

Politechnika Lubelska

Katedra Automatyki i Metrologii

Laboratorium

**Automatyki i Regulacji
Automatycznej**

ELEKTROTECHNIKA

Ćwiczenie nr 3

**Temat: Analiza układu automatycznej regulacji
z regulatorem PID**

3.1 Wstęp

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z jednowymiarowym układem sterowania (SISO), pracującym w strukturze zamkniętej (z ujemnym sprzężeniem zwrotnym), zawierającym obiekt ciągły i analogowy regulator PID, przebadanie wpływu jego nastaw na przebieg procesu regulacji oraz nabycie umiejętności praktycznego ich doboru.

Ćwiczenie obejmuje:

- identyfikację obiektu regulacji,
- badanie wpływu struktury i nastaw regulatora PID na właściwości układu automatycznej regulacji określane czasowymi wskaźnikami jakości,

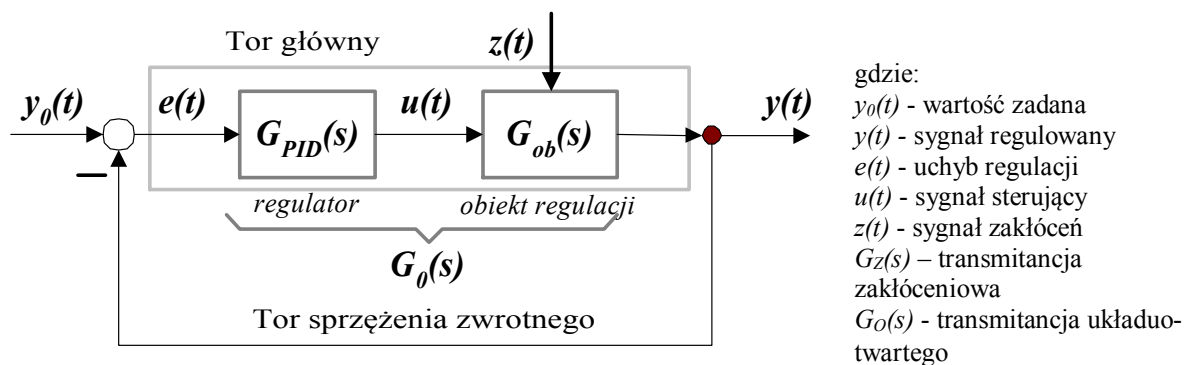
Przeprowadzane w ćwiczeniu badania i synteza dokonywana jest w dziedzinie czasu, metodą symulacji komputerowej, wykorzystującej aplikację zbudowaną w środowisku MATLAB-SIMULINK lub LabVIEW.

3.2 Układy regulacji ze sprzężeniem zwrotnym

Pojęcie układu regulacji

Sterowanie jest to świadome, kontrolowane oddziaływanie na proces fizyczny, mające na celu uzyskanie wymaganego przebiegu tego procesu.

Pod pojęciem **układ sterowania** rozumie się zespół współdziałających ze sobą urządzeń (i ludzi), który realizuje proces fizyczny oraz sterowanie jego przebiegiem. Układ sterowania składa się z dwóch podstawowych członów funkcjonalnych: **obiekту sterowanego**, w którym zachodzi dany proces fizyczny, oraz **urządzenia sterującego**, wytwarzającego sygnały sterujące przebiegiem procesu. Ze względu na sposób powiązania tych członów można rozróżnić dwa rodzaje sterowania: sterowanie w układzie otwartym i sterowanie w układzie zamkniętym. Sterowanie w układzie zamkniętym nazywa się **regulacją**, zaś układ, w którym realizowana jest regulacja - **układem regulacji**. Podstawowy schemat blokowy układu regulacji oraz oznaczenia i nazwy sygnałów przedstawia rys.3.1.



Rys.3.1. Elementarny schemat blokowy jednowymiarowego układu regulacji (SISO)

Regulacja jest szczególnym przypadkiem sterowania. W odniesieniu do układu regulacji poszczególne nazwy (w porównaniu z nazwami w układzie sterowania) będą więc następujące:

- zamknięty układ sterowania - **układ regulacji**,
- obiekt - **obekt regulowany**,
- sygnał sterowany - **sygnał regulowany**,
- urządzenie sterujące - **regulator**.

