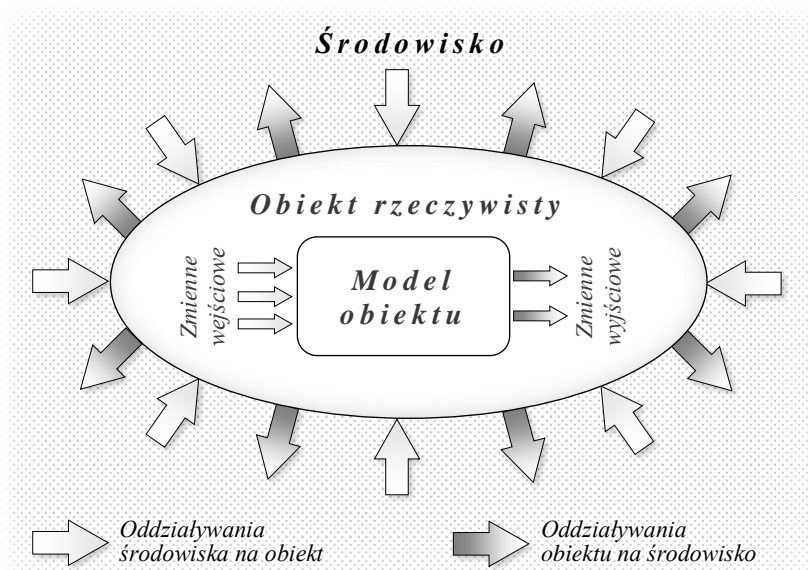


1. Wprowadzenie

1.1. Obiekty i modele

W naukach technicznych, rozpatrując pewien fragment rzeczywistości, należy dokładnie określić *obiekt* badań i wyodrębnić go ze *środowiska*, które nie podlega badaniom. Zazwyczaj nie można założyć, że obiekt jest całkowicie izolowany i funkcjonuje bez interakcji ze środowiskiem. Badany obiekt traktuje się jako *system*, czyli zbiór wzajemnie powiązanych elementów, stanowiących pewną całość, opisanych określoną liczbą wielkości nazywanych *zmiennymi systemowymi* lub *zmiennymi stanu*. Wielkości, które reprezentują oddziaływanie środowiska na obiekt nazywane są *wymuszeniami* lub *zmiennymi wejściowymi*, a wielkości reprezentujące oddziaływanie obiektu na środowisko *odpowiedziami* lub *zmiennymi wyjściowymi* [8], [14].

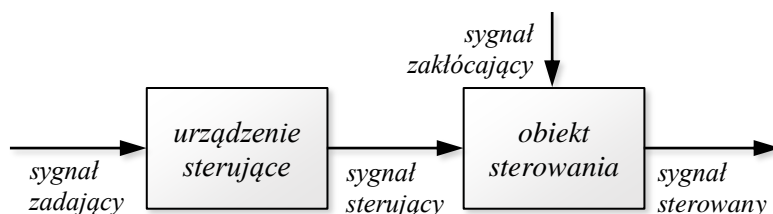
Liczba zmiennych wejściowych i wyjściowych, które określają interakcje rzeczywistego obiektu ze środowiskiem może być bardzo duża, a w pewnych przypadkach nawet nieskończona. Pierwszym etapem przygotowania do badań powinno być określenie minimalnego zbioru zmiennych, które są istotne z punktu widzenia założonego celu badań, co znacząco upraszcza obraz analizowanego systemu. Dodatkowo upraszczane są zarówno zależności pomiędzy elementami systemu, który stanowi obiekt badań, jak i zmiennymi, które na niego oddziałują. W ten sposób powstaje *model obiektu*, który redukuje obiekt rzeczywisty do układu zawierającego wyłącznie te elementy i zależności, które są niezbędne do przeprowadzenia analizy i osiągnięcia założonego celu badań. Takie podejście pozwala na uzyskanie uproszczonego opisu obiektu rzeczywistego, który może być efektywnie badany za pomocą dostępnych metod, co jest znacznie trudniejsze lub wręcz niemożliwe w przypadku rzeczywistych obiektów funkcjonujących w rzeczywistym środowisku. Ostatecznie środowisko, obiekt rzeczywisty, ich wzajemne interakcje oraz model obiektu, na podstawie [21] można przedstawić tak jak pokazano to na rys. 1.1.



