

CHARAKTERYSTYKI ELEMENTÓW AUTOMATYKI

SPIS TREŚCI

Pojęcia podstawowe	1
Fundamenty automatyki i automatyzacji	1
Podstawy sterowania	1
Modelowanie obiektów automatyki	4
Pytania kontrolne	5
Charakterystyki statyczne	6
Typy charakterystyk statycznych	6
Podstawowe człony automatyki	7
Charakterystyki statyczne dla członów podstawowych	7
Pytania kontrolne	12
Literatura	12

POJĘCIA PODSTAWOWE

FUNDAMENTY AUTOMATYKI I AUTOMATYZACJI

Automatyka jest dziedziną nauki i techniki zajmującą się projektowaniem, analizą i eksploatacją układów służących do automatycznego sterowania oraz regulacji procesów technicznych przy ograniczonym udziale człowieka.

Praktycznym zastosowaniem osiągnięć automatyki jest **automatyzacja**, rozumiana jako proces wdrażania układów sterowania w celu ograniczenia lub wyeliminowania bezpośredniego udziału człowieka w realizacji procesów technologicznych, przyczyniając się do zwiększenia wydajności, bezpieczeństwa i powtarzalności realizowanych procesów.

PODSTAWY STEROWANIA

Układ sterowania stanowi zespół współpracujących elementów, których zadaniem jest oddziaływanie na obiekt w celu uzyskania określonego zachowania obiektu.

Podstawowymi elementami układu sterowania są:

- **obiekt sterowania** – procesy lub urządzenia, których działanie podlega sterowaniu,
- **urządzenia sterujące (np. sterowniki lub regulatory)** – wyznacza sygnał sterujący na podstawie przyjętego algorytmu sterowania,
- **elementy pomiarowe (czujniki, przetworniki)** – mierzą wartości wielkości charakteryzujących stan obiektu,
- **elementy wykonawcze** (siłowniki, silniki, wzmacniacze mocy, nastawniki) – realizują sygnały sterujące, oddziałując bezpośrednio na obiekt.

Przepływ informacji pomiędzy elementami układu sterowania odbywa się za pomocą sygnałów. Sygnał jest wielkością fizyczną, której zmiana reprezentuje określoną informację.

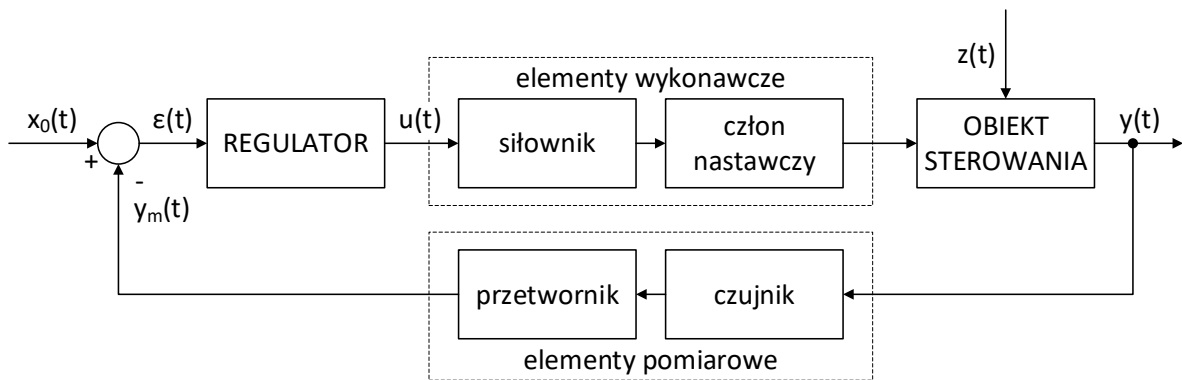
W układzie sterowania wyróżnia się:

- **sygnał zadany**, $x_0(t)$ – oczekiwaną wartość wielkości sterowanej,
- **sygnał sterujący**, $u(t)$ – generowany przez urządzenia sterujące doprowadzony do obiektu sterowania
- **sygnał zakłócający**, $z(t)$ – niekontrolowane sygnały wpływające na pracę obiektu,
- **sygnał wyjściowy**, $y(t)$ – wartość wielkości regulowanej, stanowiąca odpowiedź obiektu na sygnał sterujący i zakłócenia,
- **uchyb regulacji**, $\varepsilon(t)$ – różnica między sygnałem zadany i wyjściowym:

$$\varepsilon(t) = x_0(t) - y(t) \quad (1)$$

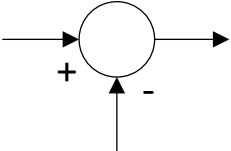
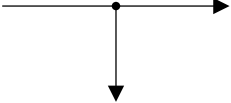
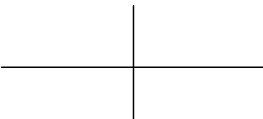
Relacje pomiędzy elementami układu oraz przepływ sygnałów przedstawia schemat blokowy (Rys. 1), w którym poszczególne elementy reprezentowane są w postaci bloków połączonych liniami odpowiadającymi przepływowi sygnałów.

