

Ćwiczenie nr 8. Badanie jakości regulacji ciągłej

Cel ćwiczenia: Zapoznanie się z budową i zasadą działania regulatorów ciągłych oraz ocena jakości regulacji ciągłej na przykładzie obiektu rzeczywistego (mikrotermostat) i badań symulacyjnych.

Pytania kontrolne:

1. Scharakteryzuj układ automatycznej regulacji (UAR).
2. Omów na czym polega proces identyfikacji obiektu.
3. Wymień i omów cechy regulacji ciągłej.
4. Wymień i omów parametry jakości regulacji ciągłej.
5. Omów na czym polega dobór nastaw regulacji ciągłej.
6. Scharakteryzuj typy regulatorów.
7. Omów dowolny człon dynamiczny (proporcjonalny, inercyjny, całkujący, różniczkujący, opóźniający). Podaj jego charakterystykę statyczną i dynamiczną. Scharakteryzuj przykładową realizację praktyczną

UWAGA 1.

Temperatura mikrotermostatu może być nastawiana w zakresie od temperatury otoczenia ($temp_{min}$) do ok. 60 °C ($temp_{max}$). W trakcie eksperymentów nie należy dotykać metalowych elementów mikrotermostatu, ponieważ w czasie pracy mogą się one nagrzewać do temperatury ok. 60 °C.

UWAGA 2.

Wszystkie wyniki zapisywać na dysku Dane E: (dotyczy symulacji i pomiarów rzeczywistych)

Program i przebieg ćwiczenia:

1. Obliczenie nastaw dla regulatorów ciągłych zgodnie z Tab.1. wykorzystując parametry obiektu rzeczywistego wyznaczone podczas identyfikacji obiektu (ćw. 6).

Obliczenia proszę wykonać przed zajęciami w ramach przygotowania do zajęć

Tabela 1. Dobór nastaw regulatorów ciągłych (K_c - wzmocnienie; T_i - czas całkowania; T_d - czas różniczkowania) dla obiektów statycznych o wzmocnieniu K_{ob} ; czasie opóźnienia T_0 ; stałej czasowej τ , przy założeniu minimalnego czasu regulacji t_r i dwóch wartości przeregulowania. (Poradnik inżyniera automatyka, WNT Warszawa 1995.) wg reguły Zieglera-Nichols'a.

Typ Regulatora	Przeregulowanie $\approx 0\%$, minimum t_r		Przeregulowanie $\approx 20\%$, minimum t_r	
	$\frac{t_r}{T_0}$	Nastawy	$\frac{t_r}{T_0}$	Nastawy
P	4.5	$K_c = \frac{0.3}{K_{ob} \frac{T_0}{\tau}}$	6.5	$K_c = \frac{1.0}{K_{ob} \frac{T_0}{\tau}}$
PI	8.0	$K_c = \frac{0.6}{K_{ob} \frac{T_0}{\tau}}, T_i = 0.8T_0 + 0.5\tau$	12	$K_c = \frac{0.7}{K_{ob} \frac{T_0}{\tau}}, T_i = T_0 + 0.3\tau$
PID	5.5	$K_c = \frac{0.95}{K_{ob} \frac{T_0}{\tau}}, T_i = 2.4T_0, T_d = 0.4T_0$		$K_c = \frac{1.2}{K_{ob} \frac{T_0}{\tau}}, T_i = 2.0T_0, T_d = 0.4T_0$

Ćwiczenie nr 8. Badanie jakości regulacji ciągłej

Przykład obliczeń:

Obliczenie nastaw regulatora typu PID wg reguły Zieglera-Nichols'a Wykorzystano wzory z Tab.1. dla warunku: Przeregulowanie $\approx 20\%$, minimum t_r