Rys. 1.1. Środowisko, obiekt rzeczywisty i jego model

1.1. Układy sterowania

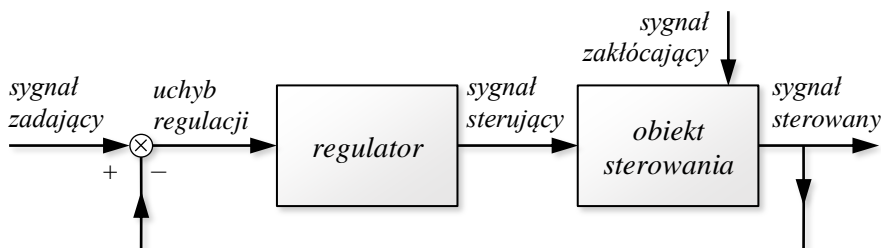
Sterowaniem nazywany jest proces celowego oddziaływania na obiekt w celu uzyskania pożądanego zachowania. Sterowanie można podzielić na *ręczne*, wykonywane wyłącznie przez człowieka, oraz *automatyczne*, wykonywane przez odpowiednie urządzenie bez udziału człowieka. Obiekt, w którym należy wymusić pożądanego zachowanie nazywany jest *obiektem sterowania*, natomiast urządzenie, które na niego oddziałuje *urządzeniem sterującym*. Układ złożony z obiektu sterowania i urządzenia sterującego jest nazywany *układem sterowania*. Przykładowy układ sterowania wraz z podstawowymi sygnałami, które w nim występują został przedstawiony na rys. 1.2.



Rys. 1.2. Układ sterowania

Sygnały określające pożądanego zachowanie obiektu sterowania nazywane są *sygnałami zadającymi*, sygnały generowane przez urządzenie sterujące w celu uzyskania pożądanego zachowania *sygnałami sterującymi* (krótko *sterowaniami*), natomiast sygnały na wyjściu obiektu sterowania *sygnałami sterowanymi*. Oddziaływania zewnętrzne, zazwyczaj o charakterze przypadkowym, które utrudniają realizację zadania sterowania nazywane są *sygnałami zakłócającymi* (krótko *zakłóceniami*). Projektując układ sterowania, należy uwzględnić, że zachowanie obiektu sterowania (sygnały sterowane) jest skutkiem oddziaływań znanych sygnałów sterujących generowanych przez urządzenie sterujące oraz sygnałów zakłócających, które mają charakter losowy, a ich natura może nie być znana.

Zależnie od sposobu realizacji rozróżnia się *sterowanie w układzie otwartym* oraz *sterowanie w układzie zamkniętym*. Układy otwarte działają zgodnie z ogólnym schematem przedstawionym na rys. 1.2. Urządzenie sterujące otrzymuje informacje o pożądanym celu sterowania (sygnały zadające) i może znać wartości określonych sygnałów zakłócających. Sterowanie opiera się na znajomości modelu obiektu i nie zależy od wartości uzyskanych sygnałów sterowanych, dlatego układy tego typu są wrażliwe na zakłócenia. Sterowanie w układzie zamkniętym nazywane jest również *regulacją*, a układy tego typu *układami regulacji* [8]. Schemat układu zamkniętego został przedstawiony na rys. 1.3. W tym przypadku układ zawiera sprzężenie zwrotne, które umożliwia wyznaczenie tzw. *uchybu regulacji*, czyli różnicy pomiędzy sygnałem zadającym i sygnałem sterowanym. Urządzenie sterujące, nazywane *regulatorem*, oddziałuje na obiekt sterowania, korzystając z informacji o uchybie regulacji. Sygnał sterujący jest wyznaczany na podstawie informacji o celu sterowania (sygnały zadające) i skutkach sterowania (sygnały sterowane), tak więc układy zamknięte są znacznie mniej wrażliwe na zakłócenia, ponieważ mogą korygować błędy wynikające z ich wystąpienia.

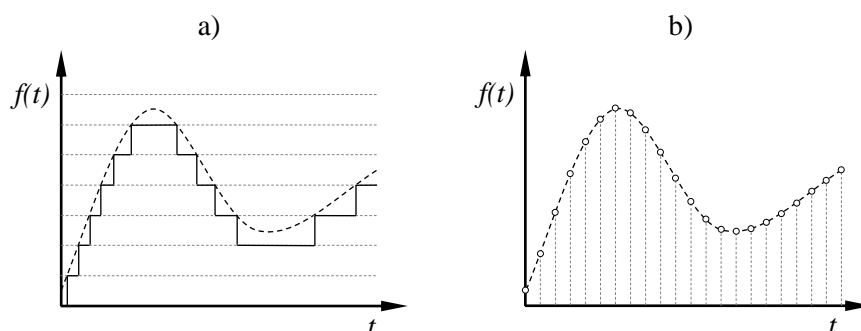


Rys. 1.3. Zamknięty układ sterowania (układ regulacji)

