Podstawy Automatyki

Politechnika Poznańska
Katedra Sterowania i Inżynierii Systemów

ĆWICZENIE 7

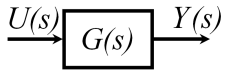
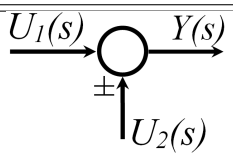
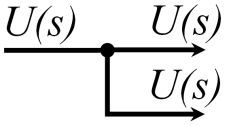
Schematy blokowe liniowych układów regulacji automatycznej.

Celem ćwiczenia jest zaprezentowanie blokowej metody zapisu układów dynamicznych. Podczas ćwiczenia studenci zapoznają się z podstawowymi zasadami przekształcania schematów blokowych oraz zweryfikują symulacyjnie słuszność tych przekształceń.
Ponadto przedstawiony zostanie podstawowy układ regulacji automatycznej SISO (Single Input Single Output) z ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Porównanie działania URA dla różnych sygnałów zadanych, różnych struktur i wartości parametrów regulatora, pozwoli na ocenę jakości i efektywności pracy analizowanych układów regulacji.

1 Wprowadzenie

1.1 Schematy blokowe

Niezwykle przydatnym i obrazowym sposobem opisu zależności pomiędzy poszczególnymi elementami dynamicznymi, opisanymi za pomocą transmitancji, są schematy blokowe. Dana transmitancja, czy inaczej człon elementarny w schematach blokowych, jest oznaczana w postaci bloku (Rys. 1 a). Do każdego bloku jest doprowadzany sygnał wejściowy $U(s)$ oznaczony strzałką. Następnie sygnał ten jest poddawany operacji operatorowej określonej przez transmitancję, dając w efekcie sygnał wyjściowy $Y(s)$. Zależności pomiędzy elementami dynamicznymi można określić przez oznaczenie odpowiedniego przepływu sygnałów.

a). Elementarny człon dynamiczny	b). Węzeł sumujący	c). Węzeł zaczepowy
		

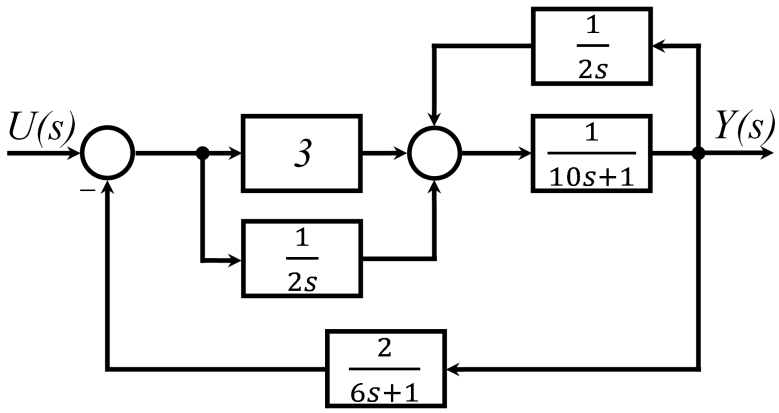
Tablica 1: Podstawowe elementy schematów blokowych.

W każdym schemacie blokowym można wyróżnić trzy rodzaje elementów:

- elementarne człony dynamiczne (Rys. 1 a): transformata sygnału wyjściowego jest zawsze równa iloczynowi transformaty sygnału wejściowego i transmitancji tego członu - $Y(s) = G(s)U(s)$;
- węzły sumacyjne (Rys. 1 b): sygnał wyjściowy jest wynikiem dodawania lub odejmowania co najmniej dwóch sygnałów wejściowych, przy czym ujemny znak sygnału wejściowego jest zawsze oznaczony minusem przy grocie strzałki;

- węzły zaczepowe (Rys. 1 c): umożliwiają doprowadzenie tego samego sygnału do kilku punktów schematu blokowego.

Przykładowy schemat blokowy przedstawiono na Rys. 1.



Rysunek 1: Przykładowy schemat blokowy.

Drogą przekształcenia schematu blokowego można najbardziej złożony układ uprościć do jednego członu z ukierunkowanym wejściem i wyjściem, a zatem można uzyskać transmitancję zastępczą badanego układu. Przekształcanie odbywa się z reguły "krok po kroku" stosując zasady przekształcania schematów blokowych, zebranych w tabeli 2. Podczas przekształcania schematów blokowych należy zachować niezmienność sygnałów w części układu nie podlegającej przekształceniom. Aby zweryfikować zastosowane przekształcenie należy sprawdzić czy przejście od pewnego wejścia do określonego wyjścia przed i po przekształceniu pozostaje takie samo. Przykładowo, dla oryginalnego układu ze sprzężeniem zwrotnym z tabeli 2, przy założeniu, że za węzłem sumacyjnym występuje pomocniczy sygnał E, można napisać następujące równania:

