T3, a wpływ G1 na T3 jest taki sam jak wpływ G2 na T1), na proces nałożone muszą być ograniczenia $0\% \leq G1 \leq 100\%$, $0\% \leq G2 \leq 100\%$. **Należy zastosować czas próbkowania równy 4 s.**
- stanowiska INTECO – konfiguracja zależna od przypisanego do zespołu stanowiska (wyboru stanowiska dla zespołu dokonuje prowadzący).

Implementacja algorytmów regulacji **musi** zostać wykonana na sterowniku. Środowisko MATLAB służy wyłącznie do generacji kodu (np. macierzy do regulatora DMC), akwizycji danych oraz ich ewentualnej analizy/obróbki. Komunikacja między sterownikiem a MATLABem jest jednostronna (sterownik wysyła, MATLAB odbiera dane).

Aby rozpocząć wykonywanie zadań związanych ze stanowiskiem INTECO (zadania od 7 do 12) należy zakończyć pracę ze stanowiskiem grzejąco-chłodzącym (zadania od 1 do 6).

W czasie trwania laboratorium należy wykonać następujące zadania:

1. Sprawdzić możliwość sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem – w szczególności sygnałów sterujących W1, W2, G1, G2, oraz pomiarów T1, T3. Określić wartości temperatur w punkcie pracy: sterowanie $G1 = 25 + \star \bmod 5$, $G2 = 30 + \star \bmod 5$, $W1 = W2 = 50$, T1 oraz T3 do zmierzenia.
2. Zaimplementować na sterowniku mechanizm zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska – przy przekroczeniu temperatury 250°C (tj. w wypadku uszkodzenia czujnika) grzałka sąsiadująca z czujnikiem, który zmierzył niebezpieczną temperaturę musi zostać wyłączona.
3. Zaimplementować na sterowniku regulator PID dwupętlowy oraz dobrać jego nastawy. Implementacja musi być wykonana samodzielnie, tj. nie wolno korzystać z gotowej funkcji PID sterownika. Uwzględnić ograniczenia. Zamieścić implementację oraz wykresy w sprawozdaniu.
4. Zaimplementować na sterowniku regulator DMC 2×2 w wersji oszczędnej obliczeniowo (analitycznej). Uwzględnić ograniczenia. Należy w tym celu pozyskać stosowną liczbę odpowiedzi skokowych – zamieścić gotowe modele w sprawozdaniu (użyć tej samej skali). Dobrać parametry regulatora DMC uwzględniając przy tym liczbę wykorzystanych rejestrów pamięci, czas obliczeń pojedynczej iteracji algorytmu oraz jakość regulacji – dobór uzasadnić. Zamieścić implementację oraz wykresy w sprawozdaniu.
5. Wyświetlić na panelu operatora wartości mierzone, zadane oraz sterowania. Zaprezentować je w najprostszej formie graficznej. Opisać w sprawozdaniu prezentowaną treść.

6. Zaimplementować automat stanów, na podstawie którego modyfikowane będą wartości zadane (uwzględnić przynajmniej 3 stany). Opisać implementację.
-
7. Zaimplementować na sterowniku mechanizm zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska (np. przepełnieniem zbiorników, zbytnim wychyleniem elementów ruchomych). Omówić zastosowane podejście.
 8. Spróbować wyznaczyć charakterystykę statyczną. Omówić wyniki.
 9. Zaimplementować regulator PID (wielopętlowy jeśli trzeba) do współpracy ze stanowiskiem INTECO. Regulator(y) dostroić. Omówić proces dobierania nastaw regulatorów. Uwzględnić ograniczenia jeśli istnieją. Zamieścić wykresy w sprawozdaniu.
 10. Używając wbudowanej w sterownik PLC funkcji PID zaimplementować (wielopętlowy jeśli trzeba) regulator do współpracy ze stanowiskiem INTECO. Regulator(y) dostroić, omówić proces dobierania nastaw regulatorów. Uwzględnić ograniczenia. Zamieścić wykresy w sprawozdaniu. Porównać wyniki z wynikami z punktu poprzedniego.
 11. Zaimplementować automat stanów, na podstawie którego modyfikowane będą wartości zadane (uwzględnić przynajmniej 3 stany). Opisać implementację.
 12. Przygotować wizualizację procesu:
 - jego szczegółową reprezentację graficzną,
 - wykres sygnałów wyjściowych, wartości zadanych oraz sterowania,
 - graf przejść automatu stanów.

Projektowanie układów sterowania (projekt grupowy): projekt 1, zespół ★

W pliku `symulacja_obiektu★y_p1.p` znajduje się funkcja symulująca działanie procesu. Umożliwia ona wyznaczenie sygnału wyjściowego procesu (y) w aktualnej chwili dyskretnej k zgodnie z zależnością, widoczną po wywołaniu w MATLABie:

`symulacja_obiektu★y_p1`

Wyjście to zależy od wartości sygnału wejściowego (u) i wyjściowego w poprzednich chwilach próbkowania. Wartości sygnału wejściowego (U_{pp}) i wyjściowego (Y_{pp}) w punkcie pracy (w stanie ustalonym), a także ograniczenia wartości sygnału sterującego (U^{\min} , U^{\max} , ΔU^{\max}) również są widoczne po wywołaniu powyższej instrukcji. Okres próbkowania wynosi 0,5 s.