Podstawowymi elementami schematów blokowych są bloki funkcjonalne reprezentujące poszczególne człony układu, elementy pomiarowe, linie sygnałowe określające kierunek przepływu informacji, punkty sumacyjne oraz rozgałęzienia sygnałów (Tab. 1). W układach regulacji dodatkowo wyróżnia się tor sprzężenia zwrotnego.



Rys. 1. Schemat blokowy układu regulacji automatycznej.

Tab. 1. Elementy schematów blokowych.

Nazwa	Symbol	Znaczenie
Doprowadzenie – przewód elektryczny / linia sygnałowa		Przedstawia drogę przepływu sygnału lub informacji pomiędzy elementami układu. Nie określa rodzaju przesyłanego sygnału, lecz wskazuje połączenie funkcjonalne między członami układu.
Strzałki przepływu sygnału		Określa kierunek przepływu sygnału w układzie oraz wskazuje zależność wejście–wyjście pomiędzy elementami.
Człon/obiekt sterowania		Reprezentuje element układu sterowania realizujący określoną funkcję przekształcenia sygnału. Może przedstawiać np. obiekt sterowania, regulator, element wykonawczy lub człon pomiarowy.
Instrument pomiarowy / element pomiarowy		Przedstawia urządzenie służące do pomiaru określonej wielkości fizycznej i przekształcenia jej w sygnał pomiarowy wykorzystywany w układzie sterowania.
Punkt sumacyjny (węzeł sumujący)		Umożliwia algebraiczne sumowanie sygnałów wejściowych. W układach regulacji najczęściej służy do wyznaczania uchybu jako różnicy pomiędzy wartością zadaną a wartością zmierzoną.
Punkt rozgałęzienia sygnału (węzeł zaczepowy)		Umożliwia rozdzielenie jednego sygnału na kilka torów przepływu bez zmiany jego wartości
Skrzyżowanie przewodów (bez połączenia)		Oznacza przecięcie dwóch linii sygnałowych, które nie są ze sobą połączone i nie następuje między nimi wymiana informacji.

Sterowanie polega na oddziaływaniu na obiekt w celu uzyskania wymaganego przebiegu wielkości sterowanej. Celem układu sterowania może być:

- **zadanie stabilizacji** – utrzymanie wielkości sterowanej na zadanym poziomie mimo występujących zakłóceń,
- **zadanie nadążania** – odwzorowanie zmiennej w czasie wartości zadanej przy zachowaniu możliwie małego uchybu,
- **zadanie kompensacji zakłóceń** – ograniczenie wpływu zakłóceń na wielkość sterowaną poprzez minimalizację wywołanego przez nie uchybu.

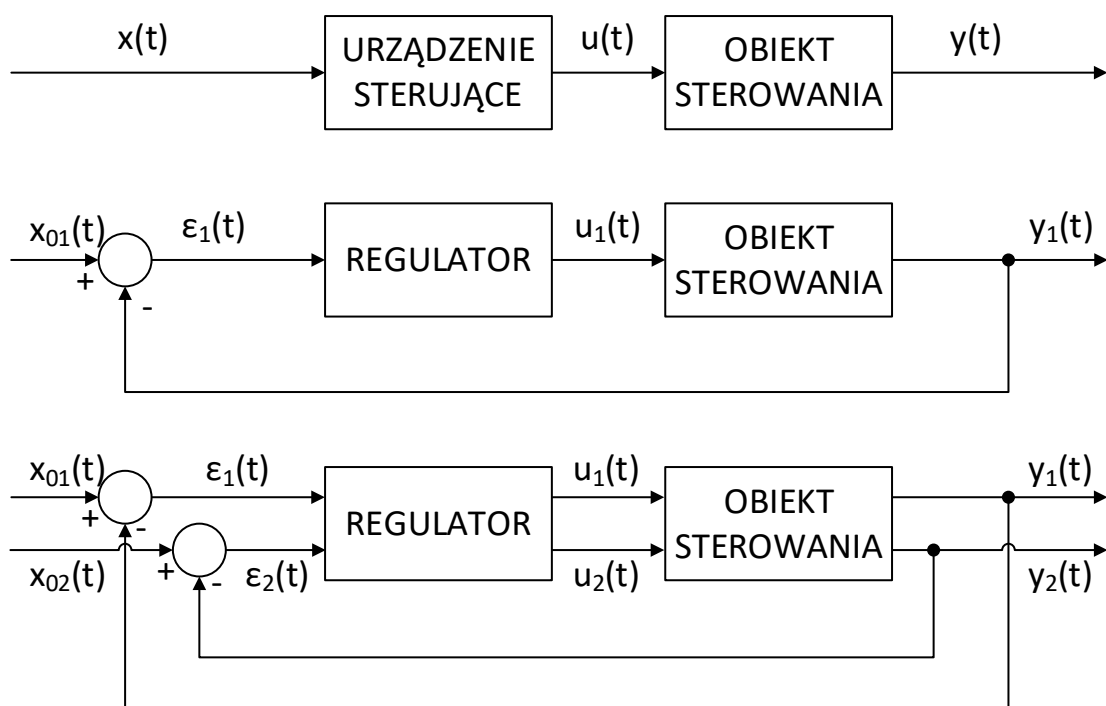
W tym celu wykorzystywane są różne strategie sterowania, takie jak sterowanie otwarte (bez sprzężenia zwrotnego, czyli bez wykorzystania informacji o aktualnym stanie