$$\begin{cases} E(s) = U(s) \pm Y(s)G_2(s); \\ Y(s) = G_1(s)E(s). \end{cases}$$

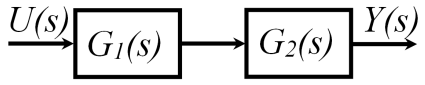
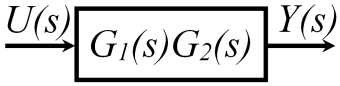
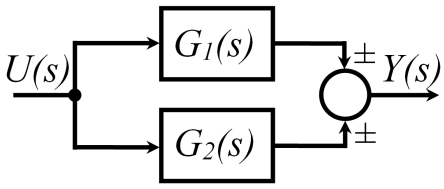
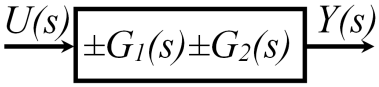
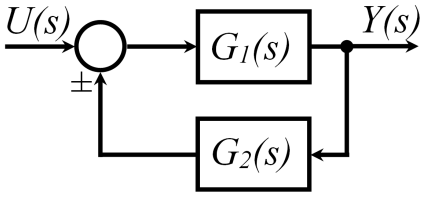
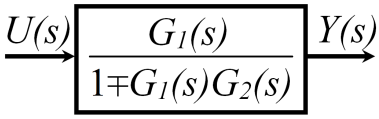
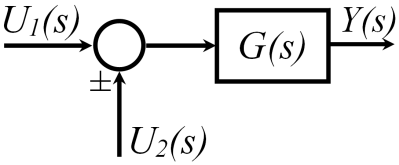
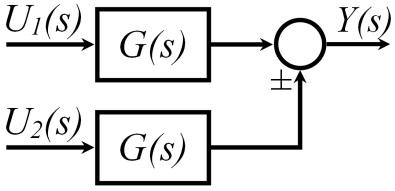
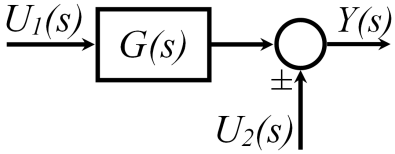
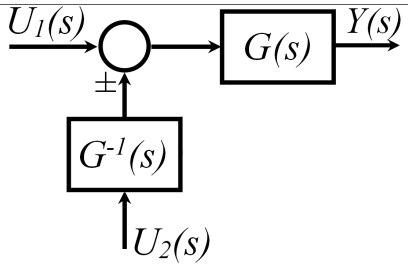
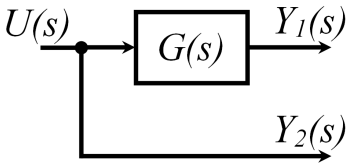
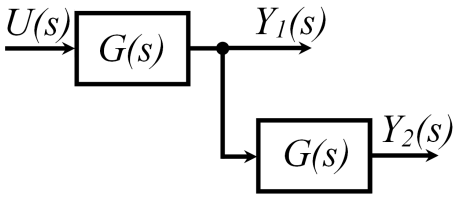
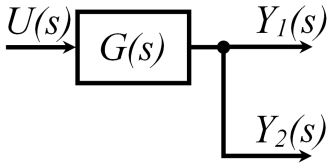
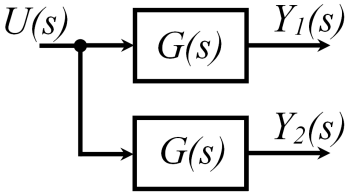
Po podstawieniu pierwszego równania do drugiego oraz po przekształceniach można otrzymać:

$$Y(s) = G_1(s)U(s) \pm Y(s)G_1(s)G_2(s);$$

$$Y(s)(1 \mp G_1(s)G_2(s)) = G_1(s)U(s);$$

$$Y(s) = \frac{G_1(s)}{1 \mp G_1(s)G_2(s)}U(s) = G_z(s)U(s). \tag{1}$$

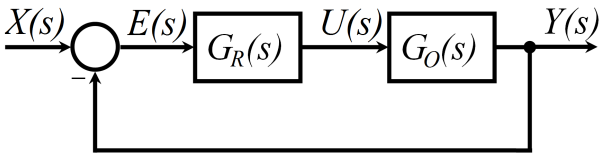
Przy czym $G_z(s)$ w równaniu 1 oznacza transmitancję zastępczą układu. Po zastosowanym przekształceniu układ ze sprzężeniem zwrotnym zostaje uproszczony do jednego członu z jednym wejściem i jednym wyjściem.