1. Sprawdzić poprawność wartości U_{pp} , Y_{pp} .
2. Wyznaczyć symulacyjnie odpowiedzi skokowe procesu dla kilku zmian sygnału sterującego, przy uwzględnieniu ograniczeń wartości tego sygnału, jego wartość na początku eksperymentu wynosi U_{pp} . Narysować te odpowiedzi na jednym rysunku. Narysować charakterystykę statyczną procesu $y(u)$. Czy właściwości statyczne i dynamiczne procesu są (w przybliżeniu) liniowe? Jeżeli tak, określić wzmocnienie statyczne procesu.
3. Przekształcić jedną z otrzymanych odpowiedzi w taki sposób, aby otrzymać odpowiedź skokową wykorzystywaną w algorytmie DMC, tzn. zestaw liczb s_1, s_2, \dots (przy skoku jednostkowym sygnału sterującego: od chwili $k = 0$ włącznie sygnał sterujący ma wartość 1, w przeszłości jest zerowy). Zamieścić rysunek odpowiedzi skokowej.
4. Napisać i omówić program w języku MATLAB do symulacji cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC (w najprostszej wersji analitycznej) dla symulowanego procesu. Istniejące ograniczenia wartości sygnału sterującego oraz ograniczenie szybkości zmian tego sygnału

$$-\Delta U^{\max} \leq \Delta u(k) \leq \Delta U^{\max}$$

gdzie, uwzględnić odpowiednio ograniczając (przycinając) wyznaczony przez regulator sygnał sterujący.

5. Dla zaproponowanej trajektorii zmian sygnału zadanego (kilka skoków o różnej amplitudzie) dobrać nastawy regulatora PID i parametry algorytmu DMC metodą eksperymentalną. Jakość regulacji oceniać jakościowo (na podstawie rysunków przebiegów sygnałów) oraz ilościowo, wyznaczając wskaźnik jakości regulacji

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

gdzie k_{konc} oznacza koniec symulacji (zawsze taki sam). Zamieścić wybrane wyniki symulacji (przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu oraz wartości wskaźnika E).

6. Dla zaproponowanej trajektorii zmian sygnału zadanego dobrać nastawy regulatora PID i parametry algorytmu DMC (N , N_u , λ) w wyniku optymalizacji wskaźnika jakości regulacji E . Omówić dobór parametrów optymalizacji. Zamieścić wyniki symulacji dla optymalnych regulatorów.

Projektowanie układów sterowania (projekt grupowy): projekt 2, zespół ★

W pliku `symulacja_obiektu★y_p2.p` znajduje się funkcja symulująca działanie procesu. Umożliwia ona wyznaczenie sygnału wyjściowego procesu (y) w aktualnej chwili dyskretnej k zgodnie z zależnością, widoczną po wywołaniu w MATLABie:

`symulacja_obiektu★y_p2`

Wyjście to zależy od wartości sygnału wejściowego (u), mierzonego zakłócenia (z) i sygnału wyjściowego w poprzednich chwilach próbkowania. Wartości sygnałów w punkcie pracy (w stanie ustalonym) mają wartość $u = y = z = 0$. Okres próbkowania wynosi 0,5 s.

1. Sprawdzić poprawność podanego punktu pracy.
2. Wyznaczyć symulacyjnie odpowiedzi skokowe torów wejście-wyjście i zakłócenie-wyjście procesu dla kilku zmian sygnału sterującego. Narysować te odpowiedzi, oddzielnie dla obydwu torów. Narysować charakterystykę statyczną procesu $y(u, z)$. Czy właściwości statyczne i dynamiczne procesu są (w przybliżeniu) liniowe? Jeżeli tak, określić wzmocnienie statyczne obu torów procesu.
3. Wyznaczyć odpowiedzi skokowe obu torów wykorzystywane w algorytmie DMC, tzn. zestaw liczb s_1, s_2, \dots oraz s_1^z, s_2^z, \dots (przy skoku jednostkowym, odpowiednio sygnału sterującego i zakłócającego: od chwili $k = 0$ włącznie sygnał wymuszenia ma wartość 1, w przeszłości jest zerowy). Zamieścić rysunki odpowiedzi skokowych obu torów.
4. Napisać program w języku MATLAB do symulacji algorytm DMC w najprostszej wersji analitycznej. Dobrać parametry D, N, N_u, λ algorytmu DMC przy skokowej zmianie sygnału wartości zadanej z 0 do 1 i zerowym zakłóceniu. Jakość regulacji oceniać jakościowo (na podstawie rysunków przebiegów sygnałów) oraz ilościowo, wyznaczając wskaźnik jakości regulacji

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

gdzie k_{konc} oznacza koniec symulacji (zawsze taki sam). Zamieścić wybrane wyniki symulacji (przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu oraz wartości wskaźnika E).