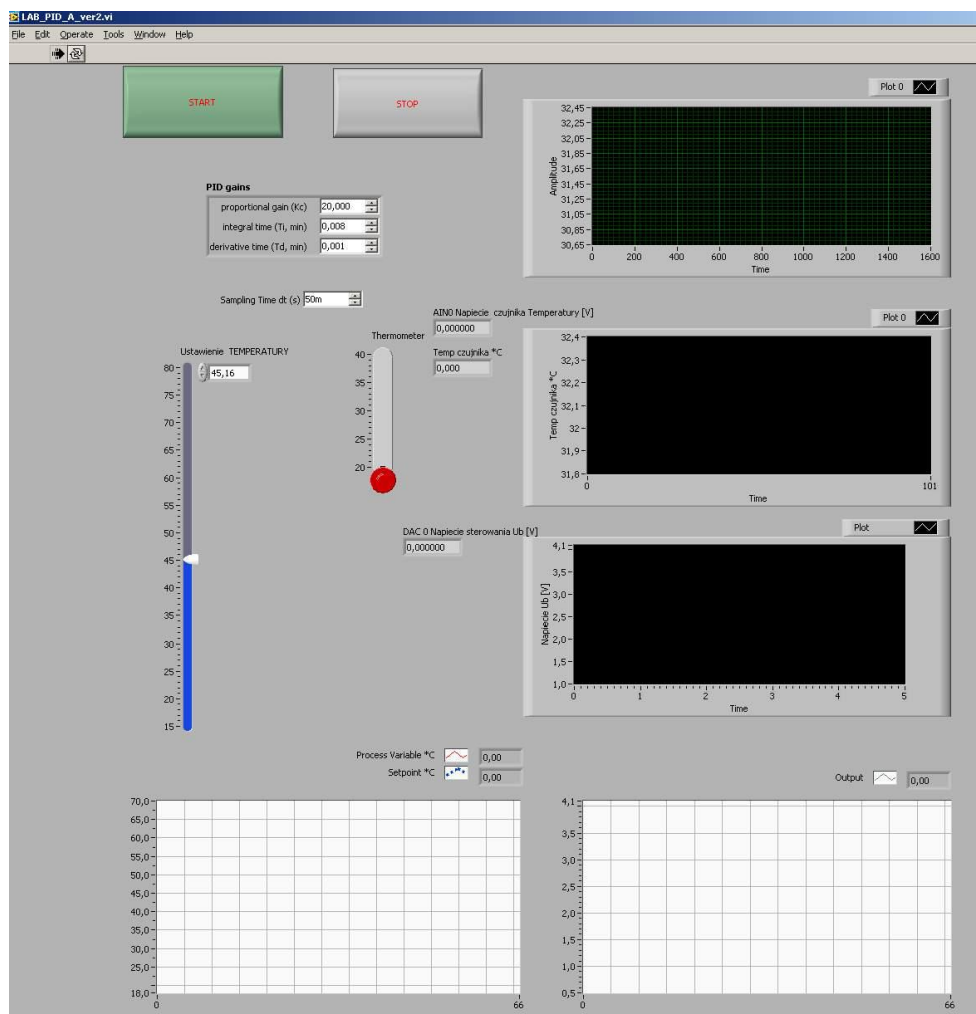
Przykładowe wartości parametrów obiektu rzeczywistego to: $K_{ob} = 14$; $T_0 = 24s$; $\tau = 690 s$.

$$K_c = \frac{1.2}{K_{ob} \cdot \left(\frac{T_0}{\tau}\right)} = 2,46; \quad T_i = 2 \cdot T_0 = 48; \quad T_d = 0.4 \cdot T_0 = 9,6$$

(1)

2. Badanie mikrotermostatu w układzie zamkniętym z regulatorem ciągłym PID

- Uruchomić program L3_PID.exe (C: > Sala 026A > Lab Jack > My Application6). Zaznaczyć domyślnie proponowaną bibliotekę „lvStorage.dll”, zatwierdzić przyciskiem OK. Zadać uzgodnioną z prowadzącym wartość temperatury mikrotermostatu (zalecane wartości z przedziału 30 °C do 50 °C). Zaleca się zadanie takiej samej temperatury jak przy realizacji regulacji dwustanowej. Umożliwi to porównanie jakości regulacji ciągłej i regulacji dwustanowej. Zaprogramować pracę regulatora ciągłego typu **PID** dla warunku **Przeregulowanie $\approx 20\%$, minimum t_r** (Rys.1.).



Rys.1. Widok ekranu wirtualnego przyrządu realizującego pracę obiektu w układzie regulacji ciągłej z regulatorem PID.