Opis	Schemat oryginalny	Schemat uproszczony
Połączenie szeregowe		
Połączenie równoległe		
Sprzężenie zwrotne		
Przesuwanie sumatora za obiekt		
Przesuwanie sumatora przed obiekt		
Przesuwanie węzła zaczepowego za obiekt		
Przesuwanie węzła zaczepowego przed obiekt		

Tablica 2: Zasady przekształcania schematów blokowych.

1.2 Podstawowy Układ Regulacji Automatycznej

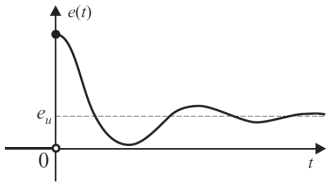
Proces sterowania, inaczej regulacji, polega na takim oddziaływaniu na obiekt sterowania, aby jego sygnały wyjściowe osiągnęły pożądaną wartość. Podstawowy schemat układu regulacji automatycznej jest przedstawiony na Rys. 2.



Rysunek 2: Podstawowy Układ Regulacji Automatycznej.

W procesie regulacji określone zadanie jest zdefiniowane jako $X(s)$, czyli sygnał zadany. Stan aktualny układu (inaczej sygnał wyjściowy), określony jako $Y(s)$ jest zwracany do układu regulacji za pomocą sprzężenia zwrotnego. Następnie zostaje obliczona różnica pomiędzy wartością zadaną a rzeczywistą, nazwana **uchybem** $E(s)$. Uchyb jest przekazywany do regulatora, o transmitancji $G_r(s)$. Na podstawie prawa sterowania regulator oblicza sygnał sterujący $U(s)$ i przekazuje go do obiektu o transmitancji $G_O(s)$.

Zadanie URA polega na utrzymywaniu równości pomiędzy wartością zadaną $X(s)$ a rzeczywistą $Y(s)$. Jednak utrzymanie tej równości może być wykonane z ograniczoną dokładnością. Zatem zadanie to definiuje się jako **zmniejszanie uchybu regulacji**. Wymaganie dokładności w stanie ustalonym jest jednym z podstawowych wymagań stawianych układowi regulacji. Miarą dokładności statycznej jest wartość uchybu ustalonego (e_u), którego wartość ustala się po zaniknięciu procesów przejściowych. Graficzna reprezentacja uchybu ustalonego jest przedstawiona na Rys. 3.

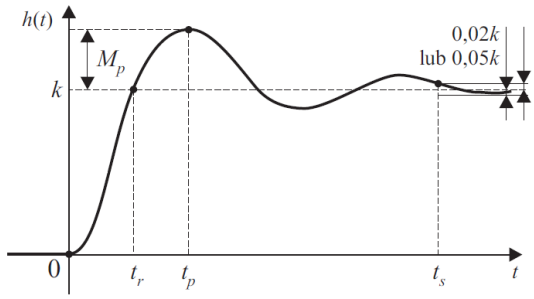


Rysunek 3: Przebieg czasowy wartości uchybu wraz z oznaczeniem wartości uchybu ustalonego.

Ważne jest również zapewnienie odpowiedniego przebiegu stanu przejściowego, a więc dynamicznych właściwości układu regulacji. Z przebiegiem charakterystyki skokowej $h(t)$ związane są następujące wskaźniki czasowe jakości regulacji (Rys. 4):

- czas narastania (t_r): czas potrzebny, aby charakterystyka skokowa osiągnęła wartość ustaloną (lub wzrosła od 10% do 90% tej wartości);
- czas regulacji (t_s): czas trwania stanu przejściowego; czas od chwili pobudzenia do chwili, gdy charakterystyka wpadnie w tunel, w otoczeniu wartości ustalonej (przyjmuje się odchyłkę równą 2% lub 5% wartości ustalonej);
- przeregulowanie (M_p): różnica pomiędzy wartością odpowiedzi skokowej w stanie ustalonym, a maksymalną wartością w stanie przejściowym.

Aby uzyskać wymagane właściwości dynamiczne i statyczne układu, stosuje się regulatory o różnej strukturze oraz różnych właściwościach dynamicznych. Najbardziej znanym regulatorem jest regulator *PID*, czyli trójczłonowy regulator Proporcjonalno - Całkująco - Różniczkujący (*ang.*



Rysunek 4: Czasowe wskaźniki jakości procesu sterowania.

Proportional Integral Derivative). Podczas niniejszych zajęć omawiane będą jedynie człony P oraz I.

