

Dobór nastaw PID regulatorów LB-760A i LB-762

• Strojenie regulatorów LB-760A i LB-762



Nastawy regulatora PID

Regulatory PID (rolnicze np.: LB-760A - poczynając od wersji 7.1 programu ładowalnego, LB-762 i regulatory uniwersalne, np.: LB-600, LB-472, LB-708) umożliwiają uzyskanie stabilnych parametrów regulacji, ale wymagają doświadczonego zmierzania zachowania kontrolowanego obiektu (np. hali) i wpisania do regulatorów odpowiednich współczynników informujących procedurę PID o tym, z jakim obiektem współpracuje. Współczynniki PID, które należy zaprogramować osobno dla każdego procesu (grzania, chłodzenia, nawilżania i osuszania), to w szczególności:

- K_p – wzmacnienie regulatora, które podaje, jak bardzo sygnał błędu (czyli różnica pomiędzy wartością zadaną a zmierzoną) jest wzmacniany przed podaniem go wyjście regulatora. W praktyce, im będzie mniejsza wydajność układu wykonawczego (np. nagrzewnicy), tym będzie wymagane większe wzmacnienie regulatora. Zbyt duża wartość wzmacnienia będzie powodowała silne wahanie się pomiaru wokół wartości zadanej, a zbyt mała – będzie powodowała "opieszłą" reakcję układu.
- T_i – czas całkowania (zdwojenia), który podaje, z jaką prędkością (czyli w jakim czasie) należy zmieniać sygnał na wyjściu regulatora. Jeżeli czas ten (przykładowo) zwiększymy dwukrotnie, to regulator będzie zmieniał dwa razy wolniej sygnał na wyjściu związanym z tym współczynnikiem.
- T_d – czas różniczkowania (wyprzedzenia), który podaje, o ile wcześniej należy ograniczać sygnał wyjściowy regulatora, aby nie doprowadzić do przeregulowania (oscylacji) stabilizowanego parametru (np. temperatury). Typowo, czas wyprzedzenia T_d powinien być kilkakrotnie mniejszy od czasu zdwojenia T_i .
- OZK (współczynnik charakterystyczny dla regulatorów LB-760A i LB-762) – odchyłka zmiany kierunku, po przekroczeniu której następuje zmiana kierunku działania regulatora. Przykładowo, jeżeli regulator grzeje, a różnica pomiędzy temperaturą zmierzona powietrza a zadaną jest większa od OZK dla "Grzania", to regulator przejdzie do trybu stabilizowania temperatury przez chłodzenie. Wartość tych odchyłek nie powinna być zbyt mała (nie mniejsza niż 1,5 °C i 5% RH), gdyż będzie powodowała zbyt częste przełączanie się pomiędzy przeciwstawnymi kierunkami działania regulatora, co zwiększy straty energetyczne.
- Odchyłki opóźnione (współczynnik charakterystyczny dla regulatorów LB-760A i LB-762), które wywołują zmianę kierunku działania regulatora przy długotrwałym błędzie. Wartość tych odchyłek powinna być tak dobrana (około 0,2 °C i 0,5%), aby wystarczająco mały błąd powodował zmianę kierunku działania po upływie czasu, po którym parametry w hali się ustabilizują (typowo nie mniej niż 0,5 godziny = 1800 sekund).

Przeprowadzanie eksperymentu strojenia

Dokładne dobranie nastaw PID (strojenie) można uzyskać przeprowadzając eksperymentalny pomiar zachowania obiektu (hali) mierząc odpowiedź obiektu na skok jednostkowy w układzie otwartym (czyli z wyłączoną regulacją automatyczną). Eksperyment polega on na zbadaniu, jak ręczne zmiany sterowania (zmiany sygnałów wyjściowych regulatora) wpływają na pomiary w obiekcie. Podczas eksperymentu należy uwzględnić poniższe wymagania:

- Przeprowadzenie strojenia jest możliwe tylko dla tej funkcji, która jest aktualnie wykorzystywana do

stabilizacji parametrów obiektu. Przykładowo, jeżeli stabilizacja temperatury następuje poprzez grzanie, to nie można wykonać w tym czasie strojenia dla chłodzenia.