obiektu) i zamknięte (z pętlą sprzężenia zwrotnego), przy czym to drugie jest w wielu zastosowaniach dominującym podejściem ze względu na większą odporność na zakłócenia i niepewność modelu.

Ze względu na liczbę sygnałów wejściowych i wyjściowych wyróżnia się:

- **SISO** (*Single Input – Single Output*) – jeden sygnał wejściowy i jeden sygnał wyjściowy,
- **MIMO** (*Multiple Inputs – Multiple Outputs*) – wiele sygnałów wejściowych i wiele sygnałów wyjściowych.

Układy sterowania są powszechnie stosowane w różnych dziedzinach techniki. Przykładem sterowania otwartego jest sterowanie sygnalizacją świetlną na skrzyżowaniu według ustalonego programu czasowego, w którym sterownik przełącza światła zgodnie z zaprogramowaną



Rys. 2 Schemat sterowania w układzie otwartym (a), zamkniętym SISO (b) i MIMO (c).

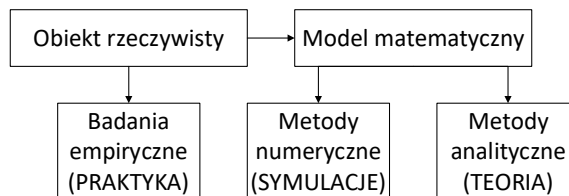
sekwencją, bez wykorzystania informacji o aktualnym natężeniu ruchu albo praca wycieraczek samochodowych w trybie czasowym, w którym sterownik uruchamia silnik wycieraczek w określonych odstępach czasu, niezależnie od rzeczywistej intensywności opadów.

Urządzenie sterujące realizujące algorytm regulacji na podstawie uchybu regulacji nazywane jest regulatorem. Regulacja stanowi szczególny przypadek sterowania, w którym wykorzystywane jest sprzężenie zwrotne. Przykładem regulacji jest utrzymywanie zadanej temperatury w pomieszczeniu za pomocą termostatu, w którym zmierzona temperatura jest porównywana z wartością zadaną, a regulator odpowiednio steruje pracą urządzenia grzewczego lub chłodzącego. Innym przykładem regulacji jest utrzymywanie zadanej prędkości samochodu przez tempomat, który na podstawie pomiaru aktualnej prędkości koryguje sygnał sterujący układem napędowym. W obu przypadkach wykorzystanie sprzężenia zwrotnego umożliwia ograniczenie wpływu zakłóceń i utrzymanie wymaganych parametrów pracy układu.

MODELOWANIE OBIEKTÓW AUTOMATYKI

Opis procesów zachodzących w elementach automatyki wymaga sformułowania ich modeli matematycznych (Rys. 3), które stanowią abstrakcyjne odwzorowanie dynamiki rzeczywistych obiektów.

Tworzenie modeli matematycznych obiektów automatyki odbywa się na podstawie praw fizycznych opisujących zjawiska zachodzące w analizowanym układzie, takich jak prawa mechaniki, elektrotechniki, hydrauliki czy termodynamiki.



Rys. 3 Przebieg procesu opisu obiektu

W zależności od rodzaju przetwarzanych wielkości wyróżnia się różne rodzaje sygnałów:

- **sygnały mechaniczne** – opisujące położenie, prędkość oraz przyspieszenie elementów wykonujących ruch liniowy lub obrotowy,
- **sygnały hydrauliczne** – obejmujące m.in. ciśnienie oraz przepływ cieczy,
- **sygnały pneumatyczne** – obejmujące głównie ciśnienie oraz przepływ gazu,
- **sygnały elektryczne** – obejmujące napięcie, natężenie prądu.