Regulator typu P składa się z elementu wzmacniającego, a jego transmitancja jest opisana następującą zależnością:

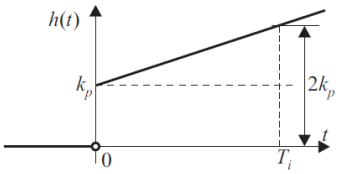
$$G_{R_P}(s) = k_p \tag{2}$$

przy czym wartość k_p jest wzmocnieniem regulatora, a jego wartość jest dobierana indywidualnie do danego zadania. Zastosowanie regulatora tego typu powoduje przyspieszenie reakcji regulatora na zmiany wartości uchybu. Wartość sygnału sterującego wynosi : $u(t) = k_p e(t)$. Zwiększenie k_p powoduje zmniejszanie czasu narastania i uchybu ustalonego, ale zwiększa wartość przeregulowania. Wartość parametru nie wpływa na czas regulacji.

Regulator typu PI składa się z członu wzmacniającego oraz członu całkującego, a jego transmitancja jest opisana zależnością:

$$G_{R_{PI}}(s) = k_p + \frac{k_p}{T_i s} \tag{3}$$

przy czym wartość T_i jest czasem zdwojenia, czyli czasem, po którym człon całkujący generuje wartość sterowania równą wartości sterowania członu proporcjonalnego (Rys. 5). Parametrami projektowymi regulatora PI są stałe k_p oraz T_i. Wartość sygnału sterującego wynosi: $u(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(\tau) d\tau \right)$. Zwiększenie wartości T_i powoduje zwiększanie czasu narastania, zmniejszenie przeregulowania i czasu regulacji oraz powoduje, że uchyb ustalony dąży do zera.



Rysunek 5: Czas zdwojenia.

2 Przekształcanie schematów blokowych

2.1 Przeprowadzić uproszczenie schematu blokowego z Rys. 1. Obliczyć transmitancję zastępczą badanego układu.

2.2 W oknie *Simulinka* utworzyć schemat blokowy przedstawiony na Rys. 1 oraz jego uproszczoną wersję (wykorzystać blok *Transfer Fcn*).

2.3 Przeprowadzić symulację obu układów przy wymuszeniu sinusoidalnym oraz skokowym oraz wyświetlić odpowiedź we wspólnym oknie *Scope*. Na podstawie otrzymanych wykresów określić czy schemat z Rys. 1 oraz jego uproszczona wersja wykazują takie same właściwości dynamiczne.

3 Podstawowy Układ Regulacji Automatycznej

W opisywanym ćwiczeniu rozważane będą dwa obiekty sterowania:

- obiekt dwuinercyjny o transmitancji postaci:

$$G_1(s) = \frac{k_1}{(sT_{11}+1)(sT_{12}+1)};$$

- obiekt trzeciego rzędu z pojedynczym biegunem zerowym o transmitancji postaci:

$$G_2(s) = \frac{k_2}{s(sT_{21}+1)(sT_{22}+1)}.$$

Wartości parametrów transmitancji określa prowadzący. Wszystkie poniższe zadania należy wykonać dla **obu** obiektów.

3.1 Obliczyć bieguny transmitancji. W oparciu o uzyskane bieguny ocenić jaki charakter będzie miała odpowiedź skokowa systemu.

3.2 Zamodelować uzyskaną transmitancję w postaci odpowiedniego bloku dynamicznego w środowisku *Simulink* i przeprowadzić symulację odpowiedzi skokowej obiektu.

3.3 Zamknąć ujemną pętlę sprzężenia zwrotnego zgodnie z Rys. 2 (bez regulatora) i ponownie przeprowadzić symulację odpowiedzi skokowej. Zaobserwować zmiany w odpowiedzi skokowej.

3.4 Zamknąć dodatnią pętlę sprzężenia zwrotnego (bez regulatora) oraz przeprowadzić symulację odpowiedzi skokowej. Przeanalizować przebieg odpowiedzi skokowej i sygnału sterującego.

3.5 Zamodelować system dynamiczny z regulatorem proporcjonalnym zgodnie z równaniem 2.

3.6 Przeprowadzić symulacje odpowiedzi układu zamkniętą i otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego dla skokowego (blok *Step*) i prędkościowego (blok *Ramp*) sygnału zadanego.

3.7 Przeanalizować przebiegi uchybów $e(t)$ oraz sygnałów sterujących $u(t)$.

3.8 Porównać zachowanie się systemów z otwartą i zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego.

3.9 Przeanalizować wpływ wartości wzmocnienia k_p regulatora na wartość uchybu ustalonego, przeregulowania, czasu regulacji i czasu narastania.

3.10 Zamodelować układ regulacji automatycznej z regulatorem proporcjonalno - całkującym zgodnie z równaniem 3.

3.11 Powtórzyć kroki 3.6 - 3.9 dla regulatora PI (w kroku 3.9 przeanalizować również wpływ wartości T_i).