Podczas procesu sterowania w układzie regulacji ciągłej (analogowej) regulator jest nieprzerwanie "informowany" o aktualnej wartości wielkości regulowanej $y(t)$. Sygnał sterujący $u(t)$ zależy od sygnału

regulowanego i musi być tak kształtowany, aby zapewnić wymagany przebieg wielkości regulowanej $y(t)$ zadawanej sygnałem $y_0(t)$, niezależnie od zakłóceń $z(t)$ i zmian parametrów obiektu regulowanego. Zadanie sterowania realizowane jest automatycznie dzięki **sprzężeniu zwrotnemu**. Sygnał regulowany $y(t)$ (jego aktualna wartość) jest porównywany z sygnałem zadaniem $y_0(t)$, określającym wartość wielkości $y(t)$, wymaganą w procesie sterowania. Różnica tych sygnałów $e(t)$ - zwana **uchybem regulacji** - jest przetwarzana w regulatorze w sygnał sterujący $u(t)$ (zgodnie z jego „strategią”). Rola regulatora w układzie polega na takim oddziaływaniu na obiekt regulowany, aby w każdej chwili czasu dążyć do zrównania wartości $y(t)$ z wartością $y_0(t)$, czyli sygnał sterujący z regulatora powinien prowadzić do wyzerowania uchybu regulacji.

Zadanie stojące przed układem regulacji jest określone przez charakter sygnału $y_0(t)$ (wartość zadana wielkości regulowanej). Może on przybierać wartość stałą (**regulacja stalowartościowa**), może być zmienny według określonego programu (**regulacja programowa**) lub może mieć przebieg przypadkowy (**regulacja nadążna**).

Przykładem regulacji stalowartościowej może być stabilizacja poziomu cieczy, materiału sypkiego w zbiorniku, natężenia przepływu medium, temperatury bądź napięcia prądu elektrycznego, itp. Przykładem regulacji programowej może być regulacja procesu obróbki cieplnej według określonego harmonogramu przebiegu temperatury, sterowanie procesem obróbki mechanicznej detali, regulacja przebiegu procesu chemicznego, itp. Przykładem regulacji nadążnej może być np. regulacja procesem śledzenia położenia radaru przez urządzenie naprowadzające.

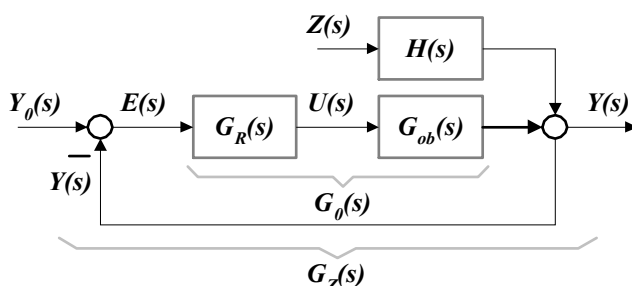
Sterowanie w **układzie otwartym** ma miejsce wtedy, gdy urządzenie sterujące (regulator, człowiek) nie jest informowane o zmianach sygnału sterowanego, czyli nie istnieje informacyjne sprzężenie zwrotne o efektach sterowania. Ten sposób sterowania wymaga:

- znajomości modelu matematycznego obiektu,
- niezmienności (stacjonarności) charakterystyk obiektu,
- braku zakłóceń lub możliwości ich pomiaru w celu ich kompensacji.

Pomimo iż dokładne spełnienie powyższych założeń w rzeczywistości jest niemożliwe, ten sposób oddziaływania na obiekty jest często jedyną możliwością sterowania, szczególnie tzw. trudnych obiektów. Przykładami tego typu sterowania jest np.: sterowanie natężeniem przepływu w rurociągu na podstawie podziałki stopnia otwarcia zaworu, ręczne sterowanie napięciem wyjściowym autotransformatora na podstawie położenia suwaka, sterowanie złożonych procesów chemicznych, cementowych i innych w oparciu o model matematyczny.