Niezależnie od rodzaju wielkości fizycznej sygnały w układach automatyki mogą być klasyfikowane również ze względu na sposób reprezentacji informacji:

- **sygnały analogowe** są ciągłe w czasie i mogą przyjmować dowolne wartości z określonego zakresu, np. napięcie lub prąd proporcjonalny do mierzonej temperatury, ciśnienia lub położenia.
- **sygnały cyfrowe** przedstawiają informację w postaci wartości dyskretnych zapisanych najczęściej w systemie binarnym i są wykorzystywane w cyfrowych układach sterowania, takich jak sterowniki PLC i mikrokontrolery.

We współczesnych układach automatyki dominują sygnały elektryczne, ponieważ umożliwiają łatwe przesyłanie i przetwarzanie informacji. W cyfrowych układach sterowania sygnały pomiarowe są często przekształcane z postaci analogowej do cyfrowej za pomocą przetworników analogowo-cyfrowych, a następnie przetwarzane przez algorytm sterowania.

Analiza zależności pomiędzy sygnałami wejściowymi, wyjściowymi oraz zmiennymi wewnętrznymi obiektu wymaga opracowania jego modelu matematycznego. Model matematyczny jest zbiorem zależności matematycznych opisujących zachowanie obiektu w funkcji czasu i obejmuje:

- **opis statyczny** – który określa zależność pomiędzy wielkością wejściową i wyjściową w stanie ustalonym, gdy wartości tych wielkości nie zmieniają się w czasie ($t = \text{const}$). Zależność ta określana jest jako **charakterystyka statyczna obiektu**,
- **opis dynamiczny** – który opisuje zachowanie obiektu w stanach nieustalonych, czyli podczas zmian wartości wejściowych lub działania zakłóceń. Zależność ta określana jest jako **charakterystyka dynamiczna obiektu**.
 - Podstawę stanowi opis w dziedzinie czasu, wykorzystujący równania całkowo-różniczkowe opisujące zależności pomiędzy wielkościami fizycznymi. Na ich podstawie, z wykorzystaniem przekształcenia Laplace'a, można otrzymać opis operatorowy w postaci transmitancji.
 - Alternatywnie właściwości dynamiczne układów mogą być analizowane w dziedzinie częstotliwościowej za pomocą charakterystyk częstotliwościowych i transmitancji widmowej.

PYTANIA KONTROLNE

1. Czym różni się automatyka od automatyzacji?
2. Wymień podstawowe elementy układu sterowania i określ ich funkcje.
3. Wyjaśnij różnicę między wielkością zadaną, sterującą i sterowaną.
4. Wymień podstawowe cele sterowania.
5. Wymień rodzaje sygnałów występujących w układach automatyki.
6. Z czego składa się model matematyczny obiektu sterowania?
7. Sterownik włącza ogrzewanie codziennie o godzinie 6:00 i wyłącza o godzinie 8:00, niezależnie od temperatury w pomieszczeniu. Czy jest to sterowanie czy regulacja?
8. W układzie sterowania temperatura pieca jest mierzona przez czujnik, a następnie porównywana z wartością zadaną. Narysuj schemat blokowy obiektu.
9. Określ, które cele sterowania realizują: tempomat, układ kierowniczy oraz układ ESP.
10. Robot przemysłowy wykonuje zaprogramowaną sekwencję ruchów bez sprawdzania rzeczywistego położenia ramienia. Czy jest to układ otwarty czy zamknięty?
11. Bezdotykowy czujnik temperatury wskazał 24 °C. Czy mierzona temperatura była wielkością analogową czy cyfrową? Uzasadnij.

CHARAKTERYSTYKI STATYCZNE

Charakterystyka statyczna przedstawia zależność pomiędzy wielkością wyjściową i wejściową elementu **w stanie ustalonym**, czyli po zakończeniu procesów przejściowych. Opisuje ona, jaka wartość sygnału wyjściowego zostanie osiągnięta po ustaleniu się odpowiedzi układu na określoną wartość sygnału wejściowego.

Zależność tę można zapisać w postaci:

$$y = f(u) \quad (2)$$

gdzie:

y – wielkość wyjściowa

u – wielkość wejściowa

TYPY CHARAKTERYSTYK STATYCZNYCH

Kształt charakterystyki określa właściwości elementu oraz sposób, w jaki reaguje on na zmiany sygnału wejściowego. W zależności od jej przebiegu elementy mogą być liniowe lub nieliniowe.