- Powinny być zapewnione odpowiednie docelowe wartości mediów (temperatur wody gorącej i lodowej).
- Powinny być możliwie stabilne warunki zewnętrzne. Strojenie może być trudne rano, wieczorem, po nagłych opadach deszczu itp.
- Osuszanie przeprowadza się poprzez chłodzenie, co powoduje wykroplenie wody chłodnicą przy temperaturze poniżej punktu rosy, a następnie podgrzewanie powietrza do wymaganej temperatury. W tym przypadku należy więc pozostawić wyjście grzania w trybie sterowania automatycznego tak, by temperatura powietrza w hali była utrzymywana na stałym zadanym poziomie.
- Należy zachować następującą kolejność strojenia: najpierw dla temperatury (grzanie i chłodzenie), a po uzyskaniu stabilnej regulacji temperatury w hali – dopiero dla wilgotności (nawilżanie i osuszanie). Strojenie dla stężenia CO₂ można przeprowadzić w dowolnym momencie.
- Należy też zwrócić uwagę na fakt, że niestabilna temperatura będzie wywoływała niestabilną wilgotność w hali (zmiana o 1°C przekłada się na zmianę wilgotności względnej powietrza o około 6%), dlatego regulację należy zawsze rozpocząć od temperatury.

Podczas strojenia należy wykonać następujące operacje:

- Na czas strojenia przełączyć w regulatorze okres rejestracji danych na 30 sekund, co pozwoli na precyzyjny odczyt wyników z zarejestrowanych wykresów (*Ustawienia sprzętowe*, zakładka *Ogólne*).
- Przełączyć regulator w tryb ręczny (ustawić ręczny tryb sterowania wyjść i zaprogramować ręcznie taką moc sterującą tych wyjść, jaka odpowiada średniej obserwowanej mocy sterującej dla danego wyjścia dla wymaganego klimatu w hali).
- Począć na ustabilizowanie się warunków w hali bez regulacji (na wybranych ustawieniach ręcznych sygnałów wyjściowych).
- Zmienić wartość sygnału wyjściowego na badanym wyjściu o ustaloną wartość (np. zwiększyć sygnał grzania o 10%).
- Zaobserwować i zarejestrować na wykresie reakcję wartości pomiaru (np. temperatury w hali) na ten skok aż do czasu ponownego ustabilizowania się nowych warunków w hali. Reakcja hali powinna być wyraźnie widoczna w postaci zmiany asymptotycznie dążącej do nowej wartości (np. temperatury).
- Na podstawie przebiegu zmian regulowanego parametru (np. temperatury) odczytać z wykresu charakterystyczne stałe obiektu i obliczyć parametry PID regulatora na podstawie poniższych prostych wzorów.
- Wpisać obliczone parametry PID do regulatora (dla tej funkcji, której dotyczył przeprowadzony eksperyment) i przełączyć regulator w tryb sterowania automatycznego z nowymi parametrami PID.
- Po ukończeniu strojenia przywrócić w regulatorze 10 minutowy okres rejestracji (600 sekund).

Brak wyraźnego wpływu wartości sterowania na zmianę wyniku pomiaru w obiekcie świadczy o problemach technicznych z urządzeniami wykonawczymi, jak np.:

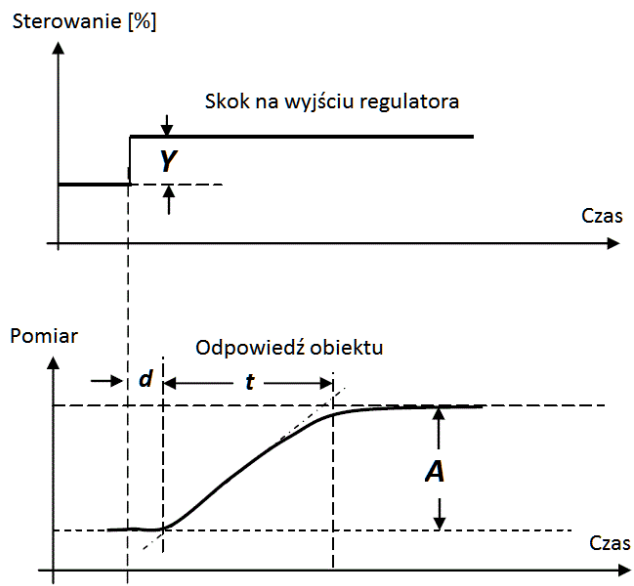
- za mała wydajność źródeł energii,
- zbyt mała temperatura mediów,
- znaczne skoki wydajności mediów - przekraczające zmiany pomiaru wywołane zadanym skokiem sygnału sterowania podczas eksperymentu (wynik pomiaru "schował" się pod zakłóceniami),
- źle dobrane wartości nastaw podczas eksperymentu strojenia.