Struktura liniowego układu automatycznej regulacji i związki pomiędzy sygnałami

Traktując ciągły UAR (Układ Automatycznej Regulacji) jako liniowy i dokonując analizy jego zachowań w czasie ciągłym, wygodnie jest posługiwać się rachunkiem operatorowym oraz pojęciem transmitancji operatorowych, wiążących interesujące sygnały w układzie. Schemat blokowy liniowego układu regulacji pokazany jest na rys.3.2. Oznaczono na nim transmitancję obiektu przez $G_{ob}(s)$, regulatora $G_R(s)$, transformaty odpowiednich sygnałów tzn.: zadanego, uchybu, regulującego, regulowanego i zakłócenia - odpowiednio przez $Y_0(s)$, $E(s)$, $U(s)$, $Y(s)$, $Z(s)$. Przez $H(s)$ oznaczona jest transmitancja zakłócenia układu regulacji. Jeżeli $H(s)=1$ tzn., że zakłócenie (zastępcze) oddziałuje bezpośrednio na wyjście obiektu; jeżeli $H(s)=G_{ob}(s)$ - zakłócenie oddziałuje na wejście obiektu, ale na schemacie blokowym ujmowane jest to w postaci zakłócenia sprowadzonego na wyjście obiektu.



Transformaty Laplace'a

- $Y_0(s)$ - wartości zadanej
- $Y(s)$ - sygnału regulowanego
- $E(s)$ - uchybu regulacji
- $U(s)$ - sygnału sterującego
- $Z(s)$ - sygnału zakłócającego
- $G_Z(s)$ - transmitancjaUAR

Rys. 3.2. Schemat blokowy jednowymiarowego liniowego układu regulacji

$G_o(s)$ - transmitancja układu otwartego

$$G_o(s) = \frac{Y'(s)}{E(s)} \Big/ Z(s) = 0 \quad (3.1)$$

$G_z(s)$ - transmitancja układu otwartego

$$G_z(s) = \frac{Y(s)}{Y_0(s)} \Big/ Z(s) = 0 \quad (3.2)$$

Z rysunku 3.2. wynikają następujące zależności:

$$E(s) = Y_0(s) - Y(s) \quad (3.3)$$

$$Y(s) = G_r(s) \cdot G_{ob}(s) \cdot E(s) + H(s) \cdot Z(s) \quad (3.4)$$

Po przekształceniach otrzymano:

$$E(s) = \frac{1}{1 + G_o(s)} \cdot Y_0(s) - \frac{H(s)}{1 + G_o(s)} \cdot Z(s) \quad (3.5)$$

oraz

$$Y(s) = \frac{G_o(s)}{1 + G_o(s)} \cdot Y_0(s) + \frac{H(s)}{1 + G_o(s)} \cdot Z(s) \quad (3.6)$$

Zależności (3.5) i (3.6) umożliwiają wyznaczenie przebiegów $y(t)$ i $e(t)$ przy zadanych $y_0(t)$ i $z(t)$ i znanych transmitancjach.

Transmitancją uchybową ze względu na wartość zadaną nazywamy wyrażenie:

$$G_u(s) = \frac{1}{1 + G_o(s)} = \frac{E(s)}{Y_0(s)} \Big/ Z(s) = 0 \quad (3.7)$$

Transmitancją uchybową ze względu na zakłócenie nazywamy wyrażenie

$$G_{zakl.}(s) = \frac{H(s)}{1 + G_o(s)} = \frac{E(s)}{Z(s)} \Big/ Y_0(s) = 0 \quad (3.8)$$

Z zależności (3.5) wynika, że aby uchyb regulacji $e(t)$ dla dowolnego wymuszenia $y_0(t)$ i dowolnego zakłócenia $z(t)$ dążył do zera, transmitancja układu otwartego $G_o(s)$ (czyli wzmacnienie) musi dążyć do nieskończoności. Warunek ten jest często sprzeczny z warunkami stabilności układu regulacji automatycznej.

3.3 Jakość układów regulacji

Generalnym zadaniem układu regulacji jest minimalizacja **uchybu regulacji**, czyli różnicy pomiędzy wartością zadaną $y_0(t)$, a aktualnie występującą na wyjściu obiektu $y(t)$; $e(t) = y_0(t) - y(t)$.