Element nazywa się **liniowym**, jeżeli zależność pomiędzy sygnałami wejściowymi i wyjściowymi **spełnia zasadę superpozycji**, obejmującą zasadę proporcjonalności oraz zasadę addytywności.

Zasada proporcjonalności: Dla prostego elementu liniowego zależność statyczna może być zapisana w postaci:

$$y = ku \quad (3)$$

gdzie:

k – współczynnik proporcjonalności (współczynnikiem wzmocnienia).

Zasada addytywności: W układach liniowych odpowiedź na wymuszenie będące sumą kilku sygnałów:

$$u = k_1 u_1 + k_2 u_2 \quad (4)$$

jest równa sumie odpowiedzi na poszczególne sygnały:

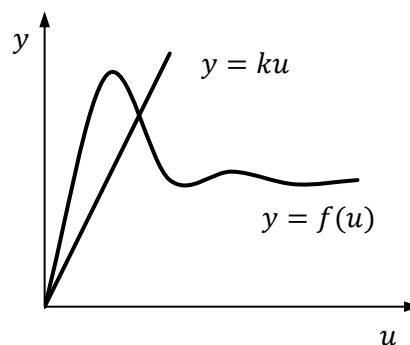
$$y = k_1 y_1 + k_2 y_2 \quad (5)$$

Oznacza to, że parametry układu nie zależą od wartości sygnałów wejściowych i wyjściowych, a działanie układu jest takie samo niezależnie od wybranego punktu pracy.

Element nieliniowy to element, którego charakterystyka nie spełnia warunków liniowości. W takim przypadku zależność pomiędzy wejściem i wyjściem ma postać ogólną:

$$y = f(u) \quad (6)$$

Funkcja f może mieć dowolny nieliniowy przebieg.



Rys. 4. Przykładowe charakterystyki statyczne elementów liniowych i nieliniowych.

PODSTAWOWE CZŁONY AUTOMATYKI

W analizie układów automatyki wykorzystuje się modele idealizowane, nazywane **członami podstawowymi automatyki**. Człon podstawowy jest uproszczonym modelem matematycznym rzeczywistego elementu lub fragmentu układu, który opisuje jego najważniejsze właściwości statyczne i dynamiczne.

Podstawowe człony automatyki wyróżnia się na podstawie postaci zależności pomiędzy sygnałem wejściowym i wyjściowym. Do najczęściej stosowanych należą:

- **Człony statyczne**, np. człon proporcjonalny - których zachowanie jest opisywane równaniami algebraicznymi
- **Człony dynamiczne**, np. całkujący, różniczkujący, inercyjny, oscylacyjny - których zachowanie jest opisywane równaniami całkowo-różniczkowymi.

Należy zauważyć, że przynależność do grupy członów dynamicznych nie oznacza braku charakterystyki statycznej. Charakterystyka statyczna może być wyznaczona dla tych członów, jeżeli istnieje jednoznaczna zależność pomiędzy sygnałem wejściowym i wyjściowym w stanie ustalonym.

Brak klasycznej charakterystyki statycznej występuje w przypadku elementów, dla których przy stałym wymuszeniu nie istnieje stan równowagi, takich jak idealny człon całkujący, lub których działanie zanika po ustaleniu sygnału wejściowego, jak w przypadku idealnego członu różniczkującego.

CHARAKTERYSTYKI STATYCZNE DLA CZŁONÓW PODSTAWOWYCH

Człon proporcjonalny

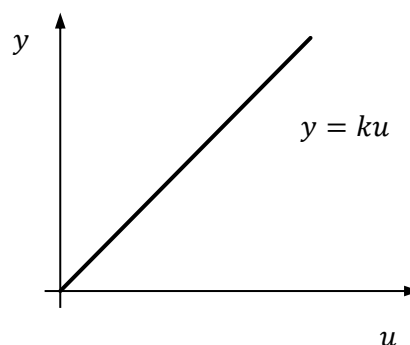
Człon proporcjonalny jest liniowym członem statycznym, dla którego zależność pomiędzy sygnałem wejściowym i wyjściowym opisana jest równaniem:

$$y = ku \quad (7)$$

Gdzie:

k – współczynnik proporcjonalności.

Charakterystyka statyczna członu proporcjonalnego ma postać prostej. Każdej zmianie wartości wejścia odpowiada proporcjonalna zmiana wartości wyjścia.



Rys. 5. Charakterystyka statyczna członu proporcjonalnego.