Ćwiczenie nr 8. Badanie jakości regulacji ciągłej

Ustawiane parametry zgodnie z wartościami wyliczonymi w pkt.1:

K_c (proportional gain): 2,46

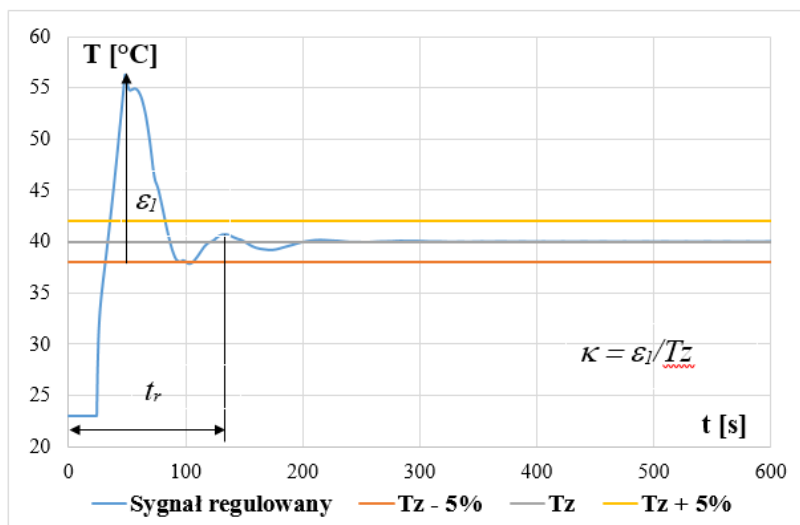
T_i (integral time): 48s $\rightarrow$ 0,8 min

T_d (derivative time): 9.6s $\rightarrow$ 0.16 min

Sampling time : 100 ms,

!!!!!! UWAGA: wartości T_d i T_i w wirtualnym przyrządzie wpisuje się podając ich wartości w min

- „Naciśnięcie” przycisku START uruchamia rejestrację. Należy rejestrować przebieg minimum 30 min do 60 min.
- W momencie rozpoczęcia rejestracji należy zapisać wartość temperatury początkowej mikrotermostatu.
- „Naciśnięcie” przycisku STOP zatrzymuje działanie przyrządu, dane pomiarowe zapisywane są automatycznie do pliku tekstowego E:\Now@\PID_T_czujnik.lvm, E:\Now@\PID_T_SETPOINT.lvm, E:\Now@\PID_Ub_out.lvm. Dane te mogą być importowane do arkusza kalkulacyjnego do dalszej analizy.
- Przedstawić wykres zarejestrowanej charakterystyki i wyznaczyć parametry jakości regulacji ciągłej (Rys.2.).
 - czas regulacji t_r ,
 - maksymalny uchyb regulacji ε_I ,
 - przeregulowanie κ .



Rys.2.Charakterystyka odpowiedzi obiektu u układzie regulacji ciągłej, z zaznaczonymi wskaźnikami regulacji ciągłej, gdzie T_z temperatura zadana.

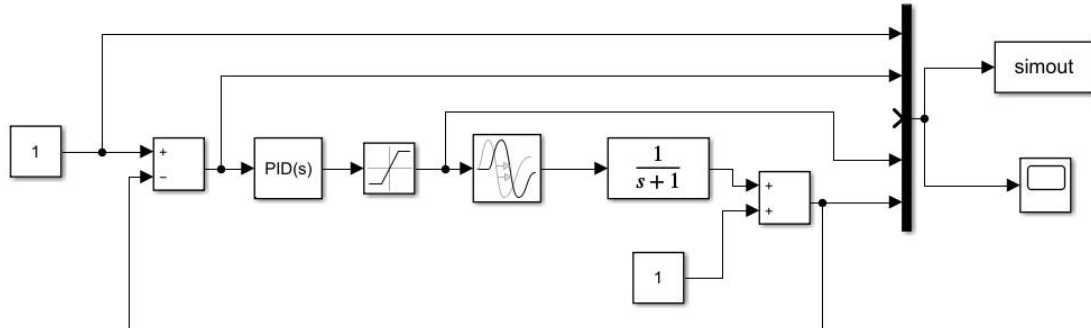
Uwaga:

Można powtórzyć proces regulacji dobierając inne nastawy regulatora PID (obliczone wg innych reguł). Można wymusić zakłócenie pracy obiektu poprzez wymuszenie ruchu powietrza wokół komory roboczej mikrotermostatu lub włożenie do komory próbki materiału. Na podstawie zarejestrowanego przebiegu ocenić jakość regulacji przy wystąpieniu zakłócenia.