W tym przypadku, wyliczenie parametrów PID będzie obarczone dużym błędem lub wręcz niemożliwe. Należy wtedy przeanalizować przyczynę tego zjawiska i wprowadzić w obiekcie odpowiednie zmiany techniczne tak, by wynik pomiaru był wyraźnie zależny od sygnału sterowania. W przypadku braku tej zależności regulator nie dokona "cudów" i nie uzyskamy odpowiednio stabilnej regulacji.

Obliczanie nastaw PID

Teoretyczne przebiegi zachowania każdego układu w funkcji czasu podczas przeprowadzania eksperymentu (przeprowadzanego metodą "badania odpowiedzi na skok jednostkowy w układzie otwartym") przedstawiono na rysunku 1, gdzie:

- Y – skok sygnału sterującego (np. dla zmiany mocy wyjścia grzania z 30% na 40 % skok wyniesie $40 - 30 = 10\%$), przebieg górny (rys. 1),
- A – zmiana pomiaru w hali wywołana skokiem sygnału sterującego (np. zmiana temperatury w hali),
- d – opóźnienie początku zmiany pomiaru w hali w porównaniu z czasem dokonania skoku (w sekundach),
- t – czas trwania zmiany pomiaru w hali (np. czas wzrostu temperatury w hali, w sekundach).



Rys. 1. **Teoretyczne przebiegi podczas eksperymentu strojenia metodą odpowiedzi na skok jednostkowy w układzie otwartym.**

Jednostkami pomiarów opisujących odpowiedzi obiektu A są odpowiednio: 1°C , 1% wilgotności względnej RH i 100ppm stężenia CO_2 .

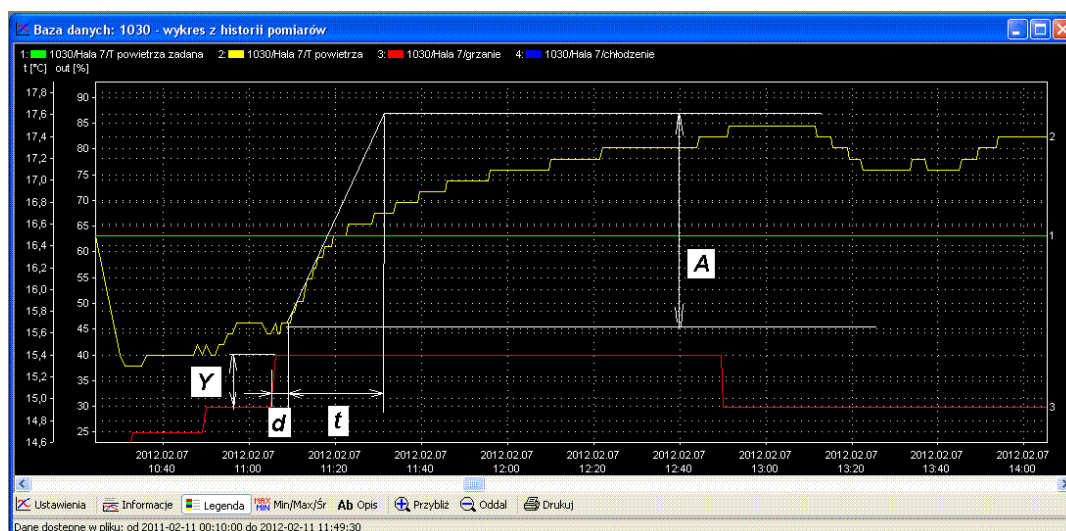
Przy wyznaczaniu czasów d oraz t należy przeprowadzić styczną w punkcie największego nachylenia zarejestrowanego pomiaru (np. zmiennej temperatury w hali) tak, jak to przykładowo pokazano na rys. 1, 2 i 3.

Na tej podstawie można wyznaczyć parametry PID dość bliskie optymalnym (dla grzania, chłodzenia, nawilżania i osuszania), które następnie należy zaprogramować w regulatorze:

- Wzmocnienie regulatora: $K_p = Y * t / (d * A)$,
- Czas całkowania (zdwojenia) regulatora: $T_i = 2,4 * d$,
- Czas różniczkowania (wyprzedzenia) regulatora: $T_d = 0,4 * d$,

przy czym, jeżeli np. przeprowadzaliśmy eksperyment z grzaniem, to obliczone parametry dotyczą parametrów PID dla grzania itd.