W idealnym układzie sygnał $y(t)$ powinien dokładnie odwzorowywać $y_0(t)$, wtedy $e(t) = 0$. Tak jednak nie dzieje się nigdy z uwagi na istnienie „dynamiki” procesu i zakłóceń. Aby skompensować wpływ dynamiki obiektu oraz zakłóceń należy znać (mierzyć) uchyb regulacji $e(t)$ i na jego podstawie oddziaływać na obiekt tak, aby dążyć do zlikwidowania różnicy pomiędzy wartością zadaną a aktualną regulowaną wielkością. Na tym właśnie polega idea zamkniętego układu sterowania, czyli układu pracującego z ujemnym

sprężeniem zwrotnym. Urządzeniem wypracowującym sygnał sterujący $u(t)$ wg określonej strategii jest **regulator**. Najbardziej rozpowszechnionym typem regulatora jest regulator PID, którego własności (strategię) opisuje równanie dynamiki postaci:

$$u(t) = K_p \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right\} \quad (3.9)$$

Odpowiadająca mu transmitancja ma postać:

$$G_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (3.10)$$

Regulator PID wypracowuje na swoim wyjściu sygnał sterujący, który jest sumą (z odpowiednio dobranymi wagami - nastawami), działania proporcjonalnego, całkującego i różniczkującego. Przy odpowiednio dobranych nastawach powyższa struktura równoległa daje możliwość realizacji algorytmu:

- Proporcjonalnego **P**,
- proporcjonalno – całkującego **PI**,
- proporcjonalno – różniczkującego **PD**,
- proporcjonalno - całkująco – różniczkującego **PID**.

Do oceny stopnia realizacji zadania przez UAR wykorzystywane są w praktyce różnorodne kryteria (wskaźniki) jakości: Są to najczęściej dla dziedziny czasu:

1. Stabilność układu -podstawowy wymóg stawiany układowi automatycznej regulacji - często jedynym celem zastosowania układu automatyki "na obiekcie" jest ustabilizowanie jego pracy,

2. Dokładność statyczna, czyli **uchyby regulacji w stanie ustalonym** (e_u) - określa, czy układ osiąga wartość zadaną, gdy ustaną procesy przejściowe,

3. Zapewnienie żądanych własności dynamicznych

„Dynamiczną” jakość UAR określa się z pomocą szeregu wskaźników, odnoszących się do wybranych cech przebiegu przejściowego odpowiedzi skokowej lub uchybu (od wymuszenia lub zakłócenia). Są to najczęściej (rys. 3.3):

- **Czas regulacji, ustalania** t_r - liczony od początku przebiegu przejściowego do chwili, gdy sygnał trwale wejdzie w zakres wartości $(k - \varepsilon; k + \varepsilon)$, gdzie k to wartość ustalona sygnału regulowanego, a ε to założony „margines” np. $0,01k$ (1% wartości ustalonej).
- **Przeregulowanie** maksymalne M_p (oznaczane także jako p) - określane jako procentowy udział ujemnego uchybu maksymalnego do dodatniej wartości ustalonej sygnału regulowanego, innymi słowy jest to stosunek modułu wartości maksymalnej sygnału regulowanego do modułu wartości ustalonej tego sygnału pomniejszony o jeden. Przeregulowanie rośnie w miarę zbliżania się układu do granicy stabilności. Przeregulowanie odpowiedzi skokowej jest miarą stabilności układu zamkniętego. Jeżeli rozpatrywany jest przebieg uchybu regulacji (np. w odpowiedzi na skokowe zakłócenie) lub odpowiedź swobodna układu, to jako analogiczny wskaźnik przeregulowań stosuje się współczynnik zanikania.
- **Współczynnik zanikania** κ . tj. iloraz wartości bezwzględnych amplitud dwóch sąsiednich przeregulowań:

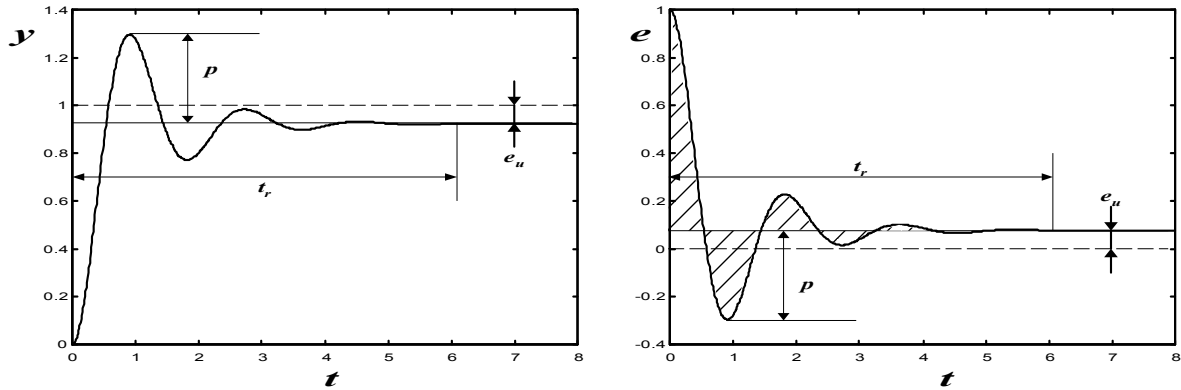
$$\kappa = \left| \frac{e_{p2}}{e_{p1}} \right| \cdot 100\% .$$
- **Czas narastania** t_n tj. czas potrzebny do tego, aby charakterystyka skokowa osiągnęła od 10% do 90% wartości ustalonej. Czas narastania określa szybkość działania układu regulacji.