Ćwiczenie nr 8. Badanie jakości regulacji ciągłej

3. Badania symulacyjne układu regulacji ciągłej mikrotermostatu

- Uruchomić pakietu Simulink, zbudować model jak na Rys.3.

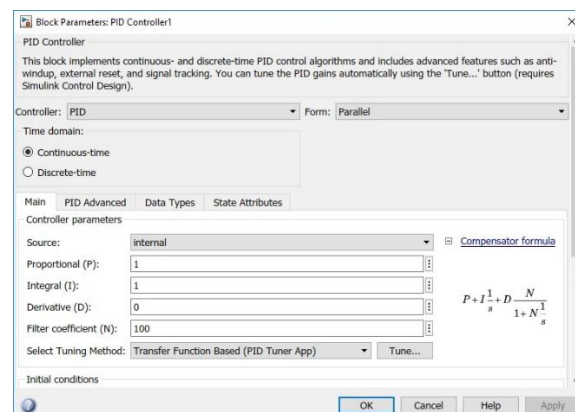
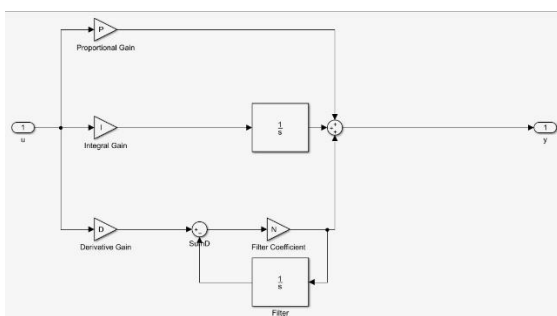


Rys.3. Struktura umożliwiająca badanie stanu przejściowego w układzie regulacji automatycznej typu P,PI,PID, bez obecności zakłóceń dla obiektu inercyjnego 1-go rzędu z opóźnieniem.

- W opracowanym modelu kolejno ustawić:
- Zadajnik : wartość zadanej temperatury (Constant)
 - Parametry obiektu: wartość temperatury początkowej mikrotermostatu – odczytanej podczas uruchamiania regulacji ciągłej w LabView (Constant1), parametry wyznaczone na podstawie charakterystyki zarejestrowanej w ćw.3: opóźnienie T_0 (Transport Delay), wzmacnienie K_{ob} i stała czasowa τ (Transfer Fcn)
 - Zakres zmian sygnału sterującego: Upper limit = 2.85, Lower limit = 0 (Saturation)
 - Regulator PID:

Regulator PID stosowany w pakiecie Simulink ma strukturę przedstawioną na Rys.4. Poszczególne nastawy zdefiniowane są następująco:

$$I = \frac{K_c}{T_i}, \quad P = K_c, \quad D = T_d K_c$$



Rys.4. Struktura regulatora PID wykorzystywanego w ćwiczeniu i jego tablica nastaw.

Ćwiczenie nr 8. Badanie jakości regulacji ciągłej

Przykład obliczania nastaw dla wyników z przykładu w pkt.1.

$$I = \frac{K_p}{T_i} = \frac{2,46}{48} = 0,051, \quad P = K_p = 2,46, \quad D = T_d K_p = 9,6 \cdot 2,46 = 23,6$$

Transport Delay: Tutaj wstawiamy wartość T_0 (wyznaczona ćw.3)

Transfer Fcn: Tutaj wstawiamy wartość K_{ob} i τ (wyznaczona ćw.3)

Symulację uruchamiamy poleceniem RUN dla czasu trwania ok. 1500 s. Wynik symulacji zapisujemy w Exelu wykorzystując blok „To Workspace” i funkcję „xlswrite” lub „save”.

Wyniki symulacji przedstawiamy w exelu. Należy zidentyfikować charakterystyki:

- odpowiedź obiektu,
- odchyłki regulacji,
- sygnału na wyjściu regulatora.

➤ Dla zarejestrowanej **charakterystyki odchyłki regulacji** wyznaczyć **parametry jakości regulacji** (Rys. 2).