1.2. Sygnały

Sygnał opisuje zmianę pewnej wielkości fizycznej lub zmiany stanu badanego obiektu. Na sygnał składają się: *treść sygnału*, czyli informacja przesyłana przez sygnał oraz *nośnik sygnału*, czyli wielkość fizyczna, której zmiany umożliwiają przekazanie określonych treści. W przypadku rzeczywistych obiektów, takich jak układy automatyki przemysłowej, mierzone sygnały najczęściej przedstawiają zmiany pewnej wielkości fizycznej w czasie, więc do ich opisu (modelowania) wykorzystuje się funkcje jednej zmiennej t . Przykładem takich sygnałów może być monitorowanie zmian temperatury w pomieszczeniu, wysokości słupa cieczy w zbiorniku, czy położenia detalu transportowanego na taśmie produkcyjnej. W szczególnych, bardziej złożonych przypadkach konieczne staje się wykorzystanie funkcji wielu zmiennych. Takie sygnały występują np. w zagadnieniach przetwarzania obrazu, gdzie oprócz zmiennej czasowej, konieczne jest uwzględnienie współrzędnych przestrzennych.

Wielkości związane z obiektami rzeczywistymi na ogół opisują *sygnały ciągłe*, czyli sygnały, które mogą przyjmować dowolne wartości z określonego przedziału w dowolnej chwili czasu. Ze względu na łatwość przetwarzania i przechowywania oraz dużą odporność na zakłócenia sygnały takie są poddawane *kwantyzacji*, czyli nieliniowemu przekształceniu, które ogranicza wartości sygnału do zbioru dyskretnego (skończonego lub przeliczalnego). Kwantyzacja może dotyczyć zarówno wartości sygnału, jak i jego dziedziny, dając odpowiednio *sygnały dyskretne w amplitudzie* (wartości) i *dyskretne w dziedzinie* (zazwyczaj w czasie). Idea tego procesu została przedstawiona na rys. 1.4a (kwantyzacja wartości) oraz 1.4b (kwantyzacja dziedziny). W obydwu przypadkach oryginalny sygnał ciągły reprezentuje linia przerywana, sygnał dyskretny w amplitudzie jest przedstawiony linią ciągłą, sygnał dyskretny w czasie reprezentują punkty wyznaczone w określonych chwilach czasowych.



Rys. 1.4. Kwantyzacja sygnału: a) w amplitudzie, b) w czasie

Jak pokazano na rys. 1.4a, w wyniku kwantyzacji amplitudy (wartości) cały dostępny przedział dzielony jest na podprzedziały, a każda wartość sygnału ciągłego należąca do jednego podprzedziału jest odwzorowana na jedną wartość wyjściową przypisaną do tego podprzedziału. Kwantyzacja dziedziny w przypadku układów automatyki przemysłowej zazwyczaj oznacza kwantyzację w czasie. Wynika to z charakteru przetwarzanych sygnałów, które najczęściej opisują zmiany pewnej wielkości w określonym przedziale czasowym. Jak pokazano na rys. 1.4b w tym celu wyróżniane są określone chwile czasowe, rozmieszczone zazwyczaj ze stałym interwałem nazywanym *taktem* lub *przedziałem dyskretyzacji*, dla których wyznacza się wartości pierwotnego sygnału ciągłego. Sygnały dyskretne w czasie zwyczajowo określa się krótko jako *sygnały dyskretne*.

Zgodnie z [20], zależnie od charakteru dziedziny i zbioru wartości, sygnały możemy podzielić na cztery kategorie:

- ciągłe w czasie i amplitudzie, nazywane również *analogowymi*,
- ciągłe w czasie i dyskretne w amplitudzie,
- dyskretne w czasie i ciągłe w amplitudzie,
- dyskretne w czasie i amplitudzie.

W grupie sygnałów dyskretnych w czasie i amplitudzie należy dodatkowo wyróżnić *sygnały cyfrowe*, czyli sygnały o skończonej liczbie możliwych wartości. We współczesnych układach automatyki przemysłowej szczególnie istotną podklasą sygnałów dyskretnych w amplitudzie są *sygnały binarne*, czyli takie, które mogą przyjmować jedną z dwóch wartości. W tego typu sygnałach wyróżnia się dwa stany: wysoki – oznaczany zwykle wartością 1, oraz niski oznaczany wartością 0. Zależnie od konkretnego zastosowania wartości te mogą być również interpretowane jako prawda i fałsz lub włączony i wyłączony. Sygnały takie mogą być opisane *funkcją logiczną*, a ich przetwarzanie wiąże się ze sprawdzaniem pewnych warunków formułowanych zgodnie z prawami logiki dwuwartościowej, określanej jako *algebra logiki* lub *algebra Boole'a*. Układy realizujące operacje odpowiadające tak sformułowanym warunkom są nazywane *układami logicznymi* lub *układami przełączającymi*.