Przykładem elementu zbliżonego do członu proporcjonalnego jest dzielnik napięcia:

$$U_{wy} = U_{we} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = k U_{we} \quad (8)$$

gdzie:

U_{we} – napięcie wejściowe,
 U_{wy} – napięcie wyjściowe,
 R_i – rezystancja rezystorów.

sprężyna:

$$F = kx \quad (9)$$

gdzie:

F – siła,
 x – odkształcenie sprężyny,
 k – współczynnik sztywności sprężyny.

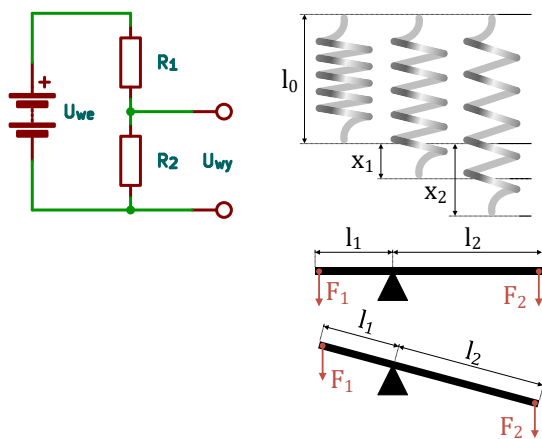
lub dźwignia:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2 \rightarrow F_2 = \frac{l_1}{l_2} F_1 \quad (10)$$

gdzie

F_i – przyłożona siła,
 l_i – ramię przyłożenia siły.

We wszystkich przedstawionych przykładach sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do sygnału wejściowego, a współczynnik proporcjonalności zależy od parametrów fizycznych elementu (rezystancji, sztywności sprężyny lub długości ramion dźwigni).



Rys. 6. Schemat dzielnika napięcia, sprężyny i dźwigni.

Człon inercyjny

Człon inercyjny jest liniowym elementem dynamicznym charakteryzującym się bezwładnością, która powoduje opóźnioną

reakcję wyjścia na zmianę sygnału wejściowego. Zależność pomiędzy sygnałem wejściowym i wyjściowym opisuje równanie różniczkowe pierwszego rzędu:

$$T \frac{dy}{dt} + y = ku \quad (11)$$

gdzie:

T – stała czasowa członu,
 k – współczynnik wzmocnienia.

Po podaniu stałego sygnału wejściowego wartość wyjściowa zmienia się stopniowo i po odpowiednio długim czasie ($t \rightarrow \infty$) osiąga stan ustalony. W stanie tym pochodne opisujące zmiany sygnałów w czasie przyjmują wartość równą zero:

$$\frac{dy}{dt} = 0$$

dlatego zależność pomiędzy wejściem i wyjściem można uprościć do:

$$y = ku \quad (12)$$

Oznacza to, że człon inercyjny różni się od członu proporcjonalnego wyłącznie przebiegiem procesu przejściowego, natomiast w stanie ustalonym oba elementy opisuje ta sama zależność pomiędzy sygnałem wejściowym i wyjściowym.

Przykładem członu inercyjnego jest układ ogrzewania wody. Zwiększenie mocy grzałki nie powoduje natychmiastowego wzrostu temperatury, ponieważ woda posiada pojemność cieplną i potrzebuje czasu na zgromadzenie energii. Podobnie zachowuje się silnik prądu stałego, w którym zmiana napięcia zasilającego nie powoduje natychmiastowej zmiany prędkości obrotowej ze względu na bezwładność mechaniczną wirnika.

Człon różniczkujący (przyspieszający)

Człon różniczkujący to liniowy człon dynamiczny, który reaguje na szybkość zmian sygnału wejściowego. Działanie członu idealnego opisuje równanie:

$$y = k \frac{du}{dt} \quad (13)$$

gdzie:

k – współczynnik różniczkowania.

W przypadku członu rzeczywistego reakcja na zmiany sygnału jest ograniczona przez właściwości fizyczne elementów układu, co przekłada się na jego opis:

$$T \frac{dy}{dt} + y = k \frac{du}{dt} \quad (14)$$

gdzie:

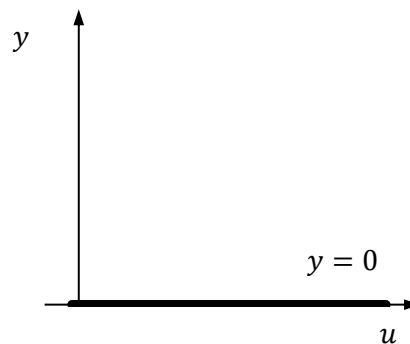
T – stała czasowa członu,
 k – współczynnik różniczkowania.