- czas regulacji t_r ,
- maksymalny uchyb regulacji ϵ_1 ,
- przeregulowanie K .

➤ W sprawozdaniu porównać parametry jakości regulacji wyznaczone dla charakterystyki rzeczywistej i charakterystyki symulacyjnej.

ZADANIE DODATKOWE:

Przeanalizować symulacyjnie i wyznaczyć wartości parametrów jakości regulacji dla pozostałych regulatorów P, PI, PID. Określić wartości nastaw, przy których układ regulacji przestaje być stabilny.

WPROWADZENIE TEORETYCZNE:

Student powinien mieć wiedzę z ćwiczeń 6 i 7.

Aby uzyskać przebieg regulacji ciągłej spełniający wymagania narzucone przez automatyzowany proces technologiczny trzeba dobrać nastawy regulatora tak aby odchyłka regulacji $e(t)$ zmieniała się zgodnie z założonymi parametrami. Do parametrów określających bezpośrednie cechy przebiegu odchyłki przede wszystkim należą: czas regulacji t_r a więc czas, po którym odchyłka jest mniejsza od dopuszczalnej, maksymalna odchyłka ϵ_1 i przeregulowanie K (Rys.2)

Istnieją opracowane algorytmy, które dla przyjętych kryteriów jakości, pozwalają dobrać wstępnie nastawy regulatorów. Współczesne, inteligentne regulatory umożliwiają samoczynny dobór nastaw regulatora według wybranego przez obsługę kryterium.

Ćwiczenie nr 8. Badanie jakości regulacji ciągłej

Regulatory ciągłe

Podstawowym kryterium podziału regulatorów ciągłych są ich własności dynamiczne, określające związek pomiędzy sygnałem wyjściowym a odchyłką regulacji jako sygnałem wejściowym.

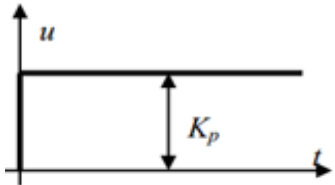
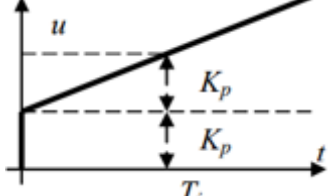
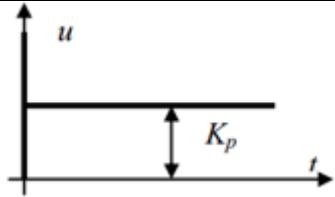
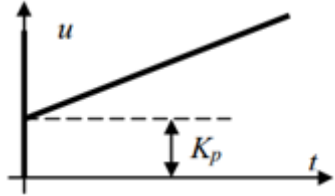
Ze względu na własności dynamiczne rozróżniamy regulatory:

- proporcjonalne typu P,
- proporcjonalno-całkujące typu PI,
- proporcjonalno-różniczkujące typu PD,
- proporcjonalno-całkująco-różniczkujące typu PID.

Charakterystyka dynamiczna regulatora jest opisywana w postaci transmitancji jako stosunek transformaty $U(s)$ sygnału wyjściowego – wielkości sterującej $u(t)$, do transformaty $E(s)$ sygnału wejściowego – uchybu regulacji $e(t)$.

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)}$$

W klasycznych sformułowaniach podstawowych własności regulatorów rozróżnia się następujące charakterystyki dynamiczne:

Proporcjonalną (P)	$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p$	
Całkową (I)	$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{1}{T_i s}$	
Proporcjonalno-całkową (PI)	$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + \frac{1}{T_i s})$	
Proporcjonalno-różniczkową (PD)	$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s)$	
Proporcjonalnie-różniczkowo-całkującą (PID)	$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$	

gdzie:

K_p – współczynnik wzmocnienia, $X_p = \frac{1}{K_p} \cdot 100\%$, zakres proporcjonalności

T_i – czas zdwojenia (całkowania),

T_d – czas wyprzedzenia (różniczkowania)

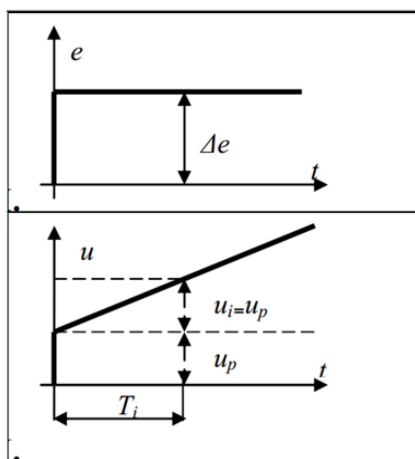
Wielkości K_p (X_p), T_i i T_d noszą nastaw dynamicznych regulatora.

Ćwiczenie nr 8. Badanie jakości regulacji ciągłej

Uwaga!! Na Rysunkach poniżej, sygnał uchybu oznaczono symbolem $e(t)$ lub e .

Zakres proporcjonalności X_p jest to procentowa część pełnego zakresu zmian wielkości uchybu e , potrzebna do wywołania pełnej zmiany wielkości sterującej u regulatora. Zakres proporcjonalności jest często podawany w jednostkach wielkości regulowanej. Wielkość ta oznacza o ile ma się zmienić wielkość regulowana, aby nastąpiła pełna zmiana wielkości sterującej (np. pełne otwarcie/zamknięcie zaworu regulacyjnego).

Czas zdwojenia (całkowania) T_i dotyczy regulatorów typu PI, których wielkość wyjściowa (sterująca) ma dwie składowe: proporcjonalną U_p oraz całkującą U_i . Czas zdwojenia jest to czas potrzebny na to aby sygnał składowej całkowej będący wynikiem działania całkującego stał się równy sygnałowi będącemu wynikiem działania proporcjonalnego. Sygnał wyjściowy z regulatora PI (wypadkowy dla obu oddziaływań) po czasie T_i zwiększa dwukrotnie swoją wartość, stąd pochodzi jego nazwa– czas zdwojenia. Charakterystyka regulatora PI przedstawia Rys.7.

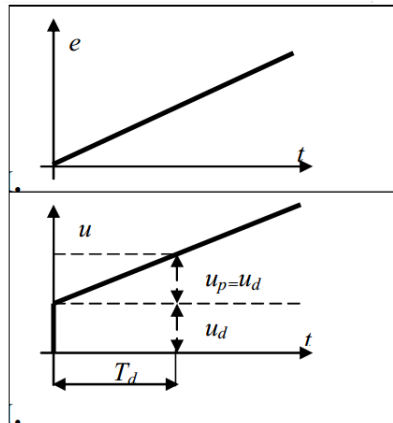


Rys.7. Charakterystyka regulatora PI

Dzięki działaniu różniczkującemu regulator może bardzo silnie reagować już na małe zmiany uchybu regulacji $e(t)$, uprzedza więc dalszy spodziewany wzrost uchybu przez odpowiednie oddziaływanie na obiekt regulacji.

Czas wyprzedzenia T_d dotyczy regulatorów PD oraz PID i określa działanie różniczkujące regulatora. Sygnał wyjściowy regulatorów tego typu ma zarówno składową proporcjonalną U_p , jak i różniczkującą U_d . Czas wyprzedzenia jest to czas, po którym sygnał wyjściowy z regulatora, związany z działaniem proporcjonalnym zrówna się z sygnałem pochodzącym od działania różniczkującego. Czas wyprzedzenia T_d wyznaczany jest jako odpowiedź na zmienny w czasie uchyb regulacji $e(t)$. Charakterystyka regulatora PD przedstawia Rys.8.

Ćwiczenie nr 8. Badanie jakości regulacji ciągłej



Rys. 8. Charakterystyka liniowa regulatora PD

Uzyskanie wysokiej jakości regulacji uwarunkowane jest między innymi optymalnym doбором nastaw regulatora. Użytkownik ocenia zaprojektowany i zoptymalizowany układ regulacji analizując (patrz Rys.2.):

- czas regulacji t_r ,
- maksymalny uchyb regulacji ε_I ,
- przeregulowanie κ .

Literatura uzupełniająca:

- [1] S. Węgrzyn, Podstawy automatyki, PWN Warszawa.
- [2] Kostro, Automatyka w pytaniach i odpowiedziach, WNT Warszawa 1990
- [3] Praca zbiorowa, Poradnik inżyniera Automatyka. WNT, Warszawa 1973.
- [4] Notatki z wykładu