1.3. Rozwój układów automatyki

Układy zawierające pewne elementy regulacji automatycznej znane były ludzkości do dawna. Za najstarsze tego typu rozwiązanie uznaje się czółna z odsadnią (dodatkowym bocznym pływakiem), które były używane przez Polinezyjczyków kilka tysięcy lat temu. Tego typu układ działa na zasadzie regulatora ze sprzężeniem zwrotnym – siła wyporu odsadni uniemożliwia przechylenie łodzi na tę burtę, na której jest zamontowana i działa jak przeciwwaga, gdy łódź przechyliła się na burtę przeciwną. Można więc stwierdzić, że jest regulatorem, który stabilizuje łódź w pożądanym położeniu.

Kolejnym przykładem układu sterowania ze sprzężeniem zwrotnym jest regulator pływakowy wynaleziony w III wieku p.n.e. przez greckiego konstruktora i matematyka Ktesibiosa. Pierwotnie został on wykorzystany do skonstruowania zegara wodnego, w którym pomiar czasu dokonywany był na podstawie określenia ilości wody wypływającej ze zbiornika. Stały strumień wypływającej wody można było zapewnić, utrzymując stały poziom cieczy w zbiorniku, co zapewniał regulator Ktesibiosa. Tego typu rozwiązanie było stosowane również przez uczonych arabskich, a zegary wodne istniały jeszcze w XIII wieku. Dzisiaj analogiczne rozwiązanie stosowane jest do regulowania poziomu wody w spłuczce toaletowej.

Istotny rozwój automatyki nastąpił wraz z nadejściem rewolucji przemysłowej, czyli z przejściem do gospodarki opartej na zmechanizowanej produkcji fabrycznej. Za umowny początek tego okresu przyjmuje się rok 1769, w którym James Watt wynalazł silnik parowy. Wynalazek Watta był oparty na rozwiązaniach istniejących wcześniej (m.in. silniki parowe Thomasa Newcomena zbudowane na początku XVIII wieku), były one jednak mało wydajne i wymagały regulacji ręcznej. Silnik Watta zawierał układ regulacji automatycznej – zawór z przepustnicą sterowaną regulatorem odśrodkowym, który umożliwiał utrzymania stałej prędkości obrotowej bez potrzeby regulacji ręcznej. Ten wynalazek oraz zwiększenie wydajności silnika pozwoliło na jego szerokie wykorzystanie w przemyśle i mechanizację produkcji.

Regulator Watta nie był rozwiązaniem doskonałym (np. pozwalał na dokładną regulację tylko w określonych warunkach pracy) i w kolejnych latach był udoskonalany. Równocześnie powstawały inne układy regulacji pozwalające na utrzymanie poziomu cieczy w kotłach (powrót do regulatorów pływakowych), temperatury (regulator bimetaliczny), czy też ciśnienia w sieci gazowej, jednak projekty opierały się na metodzie prób i błędów oraz intuicji inżynierów. Dopiero w drugiej połowie XIX wieku James Clark Maxwell wykorzystał teorię rachunku różniczkowego i całkowego do opisu działania i analizy stabilności regulatora odśrodkowego, pokazując przydatność modeli i metod matematycznych do opisu tego typu zjawisk. Praca Maxwella była kontynuowana przez kolejnych badaczy, doprowadzając do rozwoju teorii sterowania i systemów, która dzisiaj stanowi podstawę projektowania układów regulacji.

W XX wieku wraz z rozwojem techniki pojawiły się nowe możliwości konstruowania układów automatyki przemysłowej. Coraz częściej rozwiązania oparte na układach mechanicznych były wypierane przez obwody elektryczne, a następnie elektroniczne. Rozwój techniki mikroprocesorowej doprowadził ostatecznie w 1968 roku do skonstruowania pierwszego sterownika programowalnego (Modicon 084). Powszechne zastosowanie tego typu urządzeń znacznie ułatwiło automatyzację procesów, a sterowniki PLC stały się obowiązującym standardem w automatyzacji produkcji.