W przypadku przebiegów aperiodycznych przeregulowanie jest równe 0. Dla układu znajdującego się na granicy stabilności przeregulowanie =100%. Jeżeli układ zamknięty (nawet jeśli jest to układ wyższego rzędu) można aproksymować transmitancją członu oscylacyjnego II rzędu postaci:

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2} .$$

gdzie: ω_n – częstotliwość drgań własnych nietłumionych, ξ – względny współczynnik tłumienia

- **Aperiodyczność** lub **oscylacyjność** - przebiegi aperiodyczne charakteryzują się brakiem oscylacji.



Rys.3.3. Przykładowa odpowiedź skokowa UAR $y(t)$ oraz odpowiadający jej przebieg uchybu $e(t)$

- **Kryteria całkowe.** Wskaźniki te całościowo ujmują jakość przebiegu regulacji. Należy zauważyć, że jakość regulacji jest tym lepsza, im mniejsze jest pole ograniczone przebiegiem $e(t)$ i e_u . Najczęściej w praktyce wykorzystywane są wskaźniki całkowe definiowane jako:

$$ISE = \int_0^{\infty} [e_u - e(t)]^2 dt \quad (3.11)$$

$$IAE = \int_0^{\infty} |e_u - e(t)| dt \quad (3.12)$$

3.4 Dokładność statyczna układu

Miarą dokładności w stanie ustalonym układu regulacji są wartości uchybu w stanie ustalonym:

$$e_u = Y_{0ust}(t) - Y_{ust}(t) \quad (3.13)$$

$$e_u = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E(s) \quad (3.14)$$

Jak wynika z wzoru (3.5) w ogólnym przypadku uchyb ustalony jest sumą składowych: składowej wywołanej zmianą wartości zadanej i składowej wywołanej zakłóceniami. Poszczególne składowe uchyby ustalonego wyznaczyć można z twierdzenia o wartości końcowej (wzór 3.14).

Decydujący wpływ na dokładność statyczną dla różnych typów sygnałów wymuszających ma postać transmitancji układu otwartego $G_0(s)$ tzn. liczba jej zerowych biegunów, czyli liczba idealnych członów całkujących włączonych do układu otwartego. Układy, w których transmitancja układu otwartego $G_0(s)$ nie ma biegunów zerowych, nazywane są układami statycznymi. Układy, w których istnieje co najmniej jeden biegun zerowy, nazywa się układami astatycznymi. Układ zamknięty jest układem astatycznym l-tego stopnia, jeżeli układ otwarty zawiera "l" połączonych szeregowo idealnych członów całkujących, czyli jego transmitancja ma postać:

$$G_0(s) = \frac{L(s)}{s^l M(s)} \quad (3.15)$$

Układ astatyczny l-tego rzędu odtwarza lub (i) kompensuje dokładnie w stanie ustalonym (z uchybem $e_u = 0$) sygnały zewnętrzne l-1 rzędu.

Korzystając z zależności (3.5) i (3.14) możliwe jest wyznaczenie wyrażenia, z którego można wyliczyć wartość uchybu ustalonego od wybranego sygnału. Np. dla wymuszenia $y_0(t)$ w postaci skoku jednostkowego dla którego $L[1(t)] = 1/s$ otrzymuje się:

$$e_u = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot G_u(s) \cdot Y_0(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + G_0(s)} \quad (3.16)$$