Przykładowe przebiegi podczas eksperymentu



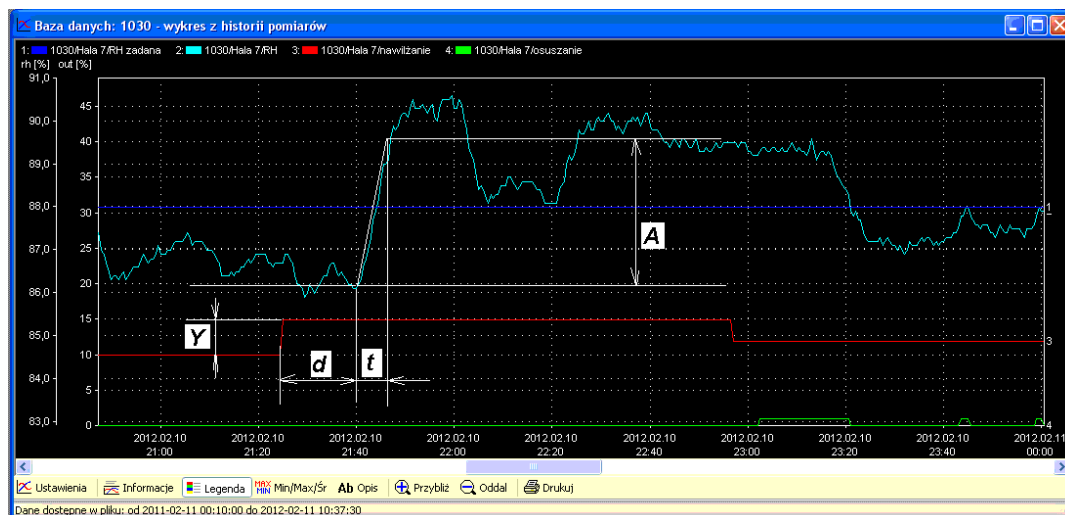
Rys. 2. **Rzeczywiste przebiegi uzyskane podczas eksperymentu strojenia grzania.**

Przykładowo, podczas badania zachowania grzania w rzeczywistym obiekcie uzyskano przebiegi jak na rysunku 2. Dla wymuszonego skoku wyjścia grzania $Y = 10\%$ odczytano z wykresu wartości: $d = 5 * 60 = 300$ sekund, $t = 20 * 60 = 1200$ sekund i $A = 2^{\circ}\text{C}$. Obliczone parametry PID dla grzania wyniosą

więc:

- Wzmocnienie regulatora: $K_p = Y * t / (d * A) = 10 * 1200 / (300 * 2) = 20$,
- Czas całkowania regulatora: $T_i = 2,4 * d = 2,4 * 300 = 720$ s,
- Czas różniczkowania regulatora: $T_d = 0,4 * d = 0,4 * 300 = 120$ s.

Szczególną uwagę należy zwrócić na dokładny pomiar czasu d , gdyż na jego podstawie oblicza się oba współczynniki: T_i oraz T_d . Współczynnik T_d powinien być w przybliżeniu od 4 do 8 razy mniejszy od T_i . Zmierzony przebieg skuteczności grzania świadczy o poprawnym działaniu urządzeń wykonawczych, reakcja jest szybka i zgodna z oczekiwaniami teorii regulacji (przedstawionymi na rys. 1).



Rys. 3. Rzeczywiste przebiegi uzyskane podczas eksperymentu strojenia nawilżania.

W drugim przykładzie, podczas badania zachowania nawilżania w rzeczywistym obiekcie uzyskano przebiegi jak na rysunku 3. Dla wymuszonego skoku wyjścia nawilżania $Y = 5\%$ odczytano z wykresu wartości: $d = 16 * 60 = 960$ sekund, $t = 6 * 60 = 360$ sekund i $A = 3,2\%$ RH. Obliczone parametry PID dla nawilżania wyniosą więc:

- Wzmocnienie regulatora: $K_p = Y * t / (d * A) = 5 * 360 / (960 * 3,2) = 1$,
- Czas całkowania regulatora: $T_i = 2,4 * d = 2,4 * 960 = 2300$ s,
- Czas różniczkowania regulatora: $T_d = 0,4 * d = 0,4 * 960 = 380$ s.

Zmierzony przebieg regulacji nawilżania nie świadczy o dobrym działaniu urządzeń, reakcja wilgotności na sygnał sterowania jest znacznie opóźniona (o $d = 960$ s), a po zbyt szybkim wzroście wilgotności następują samoistne oscylacje wilgotności w hali (bez udziału regulatora). Zmiany te nie są zgodne z oczekiwaniami teorii regulacji, co objawi się trudnościami w uzyskaniu dokładnej regulacji.

Korekta nastaw PID

Po zaprogramowaniu obliczonych nastaw PID dalszą korektę (dla uzyskania lepszej pracy regulatora – czyli stabilniejszego zachowania wyjść regulatora) należy wykonywać poprzez zmianę współczynników PID. Należy zmieniać tylko ten zestaw parametrów PID, który dotyczy korygowanego procesu (np. nastawy PID grzania, gdy chcemy poprawić stabilność grzania). Parametry PID oddziałują między sobą, należy więc wprowadzać zmiany tylko jednego parametru, poczekać na zmianę zachowania układu, i na tej podstawie ocenić, czy zmiany idą w dobrą stronę. Parametry najlepiej jest dobierać zmieniając wartość na dwa razy większą lub dwa razy mniejszą. Podczas zmian należy kierować się następującymi zasadami:

- Wolna odpowiedź obiektu:
 - zwiększyć wzmocnienie K_p ,
 - zmniejszyć czas całkowania T_i oraz czas różniczkowania T_d ,
- Przeregulowania:
 - zmniejszyć wzmocnienie K_p ,
 - zwiększyć czas różniczkowania T_d ,
- Oscylacje:
 - zmniejszyć wzmocnienie K_p ,
 - zwiększyć czas całkowania T_i ,

- zmniejszyć czas różniczkowania T_d ,
- Niestabilność:
 - zwiększyć czas całkowania T_i .

Przykładowo uzyskane rezultaty strojenia



Rys. 4. Rzeczywista regulacja po zestrojeniu PID grzania.

Przykładowo, rzeczywiste rezultaty po przeprowadzeniu strojeniu grzania i zaprogramowaniu obliczonych parametrów PID przedstawiono na rys. 4. Na wykresach widać stabilną regulację temperatury z małym błędem ($\pm 0,2^\circ\text{C}$) i poprawną reakcję urządzeń na skokową zmianę wartości zadanej o 1°C .

Nastawy regulacji CO2

Podczas eksperymentu z regulacją stężenia CO_2 wyznacza się tylko wzmocnienie regulatora: $K_p = Y / A$. W tym przypadku w tryb sterowania ręcznego należy przełączyć tylko wyjścia wentylacji i powietrza (sterowanie klapą dopływu świeżego powietrza), pozostawiając pozostałe wyjścia regulatora w trybie automatycznym. Wywołanie testowego skoku wartości sygnału wyjściowego polega na zmianie wyjścia sterowania powietrzem (czyli zmianie położenia przepustnic powietrza w komorze mieszania).

Przykładowo dla CO_2 : dla skoku wyjścia powietrza o $Y = 15\%$ i wywołanej tym zmiany mierzonego stężenia $A = 1000\text{ppm} = 10 * 100\text{ppm}$, obliczone wzmocnienie regulatora wyniesie: $K_p = Y / A = 15 / 10 = 1,5$.

Nastawy pomocnicze

Nastawy pomocnicze dla regulatorów LB-760A i LB-762 służą do zapewnienia optymalnego przejścia pomiędzy przeciwstawnymi urządzeniami wykonawczymi, to jest pomiędzy grzaniem i chłodzeniem, oraz pomiędzy nawilżaniem i osuszaniem. Zalecane wartości pomocniczych nastaw towarzyszących parametrom PID w zakładce *Regulacja* są następujące:

- dla temperatury:
 - dla grzania i chłodzenia: odchyłka zmiany kierunku (OZK) = $1,5^\circ\text{C}$,
 - odchyłka zmiany kierunku przy długotrwałym błędzie = $0,2^\circ\text{C}$,
- dla wilgotności:
 - dla nawilżania i osuszania: odchyłka zmiany kierunku (OZK) = 5% ,
 - odchyłka zmiany kierunku przy długotrwałym błędzie = $0,5\%$,
 - czas długotrwałego błędu = 2400 sekund.

Nie należy tych odchyłek ustawiać na wartości zbyt małe, gdyż zbyt często będą naprzemiennie włączać się urządzenia od zmniejszania i zwiększania danego parametru, co spowoduje wzrost zużycia energii.