5. Założyć, że oprócz zmian sygnału wartości zadanej następuje skokowa zmiana sygnału zakłócenia z wartości 0 do 1 (zmiana ta ma miejsce po osiągnięciu przez proces wartości zadanej wyjścia). Dobrać parametr D^z . Zamieścić wybrane wyniki symulacji. Pokazać, że pomiar zakłócenia i jego uwzględnienie prowadzi do lepszej regulacji niż gdy brak jest tego pomiaru.
6. Sprawdzić działanie algorytmu przy zakłóceniu zmiennym sinusoidalnie. Zamieścić wybrane wyniki symulacji przy uwzględnieniu i nie uwzględnieniu mierzonego zakłócenia w algorytmie.
7. Dla dobranych parametrów algorytmu zbadać jego odporność przy błędach pomiaru sygnału zakłócenia (szum pomiarowy). Rozważyć kilka wartości błędów. Zamieścić wybrane wyniki symulacji.

Projektowanie układów sterowania (projekt grupowy): projekt 3, zespół ★

W pliku `symulacja_obiektu★y_p3.p` znajduje się funkcja symulująca działanie procesu. Umożliwia ona wyznaczenie sygnału wyjściowego procesu (y) w aktualnej chwili dyskretnej k zgodnie z zależnością, widoczną po wywołaniu w MATLABie:

`symulacja_obiektu★y_p3`

Wyjście to zależy od wartości sygnału wejściowego (u) i sygnału wyjściowego w poprzednich chwilach próbkowania. Wartości sygnałów w punkcie pracy (w stanie ustalonym) mają wartość $u = y = 0$. Okres próbkowania wynosi 0,5 s. Wartość sygnału sterującego jest ograniczona: $-1 \leq u \leq 1$. We wszystkich algorytmach regulacji uwzględnić ograniczenia odpowiednio ograniczając (przycinając) wyznaczony przez regulator sygnał sterujący.

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.
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

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

gdzie k_{konc} oznacza koniec symulacji (zawsze taki sam). Zamieścić wyniki symulacji oraz wartości wskaźnika jakości E .

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.
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.
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.

Projektowanie układów sterowania (projekt grupowy): projekt 4, zespół ★

W pliku `symulacja_obiektu★y_p4.p` znajduje się funkcja symulująca działanie procesu o czterech wejściach u_1, u_2, u_3, u_4 i trzech wyjściach y_1, y_2, y_3 – zależność między wyjściami a wejściami można zobaczyć poprzez wywołanie

`symulacja_obiektu★y_p4`

W punkcie pracy (w stanie ustalonym) $u_1 = u_2 = u_3 = u_4 = y_1 = y_2 = y_3 = 0$. Okres próbkowania wynosi 0,5 s.

1. Sprawdzić poprawność podanego punktu pracy.
2. Wyznaczyć odpowiedzi skokowe 12 torów procesu, tzn. zestaw liczb $s_1^{m,n}, s_2^{m,n}, \dots$ dla $m = 1, 2, 3$ i $n = 1, 2, 3, 4$ (przy pojedynczych skokach jednostkowych odpowiednich sygnałów sterujących: od chwili $k = 0$ włącznie sygnał wymuszenia ma wartość 1, w przeszłości jest zerowy). Zamieścić rysunki odpowiedzi skokowych wszystkich torów procesu (zastosować taką samą skalę na wszystkich rysunkach).
3. Napisać program w języku MATLAB do symulacji cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC (w najprostszej wersji analitycznej) dla symulowanego procesu.
4. Dla zaproponowanej trajektorii zmian sygnałów zadanych (kilka skoków o różnej amplitudzie) dobrać nastawy regulatora PID i parametry algorytmu DMC metodą eksperymentalną. Jakość regulacji oceniać jakościowo (na podstawie rysunków przebiegów sygnałów) oraz ilościowo, wyznaczając wskaźnik jakości regulacji

$$E = \sum_{k=1}^{k_{\text{konc}}} \sum_{m=1}^3 (y_m^{\text{zad}}(k) - y(k))^2$$

gdzie k_{konc} oznacza koniec symulacji (zawsze taki sam). Zamieścić wybrane wyniki symulacji (przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu oraz wartości wskaźnika E). W przypadku algorytmu PID rozważyć kilka możliwych konfiguracji regulatora, tzn. uchyb e_1 pierwszego wyjścia oddziałuje na pierwszy sygnał sterujący u_1 , uchyb e_2 oddziałuje na u_2 , uchyb e_3 oddziałuje na u_3 itd. Zamieścić wybrane wyniki symulacji.

5. Dla zaproponowanej trajektorii zmian sygnału zadanego dobrać nastawy regulatora PID i parametry algorytmu DMC ($\mu_1, \mu_2, \mu_3, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$, natomiast horyzonty D, N, N_u przyjąć stałe) w wyniku optymalizacji wskaźnika jakości regulacji E . Zamieścić wyniki symulacji.
6. Zaimplementować również algorytm DMC w wersji klasycznej (tj. wyznaczający trajektorię sterowania na całym horyzoncie sterowania). Sprawdzić, czy na pewno otrzymane wyniki symulacji dla wybranego zestawu parametrów są takie same jak w wersji klasycznej.