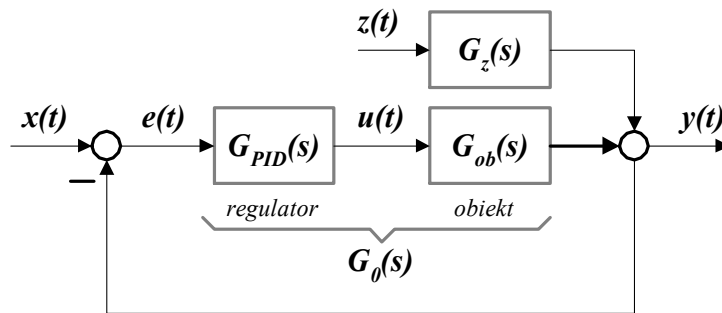
Z zależności (3.16) wynika, że uchyb ustalony, dla wymuszenia w postaci skoku położenia (tzw. uchyb położeniowy lub statyczny) w układach statycznych istnieje, ale maleje wraz ze wzrostem współczynnika wzmocnienia układu otwartego z zależnością odwrotnie proporcjonalną, czyli:

$$e_u = \frac{1}{1 + K_o} \quad (3.17)$$

gdzie przez K_o oznaczono współczynnik wzmocnienia układu otwartego.

Rola ujemnego sprzężenia zwrotnego oraz wpływ współczynnika wzmocnienia układu otwartego na parametry układu zamkniętego

Do rozważań przyjęty został UAR o elementarnej strukturze przedstawionej na rys.3.4.



Rys. 3.4. Schemat blokowy rozpatrywanego układu regulacji (układ jednopętlowy, ze sztywnym ujemnym sprzężeniem zwrotnym, bez uwzględnienia zakłóceń, czyli $z(t)=0$ - rozpatrywane będą tylko właściwości nadążne UAR

Układ będzie zawierał regulator o transmitancji $G_r(s) = K_R$ (bierzemy pod uwagę tylko działanie proporcjonalne) oraz obiekt oscylacyjny 2-go rzędu o transmitancji

$$G_{ob}(s) = \frac{K_{ob}}{T_o^2 s^2 + 2\xi T_o s + 1} \quad (3.18)$$

Przez zmianę nastawy regulatora (współczynnika wzmocnienia) można wpływać na współczynnik wzmocnienia układu otwartego K_o (będącego iloczynem współczynnika wzmocnienia regulatora i obiektu regulacji). Właściwości rozpatrywanego UAR (stabilność, dynamika przebiegów uchybu od zakłóceń i (lub) wymuszeń, dokładność w stanie ustalonym itd.) będą ogólnie mówiąc zależały od dynamiki i statyki obiektu (parametrów jego modelu matematycznego - transmitancji), wartości nastawy regulatora oraz struktury układu (faktu objęcia obiektu ujemnym sprzężeniem zwrotnym). Na obiekt $G_{ob}(s)$ pracujący w układzie automatycznej regulacji należy spojrzeć jak na nowy obiekt o transmitancji zastępczej równej transmitancji układu zamkniętego $G_z(s)$ i nowych właściwościach determinowanych przez zastępcze parametry. Transmitancję $G_z(s)$ wyznacza się ze znanej powszechnie zależności, która w odniesieniu do rozpatrywanego układu ma następującą postać:

$$G_z(s) = \frac{G_o(s)}{1 + G_o(s)} = \frac{G_r(s) \cdot G_{ob}(s)}{1 + G_r(s)G_{ob}(s)} \quad (3.19)$$

Po podstawieniu do zależności (3.22) postaci odpowiednich transmitancji i po kolejnych przekształceniach otrzymuje się wyrażenie na transmitancję zastępczą obiektu postaci

$$G_z(s) = \frac{K_z}{T_{oz}^2 s^2 + 2\xi_z T_{oz} s + 1} \quad (3.20)$$

o parametrach zastępczych równych

$$K_z(s) = \frac{K_R K_{ob}}{1 + K_R K_{ob}} \quad (3.21)$$

$$T_{oz}(s) = \frac{T_o}{\sqrt{1 + K_R K_{ob}}} \quad (3.22)$$

$$\xi_{oz}(s) = \frac{\xi}{\sqrt{1 + K_R K_{ob}}} \quad (3.23)$$

Dokonując analizy wyprowadzonych zależności można podać następujące cechy **statycznego** UAR oraz wnioski:

1. Rząd układu zamkniętego pozostaje taki sam jak rząd układu otwartego tzn. układ strukturalnie stabilny przed zamknięciem pozostanie takim po zamknięciu. W rozpatrywanym układzie (obiekcie 2-go rzędu i regulatorze zerowego rzędu) nie jest możliwa utrata stabilności po jego zamknięciu sztywnym ujemnym sprzężeniem zwrotnym - wynika to choćby z kryterium Nyquista.
2. Współczynnik wzmocnienia układu zamkniętego jest mało wrażliwy na zmiany współczynnika wzmocnienia układu otwartego - układ regulacji nie jest czuły na niestacjonarność obiektu. Forsując wzmocnienie regulatora P, poprawiamy dokładność układu w stanie ustalonym bowiem jeżeli $K_R \rightarrow \infty$ to $K_z \rightarrow 1$ i $e_u \rightarrow 0$.
3. W rozpatrywanym układzie (po jego zamknięciu) będą występowały przebiegi periodyczne sygnału wyjściowego o parametrach T_{oz} i ξ_z zależnych od K_0 (dokładniej mówiąc od K_R). W ogólnym przypadku aperiodycznego układu otwartego, zamknięcie ujemną pętlą sprzężenia zwrotnego, może spowodować zmianę charakteru przebiegów sygnałów w układzie na periodyczne. W dziedzinie częstotliwości oznacza to, że pasmo przenoszonych przez układ częstotliwości wraz ze wzrostem wzmocnienia statycznego układu rośnie. Układ szybciej reaguje na sygnał wymuszający, ale odtwarza go z większym uchybem dynamicznym i z drugiej strony w szerszym zakresie lepiej tłumi zakłócenia. Jest to znany konflikt pomiędzy warunkami stabilności (ze wzrostem K_0 zmniejsza się zapas stabilności) i właściwościami dynamicznymi i właściwościami kompensacyjnymi zakłóceń.
4. Przedstawiony analityczny sposób określania wpływu struktury i parametrów układu na jakość UAR jest w przypadku złożonych układów wysokiego rzędu bardzo utrudniona. W takich przypadkach szybkie efekty dają metody modelowania analogowego lub cyfrowego np. za pomocą narzędzi komputerowej analizy i syntezy układów dynamicznych (w szczególności narzędzi CACSD takich jak np. środowisko oprogramowania Matlab - Simulink).

3.5 Instrukcja wykonanie ćwiczenia nr 3

Ćwiczenie wykonywane jest metodą symulacyjną w środowisku MATLAB-SIMULINK lub LabView. Student po podaniu hasła powinien odnaleźć i uruchomić odpowiednią aplikację:

Pulpit/Ćwiczenie 3 Regulator PID/PID Matlab

Ćwiczenie obejmuje następujące etapy działań:

Badanie (identyfikacja) obiektu regulacji

Dokonać identyfikacji właściwości statycznych i dynamicznych obiektu regulacji zadanego przez prowadzącego ćwiczenie. Określić charakter oraz parametry transmitancji obiektu na podstawie odpowiedzi na skok jednostkowy przy otwartej pętli sprzężenia zwrotnego i nastawach regulatora niewprowadzających zmian w układzie (regulator ma być „przezroczysty” tzn. $K_p = 1$, $T_i \rightarrow \infty$, $T_d = 0$, wówczas $u(t) = e(t)$).

Analiza układu automatycznej regulacji z regulatorem PID

Badanie regulatora PID

Zaobserwować i przerysować charakterystyki skokowe regulatorów P, I, PD, PI, PID. Określić czy są to regulatory idealne czy rzeczywiste.

Badanie układu zamkniętego

Zaobserwować i naszkicować przebiegi regulacji układu zamkniętego dla różnych wariantów struktur i nastaw regulatora, zwracając przede wszystkim uwagę na wpływ zmian nastaw regulatora PID (K_p , T_i , T_d) na przebiegi przejściowe w układzie oraz na jakość regulacji ocenianą wybranymi wskaźnikami jakości regulacji. Zaplanować i wykonać serię pomiarów dla układu regulacji nadążnej i układu stabilizacji zakłóceń tak, aby poruszać się **tylko i wyłącznie** w obszarze nastaw dających stabilny układ.