W stanie ustalonym, gdy sygnały wyjściowe i wejściowe są stałe, jego pochodna jest równa zero, dlatego sygnał wyjściowy również zanika:

$$\frac{dy}{dt} = 0, \frac{du}{dt} = 0 \Rightarrow y = 0$$

Oznacza to, że po ustaleniu wartości sygnału wejściowego jego sygnał wyjściowy zanika i dąży do wartości zerowej.

W konsekwencji charakterystyka statyczna członu różniczkującego jest linią prostą $y = 0$, ponieważ niezależnie od wartości stałego sygnału wejściowego wyjście przyjmuje wartość zerową.



Rys. 7. Charakterystyka statyczna członu różniczkującego.

Przykładem zastosowania członu różniczkującego rzeczywistego jest jeden z pierwszych układów ABS stosowanych w samochodach, w którym analizowano szybkość zmian prędkości obrotowej koła podczas hamowania. Gwałtowny spadek tej wartości wskazywał na możliwość zablokowania koła, co umożliwiało odpowiednią reakcję układu hamulcowego. Przy stałej prędkości obrotowej koła szybkość jej zmiany jest równa zero, dlatego człon różniczkujący nie generuje sygnału wyjściowego (układ ABS nie podejmuje aktywnej regulacji).

Człon całkujący

Człon całkujący jest liniowym elementem dynamicznym, którego sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do całki sygnału wejściowego. Jego działanie opisuje równanie:

$$\frac{dy}{dt} = ku \quad (15)$$

gdzie:

k – współczynnik całkowania.

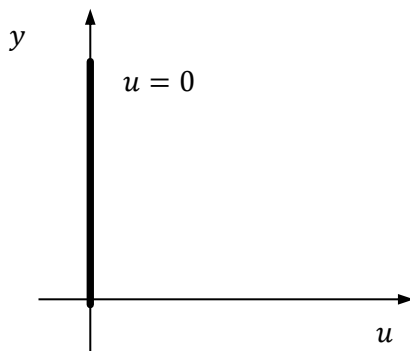
Oznacza to, że wartość sygnału wyjściowego zależy od całego przebiegu sygnału wejściowego, a nie tylko od jego aktualnej wartości.

W stanie ustalonym sygnał wyjściowy nie zmienia się w czasie, dlatego:

$$\frac{dy}{dt} = 0$$

Po podstawieniu tego warunku do równania dynamiki otrzymuje się:

$$u = 0 \quad (16)$$



Rys. 8. Charakterystyka statyczna członu całkującego

Oznacza to, że stan ustalony członu całkującego może wystąpić wyłącznie przy zerowej wartości sygnału wejściowego. W takim przypadku sygnał wyjściowy pozostaje stały, jednak jego wartość zależy od historii wcześniejszej pracy układu i może przyjmować dowolną wartość, np. $y = 0$, $y = 5$ czy $y = 100$.

W konsekwencji dla tej samej wartości wejścia $u = 0$ istnieje nieskończenie wiele możliwych wartości wyjścia. Z tego względu nie można określić jednoznacznej zależności w postaci $y = f(u)$.

Dlatego idealny człon całkujący nie posiada klasycznej charakterystyki statycznej. Zamiast niej przedstawia się zbiór stanów ustalonych, opisany zależnością $u = 0$, której odpowiada pionowa prosta na wykresie charakterystyki statycznej.

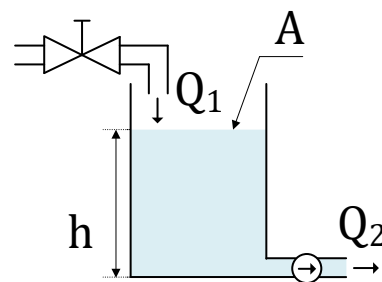
Przykładem członu całkującego jest zbiornik z cieczą bez odpływu (Rys. 9). Jego zachowanie opisuje równanie:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A} (Q_1 - Q_2) \quad (17)$$

gdzie:

A – pole przekroju zbiornika,
 Q_1 – natężenie dopływu (sygnał wejściowy),
 Q_2 – natężenie odpływu,
 h – poziom cieczy (sygnał wyjściowy)

Stały dopływ cieczy powoduje wzrost poziomu cieczy w zbiorniku. Po zamknięciu zaworu ($Q_1 = 0$) poziom cieczy pozostaje na osiągniętej wysokości, np. 200 mm, 500 mm lub 800 mm, zależnie od wcześniejszego czasu napełniania. Oznacza to, że tej samej wartości sygnału wejściowego odpowiada wiele możliwych wartości sygnału wyjściowego.



Rys. 9. Schemat obiektu z wymuszonym obiegiem cieczy.

Analogicznym przykładem jest licznik przebiegu samochodu, opisany równaniem:

$$\frac{ds}{dt} = v \quad (18)$$

gdzie:

v – prędkość pojazdu (sygnał wejściowy),
 s – droga (sygnał wyjściowy).

Po zatrzymaniu pojazdu ($v = 0$) licznik przebiegu przestaje zwiększać swoją wartość, lecz zachowuje wcześniej zarejestrowany przebieg, np. 15 000 km, 85 000 km lub 220 000 km. Również w tym przypadku tej samej wartości sygnału wejściowego odpowiada wiele możliwych wartości sygnału wyjściowego.

Człon oscylacyjny

Człon oscylacyjny jest liniowym elementem dynamicznym drugiego rzędu, którego odpowiedź na zmianę sygnału wejściowego może mieć charakter oscylacyjny. Zachowanie członu opisuje równanie różniczkowe:

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy}{dt} + y = ku \quad (19)$$

gdzie:

T – stała czasowa,
 ξ – współczynnik tłumienia,
 k – współczynnik wzmocnienia.

W zależności od wartości współczynnika tłumienia odpowiedź układu może mieć różny charakter:

- $\xi > 1$ – odpowiedź aperiodyczna (bez oscylacji),
- $\xi = 1$ – tłumienie krytyczne,
- $0 < \xi < 1$ – odpowiedź oscylacyjna z malejącą amplitudą,
- $\xi = 0$ – oscylacje niegasnące.

Po odpowiednio długim czasie ($t \rightarrow \infty$) układ osiąga stan ustalony.

W stanie ustalonym:

$$\frac{dy}{dt} = 0, \frac{d^2 y}{dt^2} = 0$$

dlatego równanie upraszcza się do postaci:

$$y = ku \quad (20)$$

Oznacza to, że charakterystyka statyczna członu oscylacyjnego jest identyczna jak charakterystyka członu proporcjonalnego, natomiast różnice dotyczą wyłącznie przebiegu procesu przejściowego.

Przykładem członu oscylacyjnego jest zawieszenie samochodu. Po najechaniu na próg zwalniający nadwozie nie zatrzymuje się natychmiast w nowym położeniu, lecz wykonuje drgania, których amplituda stopniowo maleje dzięki działaniu amortyzatorów. Im mniejsze tłumienie układu, tym większa liczba oscylacji przed osiągnięciem stanu ustalonego.

Człon opóźniający

Człon opóźniający opisuje sytuację, w której sygnał wyjściowy jest przesunięty w czasie względem sygnału wejściowego:

$$y(t) = ku(t - \tau) \quad (21)$$

gdzie:

k – współczynnik wzmocnienia,
 τ – czas opóźnienia.

Opóźnienie nie zmienia wartości sygnału, a jedynie moment jego pojawienia się. Dlatego w stanie ustalonym, gdy $t \rightarrow \infty$ zależność przyjmuje postać:

$$y = ku \quad (22)$$

Oznacza to, że charakterystyka statyczna członu opóźniającego jest taka sama jak dla członu proporcjonalnego.

Przykładem członu opóźniającego jest transport cieczy lub ciepła w rurociągu. Zmiana temperatury lub składu medium na wejściu nie pojawia się natychmiast na wyjściu, lecz po czasie wynikającym

z długości przewodu i prędkości przepływu. Opóźnienie wpływa jedynie na moment pojawienia się odpowiedzi, natomiast nie zmienia wartości sygnału w stanie ustalonym.

PYTANIA KONTROLNE

1. Czym jest charakterystyka statyczna członu automatyki?
2. Do czego służy równanie dynamiki członu w kontekście charakterystyk statycznych?
3. Czym różni się człon proporcjonalny od członów dynamicznych?
4. Które człony nie posiadają klasycznej charakterystyki statycznej? Uzasadnij.
5. Narysuj charakterystykę statyczną wybranego członu i podaj jej równanie.
6. Jak wpływa współczynnik wzmocnienia k na przebieg charakterystyki statycznej członu proporcjonalnego?

LITERATURA

- [1] Rosołowski E., Podstawy regulacji automatycznej, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2021. Dostęp online: https://rose.pwr.edu.pl/dyd/Podst_aut/Podstawy_Auto.pdf
- [2] Stefański T., Teoria sterowania. Cz. I, Układy liniowe: materiały pomocnicze do wykładów i ćwiczeń z teorii sterowania dla studiów zaocznych, wyd. 4, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2005, 193 s. Dostęp online: https://bc.tu.kielce.pl/440/1/Stefanski_MPI-155.pdf
- [3] Mikulczyński T. (red.), Laboratorium podstaw automatyki i automatyzacji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005, 235 s. Dostęp online: <https://www.dbc.wroc.pl/dlibra/publication/7731/edition/7048/content>