Wypełnić następujące tabele i na ich podstawie ocenić wpływ zmian nastaw regulatora na poszczególne parametry odpowiedzi:

Badanie właściwości nadążnych UAR [$y_0(t)=1(t) ; z(t)=0$]

	K_p	T_i	T_d	Uchyb ustalony	Czas regulacji	Przeregulowanie	Czas narastania sygnału	ISE	IAE
Reg. P $K_p = \text{var}$	∞	0							
	∞	0							
	∞	0							
	∞	0							
	∞	0							
	∞	0							
Reg. PI $K_p = \text{const}$ $T_i = \text{var}$		0							
		0							
		0							
		0							
		0							
Reg. PID $K_p = \text{const}$ $T_i = \text{const}$ $T_d = \text{var}$									

Badanie właściwości kompensacyjnych zakłócenia UAR [$z(t)=1(t) ; y_0(t)=\text{const}$]

	K_p	T_i	T_d	Uchyb ustalony	Czas regulacji	Przeregulowanie	Czas narastania sygnału	ISE	IAE
Reg. P $K_p = \text{var}$	∞	0							
	∞	0							
	∞	0							
	∞	0							
	∞	0							
	∞	0							
Reg. PI $K_p = \text{const}$ $T_i = \text{var}$		0							
		0							
		0							
		0							
		0							
Reg. PID $K_p = \text{const}$ $T_i = \text{const}$ $T_d = \text{var}$									

UWAGA!

1. Dokonując analizy zmieniać tylko jedną cechę lub parametr
2. Jako początkowe do analizy wartości nastaw przyjąć: K_p – takie, aby współczynnik wzmocnienia układu otwartego był równy 1, T_i – rzędu stałej czasowej obiektu, T_d – o rząd mniejsze od T_i .

Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie z ćwiczenia oprócz strony tytułowej z danymi identyfikacyjnymi powinno zawierać opis stanowiska badawczego, opracowane wyniki analiz i syntezy, uwagi i wnioski końcowe. Na podstawie wypełnionej tabeli opisać, jak zmiany nastaw regulatora wpływają na jakość sterowania (wskaźniki)

LITERATURA

1. Notatki z wykładu
2. Poradnik inżyniera automatyka. Praca zbiorowa pod red. W. Findeisena. WNT, W-wa 1973
3. M. Ferenc: Podstawy automatyki. Skrypt Pol. Śląskiej, Gliwice 1981
4. T. Kaczorek: Teoria sterowania, tom 1 - Układy liniowe ciągłe i dyskretne. PWN, W-wa 1977
5. R. Gessing: Teoria sterowania, tom 1 - Układy liniowe. Skrypt Pol. Śląskiej, Gliwice 1987
6. W. Pełczewski: Teoria sterowania, tom 1 - Ciągłe stacjonarne układy liniowe. WNT, W-wa 1980
7. Laboratorium teorii sterowania o podstaw automatyki. Praca zbiorowa pod red. M. Błachuty. Skrypt Pol. Śląskiej, Gliwice 1994
8. Podstawy automatyki. Ćwiczenia laboratoryjne. Praca zbiorowa po red. A. Wiszniewskiego. Skrypt Pol. Wrocławskiej, Wrocław 1978
9. K. Amborski, I. Jaworska, Z. Kietliński, M. Kocięcki, W. Żydanowicz: Laboratorium teorii sterowania. Skrypt Pol. Warszawskiej, W- wa 1990
10. J. Pułaczewski: Dobór nastaw regulatorów przemysłowych. WNT, W-wa 1966
11. J. Płaskowski: Eksperymentalne wyznaczanie właściwości dynamicznych obiektów regulacji. WNT W-wa 1965

Analiza układu automatycznej regulacji z regulatorem PID

Wzór protokołu (lekko zaciemnione pola wypełnia prowadzący)

Laboratorium Automatyki i Regulacji Automatycznej					
Temat: Analiza układu automatycznej regulacji z regulatorem PID					Nr: 3
Grupa:	Imiona i nazwiska osób:	Podpisy:	Data wykonania:	Termin: [] - planowy [] - odróbkowy	Ocena:
Zespół:	1. 2. 3.		Data oddania:	Opóźnienie:	Dzień tygodnia: Godz. zajęć:

L.p.	Etap	Wykonanie		
		Poprawne	Poprawne, ale z małymi błędami	Z rażącymi błędami lub niewykonane
1.	Identyfikacja obiektu sterowania nr []: a) Określenie postaci transmitancji b) Określenie parametrów transmitancji			
2.	Obserwacja i zapisanie ch-k skokowych regulatorów			
3.	Uzupełnienie tabel			
4.	Ocena wpływu zmian parametrów regulatorów na przebiegi przejściowe odpowiedzi.			
Uwagi:				

Realizacja ćwiczenia przez studentów: