

**Politechnika Lubelska**

**Katedra Automatyki i Metrologii**

**Laboratorium**

**Automatyki i Regulacji**

**Automatycznej**

ELEKTROTECHNIKA

Ćwiczenie nr 1

**Temat:**

**Identyfikacja obiektów sterowania**

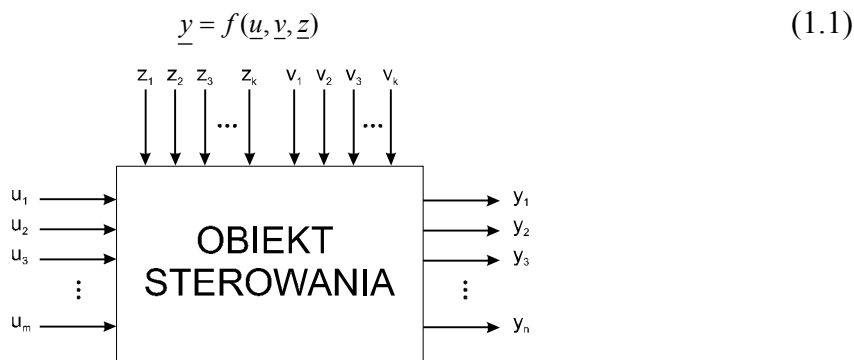
Lublin 2018

## 1.1. Wstęp

Znajomość właściwości obiektu sterowania jest warunkiem koniecznym poprawnego zaprojektowania układu regulacji automatycznej. Właściwości obiektu regulacji przedstawiane są w postaci opisu matematycznego tego obiektu (modelu matematycznego). Odpowiednio duża ilość informacji o obiekcie (znajomość dokładnego modelu matematycznego procesu regulowanego) umożliwia właściwe zaprojektowanie układu automatycznej regulacji (UAR) a co za tym idzie, uzyskanie dobrej jakości regulacji. W praktyce proces projektowania układów sterowania rozpoczyna się od identyfikacji obiektu sterowanego.

Przez pojęcie identyfikacji rozumie się proces tworzenia modelu matematycznego obiektu sterowania, właściwego z punktu widzenia celu tego sterowania, na podstawie badań (eksperymentów). Model matematyczny może opisywać zarówno właściwości statyczne obiektu (w stanie ustalonym) - zależności wyjście-wejście (charakterystyki statyczne), jak i przede wszystkim może opisywać własności dynamiczne (dynamikę obiektu – stan przejściowy). Jest on wtedy podawany w postaci równań różniczkowych, różnicowych, transmitancji, charakterystyk dynamicznych itp.

Rzeczywiste obiekty sterowania są często obiektami wielowymiarowymi (złożonymi) tzn. posiadającymi wiele wejść i wyjść np. procesy syntezy chemicznych, produkcji cukru i klinkieru, procesy mieszania, rozdrabniania, wytwarzania pary w kotłach energetycznych, itp. W złożonym obiekcie sterowania można wyróżnić następujące sygnały (rys. 1.1) :  $\underline{u}$  – wektor sygnałów sterujących (wejściowych),  $\underline{y}$  – wektor sygnałów sterowanych (wyjściowych),  $\underline{v}$  – wektor zakłóceń mierzalnych,  $\underline{z}$  – wektor zakłóceń niemierzalnych. Sygnały te powiązane są ogólnym równaniem dynamiki postaci (1.1)



Rys. 1.1. Schemat blokowy wielowymiarowego obiektu sterowania (regulacji)

Celem sterowania jest wytworzenie sygnału  $\underline{u}$  takiego, który zapewni osiągnięcie ekstremum techniczno-ekonomicznego wskaźnika jakości  $Q$  postaci:

$$Q = f(\underline{u}, \underline{v}, \underline{y}) \quad (1.2)$$

Wskaźnik jakości (funkcja celu) jest funkcjonalem mierzalnych sygnałów wejściowych i wyjściowych. Identyfikacja złożonego obiektu sprowadza się do wyznaczenia zależności (1.1) oraz (1.2).

## 1.2. Dynamiczne modele matematyczne układów regulacji i ich elementów

Podstawowymi deterministycznymi modelami parametrycznymi, ciągłych układów regulacji i ich elementów są równania różniczkowe i modele wyjściowo – wejściowe (transmitancje, funkcje przejścia). Do tzw. nowoczesnych opisów zalicza się modele w przestrzeni stanów. Do modeli nieparametrycznych zaliczane są różnorodne charakterystyki np. czasowe i częstotliwościowe.

### 1.2.1 Równania różniczkowe

Równania różniczkowe stanowią podstawową formę opisu dynamicznych właściwości układów ciągłych. Przedstawiają one w ogólności zależności czasowe występujące pomiędzy sygnałami wejściowymi  $\underline{u}(t)$  i wyjściowymi  $\underline{y}(t)$

$$y^{(n)} = f(u, u^{(1)}, u^{(2)}, \dots, u^{(m)}, y, y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(n)}) \quad (1.3)$$

Dla przypadku liniowego

# Identyfikacja obiektów sterowania

$$\sum_{k=0}^n A_k \cdot y^{(k)} = \sum_{k=0}^m B_k \cdot u^{(k)} \quad , \quad n \geq m \quad (1.4)$$

gdzie:  $A_k$ ,  $B_k$  - stałe współczynniki;  $y^{(k)}$ ,  $u^{(k)}$  – pochodne  $k$ -tego rzędu sygnałów wyjściowego i wejściowego.

W odniesieniu do realnych obiektów regulacji zarówno związki statyczne jak i dynamiczne między wejściami i wyjściami są nieliniowe. Dla niewielkich zmian sygnałów dokonuje się linearyzacji równań, traktując obiekt jak liniowy.

## 1.2.2. Transmitancja operatorowa

Jednym z podstawowych pojęć w automatyce jest transmitancja (funkcja przejścia). Dla jednowymiarowego, liniowego i stacjonarnego obiektu sterowania (patrz rys. 1.2) transmitancję operatorową  $G(s)$  stanowi stosunek transformaty Laplace'a sygnału wyjściowego  $Y(s)$  do transformaty sygnału wejściowego  $U(s)$  przy zerowych warunkach początkowych.



Rys. 1.2. Schemat blokowy jednowymiarowego obiektu sterowania

Dokonując obustronnego przekształcenia Laplace'a równania różniczkowego (1.4) (przy założeniu zerowych warunków początkowych), otrzymuje się następującą postać transmitancji operatorowej tego obiektu :

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\sum_{k=0}^m B_k s^k}{\sum_{k=0}^n A_k s^k} \quad (1.5)$$

Transmitancja operatorowa jest wielkością zespoloną zależną wyłącznie od parametrów układu i zmiennej zespolonej  $s$ .

Wprowadzenie pojęcia transmitancji operatorowej nadaje matematyczny sens schematom blokowym, gdyż blok z wpisaną postacią transmitancji, przedstawia mnożenie operatorowego sygnału wejściowego przez transmitancję elementu (obektu).

W układach wielowymiarowych wpływ każdego z sygnałów wejściowych na wybrany sygnał wyjściowy wyraża inna transmitancja.

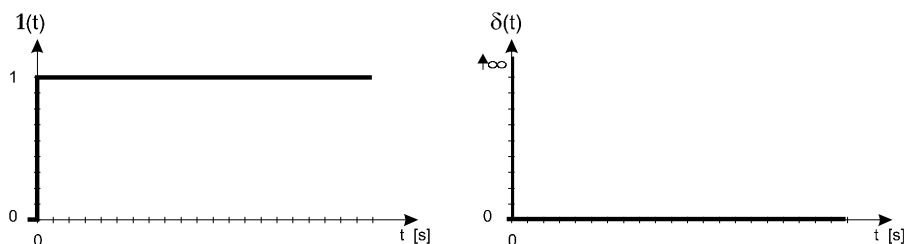
## 1.2.3. Charakterystyki czasowe

Największe zastosowanie do opisu właściwości dynamicznych w dziedzinie czasu znalazły charakterystyki czasowe, określające zachowanie się układu (jego elementów) w stanie przejściowym (nieustalonym). Stanowią je wykresy przedstawiające zależności sygnału wyjściowego od czasu, otrzymane po wprowadzeniu na wejście standardowego sygnału wymuszającego. Najczęściej wykorzystuje się wymuszenie w postaci skoku jednostkowego  $u(t)=\mathbf{1}(t)$  (patrz zależność 1.6 i rys. 1.3):

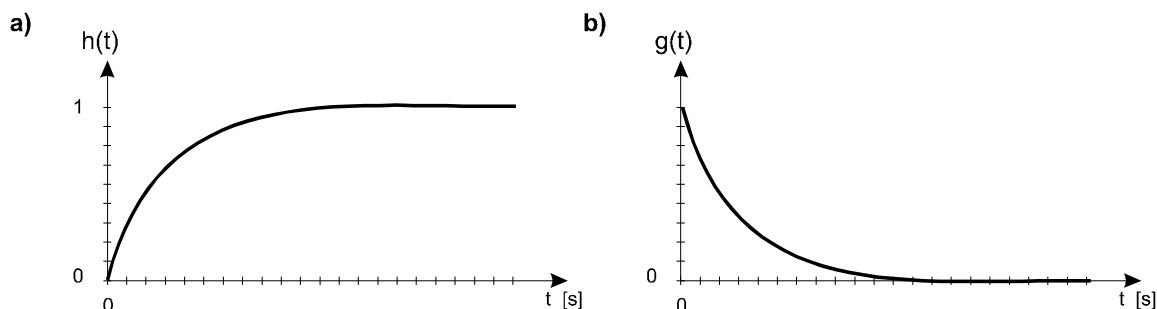
$$\mathbf{1}(t) = \begin{cases} 0 & \text{dla } t < 0 \\ 1 & \text{dla } t \geq 0 \end{cases} \quad (1.6)$$

Charakterystykę otrzymaną dla tego typu wymuszenia nazywa się charakterystyką skokową, i oznacza najczęściej  $h(t)$ . W rozważaniach teoretycznych często używa się charakterystyk impulsowych (oznaczenie  $g(t)$ ). Takie charakterystyki są reakcją elementu, członu lub układu dynamicznego na sygnał pobudzający, będący impulsem Diraca, czyli dla  $u(t)=\delta(t)$  (patrz zależność 1.7 i rys. 1.4):

$$\delta(t) = \begin{cases} +\infty & \text{dla } t = 0 \\ 0 & \text{dla } t \neq 0 \end{cases} \quad (1.7)$$



Rys. 1.3. Skok jednostkowy Rys. 1.4. Impuls Diraca.



Rys. 1.5. Przykładowe charakterystyki czasowe elementu, członu lub układu dynamicznego:

a) charakterystyka skokowa; b) charakterystyka impulsowa

Charakterystyki skokowe i inne odpowiedzi, będące reakcją na łatwo „generowane” pobudzenia, można w prosty sposób wyznaczyć doświadczalnie (pomierzyć lub zarejestrować). Znając transmitancję układu dynamicznego możliwe jest natomiast wyliczenie jego reakcji na dowolne wymuszenie. Z definicji transmitancji operatorowej wynika bowiem zależność (1.8) na transformatę szukanej odpowiedzi.

$$Y(s) = U(s) \cdot G(s) \quad (1.8)$$

Ponieważ w przypadku charakterystyki skokowej jest

$$U(s) = L[1(t)] = \frac{1}{s} \quad (1.9)$$

a dla charakterystyki impulsowej

$$U(s) = L[\delta(t)] = 1 \quad (1.10)$$

transmitancję operatorową  $G(s)$  można uważać za operatorową postać charakterystyki impulsowej

$$Y(s) = 1 \cdot G(s) = G(s) \Rightarrow g(t) = L^{-1}[G(s)] \quad (1.11)$$

a transformatę odpowiedzi skokowej można w prosty sposób wyznaczyć z zależności 1.12

$$H(s) = \frac{1}{s} G(s) \rightarrow G(s) = sH(s) \quad (1.12)$$

Związek między charakterystyką skokową i impulsową opisywana jest przez prosta zależność

$$g(t) = \frac{dh(t)}{dt} \quad (1.13)$$

W odniesieniu do układów liniowych charakterystyki czasowe jednoznacznie określają ich właściwości dynamiczne (znając odpowiednią charakterystykę czasową można obliczyć odpowiedź na dowolne wymuszenie). W układach nieliniowych, w których nie jest spełniona zasada superpozycji i przebieg charakterystyk czasowych zależy nie tylko od rodzaju wymuszenia lecz również od jego wartości, charakterystyki czasowe nie określają całkowicie ich właściwości dynamicznych.

### 1.2.4. Charakterystyki częstotliwościowe

Charakterystyki częstotliwościowe przedstawiają reakcję członu dynamicznego na wymuszenie harmoniczne. Z doświadczeń eksperymentalnych wiadomo, iż jeżeli na wejście członu liniowego wprowadzi się sygnał harmoniczny:

$$u(t) = A \cdot \sin(\omega t) \quad (1.14)$$

to po dostatecznie długim czasie zanikną składowe przejściowe i na wyjściu członu ustali się również sygnał harmoniczny:

$$y(t) = B \cdot \sin(\omega t + \Phi) \quad (1.15)$$

tzn. sygnał o takiej samej pulsacji ale różnej („zniekształconej”) amplitudzie i fazie. Stosunek amplitud  $B/A$  oraz przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałami  $\Phi$  zależą od pulsacji  $\omega$  w różny sposób - w zależności od właściwości filtrujących (dynamicznych) badanego członu. Można powiedzieć, że człon przenosząc harmoniczny sygnał wejściowy na swoje wyjście zmienia jego amplitudę oraz powoduje jego przesunięcie w czasie.

Właściwości dynamiczne członów w dziedzinie częstotliwości określają różnorodne charakterystyki częstotliwościowe, które można wyznaczać doświadczalnie lub teoretycznie z transmitancji widmowej. Dzięki istniejącym związkom pomiędzy doświadczalnie pomierzonymi parametrami sygnałów harmonicznych na wejściu i wyjściu badanego członu (czyli tworzącym dla pulsacji jako zmiennej niezależnej - charakterystyki częstotliwościowe), a jego transmitancją widmową (również operatorową i idąc dalej równaniem różniczkowym), transmitancja widmowa posiada głęboki -co zostanie pokazane - sens fizyczny.

Transmitancję widmową można otrzymać z transmitancji operatorowej przez formalne podstawienie za operator  $s$  pulsacji urojonej  $j\omega$ . Takie podstawienie zakłada ograniczenie wymuszeń tylko do sygnałów harmonicznych (z płaszczyzny zespolonej  $s$  wybiera się tylko oś urojonych). Transmitancja widmowa jest formalnie definiowana (1.16) jako funkcja zespolona, będąca stosunkiem symbolicznych (zespolonych) wartości sygnałów wyjściowego i wejściowego, przy zerowych warunkach początkowych.

$$G(j\omega) = \frac{\hat{Y}}{\hat{U}} = \frac{Y(j\omega)}{U(j\omega)} \quad (1.16)$$

Jak wiadomo, stosunek transformat Fouriera sygnału wyjściowego i wejściowego stanowi również wyrażenie, określające transmitancję zwaną transmitancją widmową (transformata Fouriera określa widmo sygnału - stąd nazwa), i dlatego pomimo pewnych nieścisłości matematycznych często transmitancja widmowa definiowana jest za pomocą formalizmu przekształcenia Fouriera.

Ze związków pomiędzy rozwiązaniem równania różniczkowego (1.4) dla wymuszeń harmonicznych członu, a parametrami sygnałów (wejściowego i wyjściowego) oraz z właściwości funkcji zespolonych można napisać:

$$G(j\omega) = \frac{B \cdot e^{j(\omega t + \Phi)}}{A \cdot e^{j\omega t}} = \frac{B}{A} e^{j\Phi} = |G(j\omega)| \cdot e^{j\Phi(\omega)} = \operatorname{Re}G(j\omega) + j \operatorname{Im}G(j\omega) = |G(j\omega)| \cdot e^{j \arg G(j\omega)} \quad (1.17)$$

Z zależności (1.17) wynikają następujące związki:

- moduł transmitancji widmowej jest stosunkiem amplitud sygnałów tj. wzmocnieniem względnym członu:

$$|G(j\omega)| = \frac{B \text{ oznacz.}}{A} = K(\omega) \quad (1.18)$$

$$|G(j\omega)| = \sqrt{[\operatorname{Re}G(j\omega)]^2 + [\operatorname{Im}G(j\omega)]^2} \stackrel{\text{oznacz.}}{=} \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)} \quad (1.19)$$

gdzie:

$$P(\omega) = K(\omega) \cos \Phi(\omega), \quad Q(\omega) = K(\omega) \sin \Phi(\omega) \quad (1.20)$$

- argument transmitancji widmowej odpowiada przesunięciu fazowemu między tymi sygnałami.

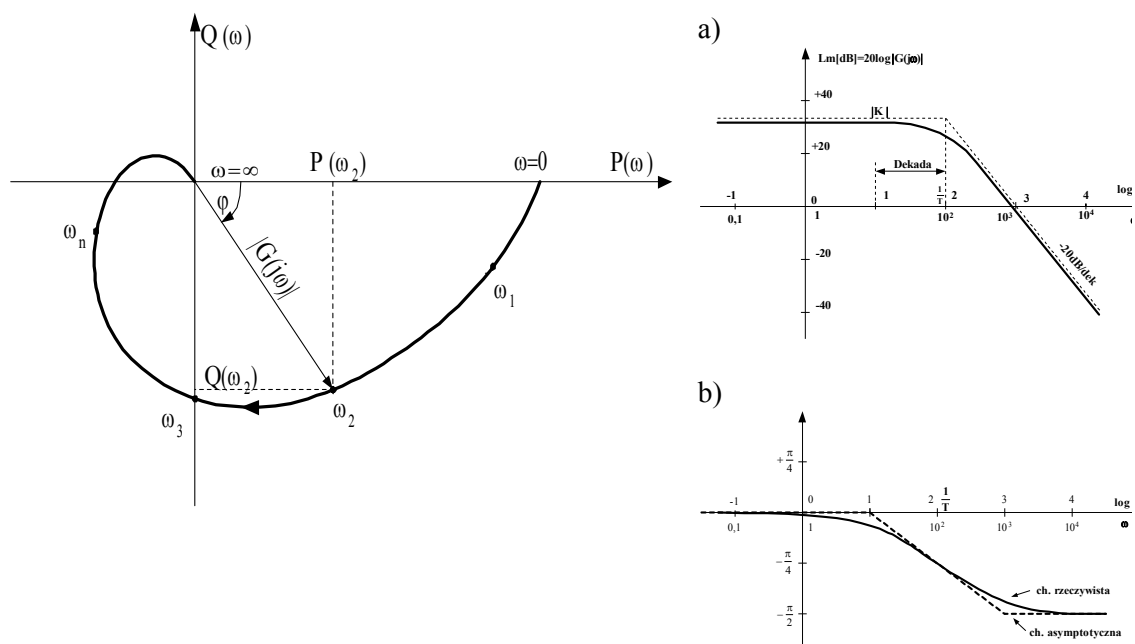
## Identyfikacja obiektów sterowania

$$\arg G(j\omega) = \Phi(\omega) = \arctg \frac{\operatorname{Im}[G(j\omega)]}{\operatorname{Re}[G(j\omega)]} = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)} \quad (1.21)$$

Powyższe zależności (od 1.18 do 1.21) oprócz tego, że podają interpretację fizyczną charakterystyk częstotliwościowych to służą również do ich wykreślania na podstawie znanego modelu (równania różniczkowego lub transmitancji).

### Charakterystyki amplitudowo-fazowe

Wykres transmitancji widmowej  $G(j\omega)$  sporządzony na płaszczyźnie liczb zespolonych ( $P(\omega)$ ,  $Q(\omega)$ ) (we współrzędnych biegunowych) nazywany jest charakterystyką amplitudowo-fazową (charakterystyką Nyquista). Długość wektora łączącego początek układu współrzędnych z punktem charakterystyki przypisanym danej pulsacji, reprezentuje stosunek amplitudy sygnału wyjściowego i wejściowego. Kąt jaki tworzy wektor z osią liczb rzeczywistych przedstawia przesunięcie fazowe między tymi sygnałami.



Rys. 1.6 Przykład charakterystyki Rys.

1.7. Przykład charakterystyk logarytmicznych: amplitudowo-fazowej a) amplitudowej; b) fazowej

Położenie poszczególnych punktów charakterystyki zależy od pulsacji (częstotliwości). Przy jej zmianie (od zera do nieskończoności) poszczególne punkty charakterystyki przesuwają się do początku układu współrzędnych. Związane jest to z faktem, iż żaden punkt materialny nie jest zdolny do wykonywania drgań z nieskończenie wielką częstotliwością. Przykład takiej charakterystyki podano na rys. 1.6.

### Logarytmiczne charakterystyki częstotliwościowe

Często dla wygody charakterystykę Nyquista przedstawia się w postaci tzw. charakterystyk Bodego, tzn. w postaci charakterystyk logarytmicznych (rys. 1.7):

amplitudy

$$L_m(\omega) = 20 \log |G(j\omega)| \quad (1.22)$$

i fazy

$$\Phi(\omega) \quad (1.23)$$

Charakterystykę amplitudową wykreśla się w skali logarytmicznej zarówno dla pulsacji jak i dla wartości modułu. Wprowadza się przy tym pojęcia:

- modułu logarytmicznego  $L_m$  (patrz wzór (1.22)), którego jednostką jest decybel [dB] np.  $|G(j\omega)| = 10$  to  $L_m(\omega) = 20 \log 10 = 20$  [dB], jeśli  $|G(j\omega)| = 1$  to  $L_m(\omega) = 0$  [dB] itd.,
- dekady; jako przedziału pulsacji od  $\omega_i$  do  $10\omega_i$ ,
- oktawy; jako przedziału pulsacji od  $\omega_i$  do  $2\omega_i$ ,

– nachylenia charakterystyki; mierzonego w dB/dekadę lub dB/oktawę

Często dla uproszczenia charakterystyki logarytmiczne przedstawia się w postaci tzw. charakterystyk asymptotycznych (patrz rys. 1.7) stanowiących ich liniową aproksymację.

## 1.3. Podstawowe człony (działania) dynamiczne

Zjawiska dynamiczne obserwowane w rzeczywistych obiektach (procesach) sterowania (regulacji) opisywane są różnorodnymi strukturami elementarnych działań tzw. członów, czyli elementarnych układów dynamicznych realizujących idealne w sensie matematycznym przekształcenie wejścia w wyjście. Poniżej przedstawiono podstawowe działania dynamiczne i podano ich modele matematyczne.

### a) Człon inercyjny I-go rzędu

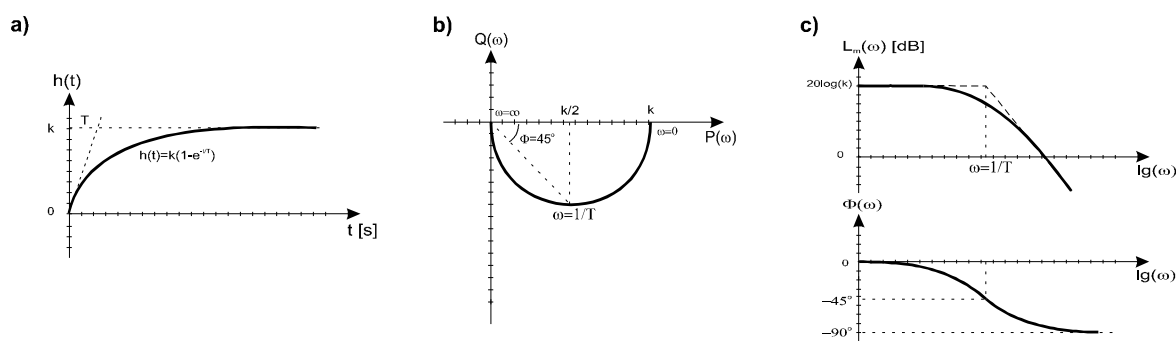
Człon opisany równaniem różniczkowym postaci:

$$T \cdot \dot{y} + y = k \cdot u \quad (1.24)$$

o transmitancji operatorowej

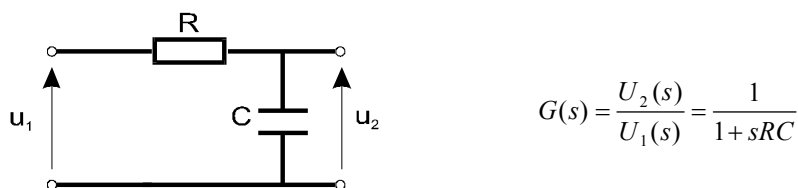
$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{Ts + 1} \quad (1.25)$$

nazywany jest członem inercyjnym pierwszego rzędu. Parametrami tego członu są stałe współczynniki transmitancji: T-stała czasowa, mająca wymiar czasu oraz k-współczynnik wzmocnienia.



Rys. 1.8. Charakterystyki członu inercyjnego pierwszego rzędu: a) skokowa; b) amplitudowo-fazowa, c) Bodego

Fizycznym układem, którego modelem jest człon inercyjny I-go rzędu może być czwórnik RC (rys. 1.9):



Rys. 1.9. Czwórnik RC i jego model wej-wyj

### b) Człon całkujący (rzeczywisty)

Człon opisany równaniem dynamiki postaci:

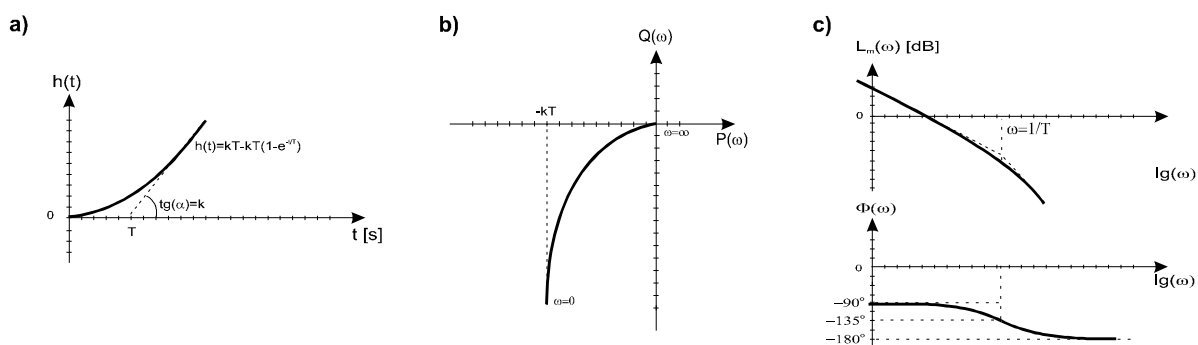
$$T \cdot \ddot{y} + \dot{y} = k \cdot u \quad (1.26)$$

o transmitancji operatorowej

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{s(Ts + 1)} \quad (1.27)$$

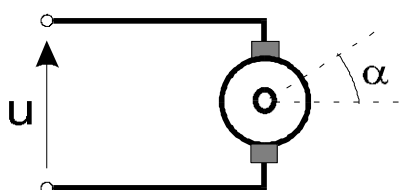
nazywany jest rzeczywistym członem całkującym (z inercją). Parametrami tego członu są stałe współczynniki transmitancji: k-współczynnik wzmocnienia prędkościowego oraz T-stała czasowa

## Identyfikacja obiektów sterowania



Rys. 1.10. Charakterystyki rzeczywistego członu całkującego: a) skokowa; b) amplitudowo-fazowa, c) Bodego

Przykładem członu całkującego z inercją jest obcowzbudny silnik prądu stałego (patrz rys. 1.11) o pomijalnie małej indukcyjności twornika:



$R$  - rezystancja twornika  
 $J$  - moment bezwładności wirnika  
 $\alpha$  - kąt położenia wirnika

$$G(s) = \frac{U(s)}{A(s)} = \frac{k}{s(1 + sRJ/c)}$$

Rys. 1.11. Obcowzbuźny silnik prądu stałego i jego model

### c) Człon różniczkujący (rzeczywisty)

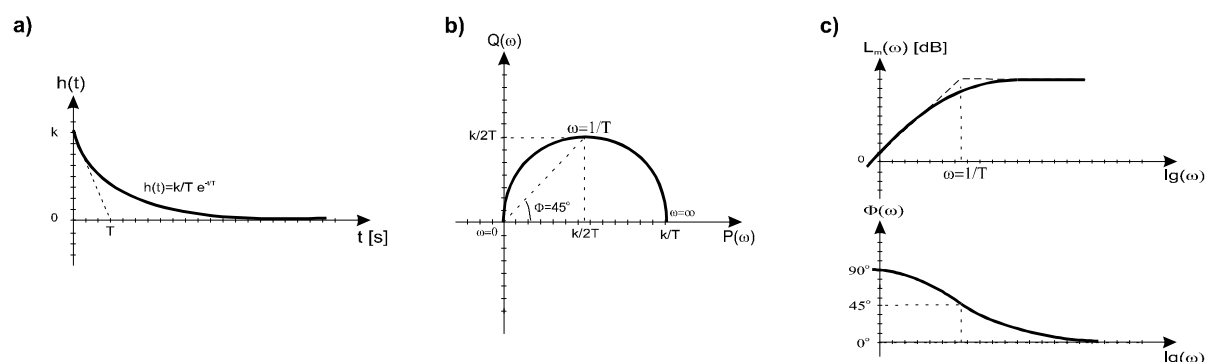
Człon opisany równaniem postaci:

$$T \cdot \dot{y} + y = k \cdot \dot{u} \tag{1.28}$$

o transmitancji operatorowej

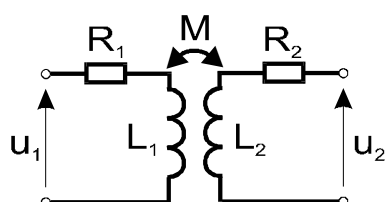
$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{ks}{Ts + 1} \tag{1.29}$$

nazywany jest rzeczywistym członem różniczkującym (z inercją). Parametrami tego członu są stałe współczynniki transmitancji:  $k$ -współczynnik wzmocnienia oraz  $T$ -stała czasowa, mająca wymiar czasu.



Rys. 1.12. Charakterystyki rzeczywistego członu różniczkującego: a) skokowa; b) amplitudowo-fazowa, c) Bodego

Przykładem urządzenia, które może być modelowane członem różniczkującym z inercją jest transformator powietrzny (patrz rys. 1.13):



$$G(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} = \frac{sM}{R_1 + sL_1}$$

Rys. 1.13. Transformator powietrzny i jego model matematyczny



## d) Człon oscylacyjny II-go rzędu

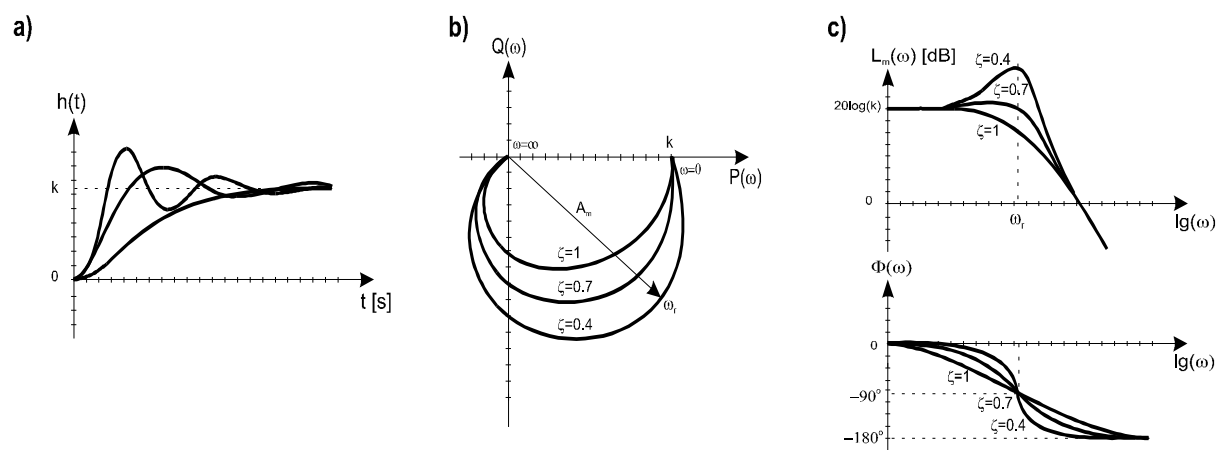
Człon opisany równaniem różniczkowym postaci:

$$T_n^2 \cdot \ddot{y} + 2\zeta T_n \cdot \dot{y} + y = k \cdot u \quad (1.30)$$

o transmitancji operatorowej

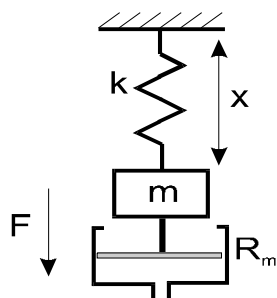
$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{T_n^2 s^2 + 2\zeta T_n s + 1} \quad (1.31)$$

nazywany jest członem oscylacyjnym II-go rzędu. Parametrami tego członu są stałe współczynniki transmitancji: k-współczynnik wzmocnienia oraz  $T_n$ -okres drgań własnych nietłumionych,  $\zeta$ -względny współczynnik tłumienia ( $0 < \zeta < 1$ ).



Rys. 1.14. Charakterystyki członu oscylacyjnego: a) skokowa; b) amplitudowo-fazowa, c) Bodego

Przykładem urządzenia, które może być modelowane członem oscylacyjnym jest zawór membranowy (patrz rys. 1.15):



$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{k}{T_n^2 s^2 + 2\zeta T_n s + 1}$$

$$T_n = \sqrt{mk}$$

$$\zeta = \frac{R_m}{2} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Rys. 1.15. Zawór membranowy i jego model

## e) Człon opóźniający

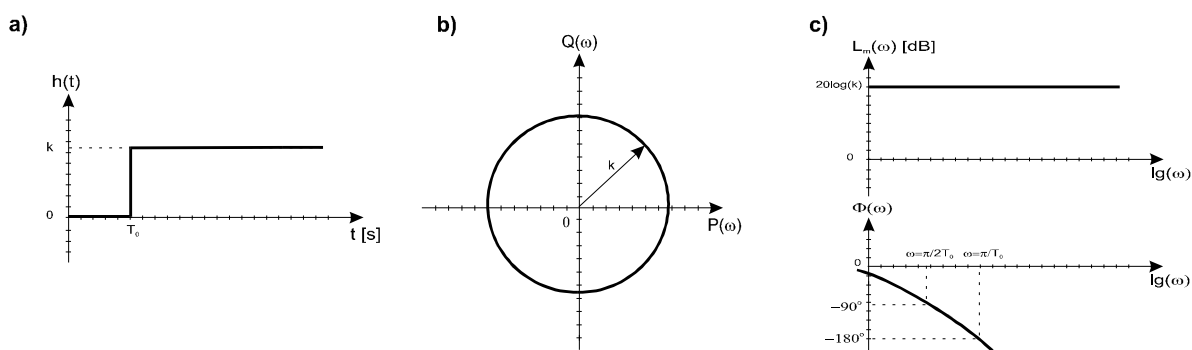
Człon opisany równaniem postaci:

$$y(t) = k \cdot u(t - T_o) \quad (1.32)$$

o transmitancji operatorowej:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = k e^{-s T_o} \quad (1.33)$$

nazywany jest członem opóźniającym (opóźnieniem transportowym). Parametrami tego członu są stałe współczynniki transmitancji: k-współczynnik wzmocnienia oraz  $T_o$ -czas opóźnienia.



Rys. 1.16. Charakterystyki członu opóźniającego: a) skokowa; b) amplitudowo-fazowa, c) Bodego

Przykładem urządzeń i procesów, których dynamikę modeluje opóźnienie Transportowe (czyste opóźnienie) mogą być urządzenia transportujące różnorodne media (taśma, przenośniki, rurociągi) oraz instalacje zawierające wiele magazynów energii (procesy wieloinercyjne).

## 1.4. Klasyfikacja metod identyfikacji

Ogólnie metody identyfikacji można podzielić na fenomenologiczne i eksperymentalne. Pierwsze z nich polegają na badaniu procesów fizyko-chemicznych i konstruowaniu opisu matematycznego na podstawie znanych praw. Drugie polegają na zarejestrowaniu (wyznaczeniu) charakterystyk dynamicznych lub (i) statycznych w trakcie aktywnego albo pasywnego eksperymentu na obiekcie. Metody wykorzystujące aktywny eksperyment wymagają wprowadzania na wejście identyfikowanego procesu standardowego pobudzenia, co może spowodować pewne komplikacje pracy obiektu w czasie jego normalnej eksploatacji. Pasywny eksperyment polega na rejestracji i obróbce statystycznej ciągów czasowych odpowiednich wejść i wyjść procesu w czasie jego normalnej eksploatacji. Takie podejście wykorzystuje bogate zasoby informacji, gromadzone przez komputerowe systemy akwizycji danych i sterowania nadrzędnego (SCADA) i prowadzi do niezdefiniowanych modeli dyskretnych (ARX, ARMAX, BJ itp.).

Do podstawowych, aktywnych, deterministycznych metod identyfikacji dynamicznych właściwości obiektów regulacji zalicza się metodę charakterystyk czasowych i metodę charakterystyk częstotliwościowych. Metody te umożliwiają identyfikację jednowymiarowych, deterministycznych modeli liniowych dla małych odchyłań sygnałów od punktu pracy obiektu.

Do identyfikacji modeli wielowymiarowych, złożonych procesów sterowania pracujących w obecności zakłóceń losowych stosowane są różnorodne metody statystyczne. Należą do nich:

- metoda korelacji,
- metoda analizy regresyjnej,
- metoda analizy czynnikowej,
- metoda aproksymacji stochastycznej.

## 1.5. Identyfikacja własności dynamicznych obiektu metodą charakterystyk czasowych

Metoda polega na pomiarze (zarejestrowaniu) przebiegu sygnału wyjściowego badanego obiektu po podaniu na jego wejście standardowego wymuszenia, najczęściej sygnału skokowego

$$u(t) = A \cdot \mathbf{1}(t) + u_0 \quad (1.34)$$

Otrzymaną i zarejestrowaną odpowiedź tzw. skokową będzie można formalnie zapisać w postaci :

$$x(t) = A h(t) + x_0 \quad (1.35)$$

gdzie: A-amplituda wymuszenia, której wybór zależy od poziomu zakłóceń istniejących w czasie pomiaru oraz stopnia nieliniowości obiektu,

$\mathbf{1}(t)$ - tzw. **skok jednostkowy**,

$h(t)$ -odpowiedź obiektu na skok jednostkowy (tzw. **odpowiedź skokowa**),

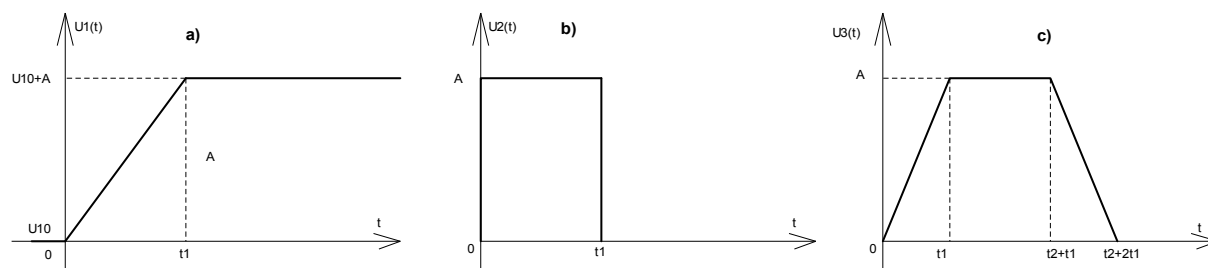
$u_0, x_0$  –wartości początkowe (współrzędne punktu pracy obiektu).

W praktyce bezpośrednie wyznaczenie charakterystyki skokowej może być utrudnione z uwagi na:

- trudność uzyskania idealnego skoku jednostkowego pobudzającego wejście obiektu,

## Identyfikacja obiektów sterowania

- wchodzenie obiektu w zakres nieliniowości charakterystyki statycznej (może to być spowodowane występowaniem w procesie efektu różniczkowania),
  - konieczność ograniczenia czasu pobudzenia obiektu maksymalną mocą np. w obiekcie cieplnym.
- Z w/w przyczyn często stosuje się pośrednie metody, polegające na wyznaczeniu charakterystyki skokowej na podstawie przebiegu odpowiedzi obiektu na inny rzeczywisty sygnał ( rys1.17)



Rys.1.17. Rzeczywiste sygnały wymuszające: a) sygnał trapezoidalny skokowy, b) sygnał w postaci impulsu prostokątnego, c) impuls trapezowy

Np. mając zarejestrowaną odpowiedź obiektu inercyjnego na impuls prostokątny, można wyznaczyć odpowiedź  $h(t)$  dodając w kolejnych chwilach  $t > t_1$  do przebiegu  $x_1(t)$  wartości  $h(t)$  z chwil poprzedzających.

Mając charakterystykę skokową obiektu - ogólniej – odpowiedź obiektu na dowolne wymuszenie, można wyznaczyć wartości parametrów wybranego wcześniej modelu matematycznego wziętego w postaci równania dynamiki (różniczkowego) lub transmitancji. Modele w przybliżony sposób opisują statyczne i dynamiczne własności procesu zachodzącego w obiekcie sterowania (regulacji).

Identyfikując obiekt regulacji na podstawie jego odpowiedzi czasowej w pierwszej kolejności należy ocenić jego charakter tzn. czy dany obiekt jest statyczny (np. inercyjny, oscylacyjny, różniczkujący) czy astatyczny (zawierający działania całkujące).

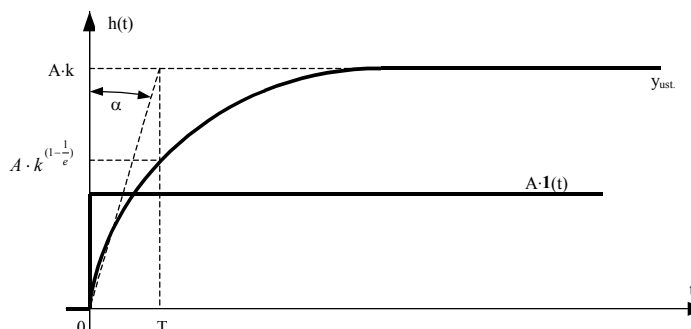
**Obiekty statyczne** na stałe pobudzenie „opowiadają” (w stanie ustalonym) stałym sygnałem. Są to tzw. obiekty z samo-wyrównywaniem ( np. obiekty cieplne, elektromaszynowe z wyjściem prędkościowym, procesy przepływu mas i energii, w których występuje bezwładność).

Opisem matematycznym zjawisk, w których występują bezwładności może być tzw. **człon inercyjny** (w najprostszym przypadku **pierwszego rzędu**) o transmitancji

$$G(s) = \frac{k}{sT + 1} \quad (1.36)$$

Jego parametrami są: stała czasowa  $T$  oraz współczynnik wzmocnienia  $k$ . Stała czasowa charakteryzuje szybkość zmian sygnału wyjściowego,  $k$  jest stosunkiem wartości ustalonej sygnału wyjściowego i wartości sygnału wejściowego. Współczynnik wzmocnienia można też wyznaczyć z charakterystyki statycznej obiektu. Graficznie stałą czasową wyznacza się jak na rys. 1.18. dwoma sposobami:

1. jako czas, po upływie którego odpowiedź obiektu na skok jednostkowy osiągnie wartość  $\approx 0,637 y_{ust.}$
2. przy założeniu, że  $u(t) = A \cdot \mathbf{1}(t)$  ;  $A = 1$ ,  $k = 1$ , stała czasowa  $T$  określona jest przez tangens kąta  $\alpha$  zawartego pomiędzy styczną do krzywej przebiegu  $h(t)$  przechodząca przez początek układu współrzędnych, a osią rzędnych.



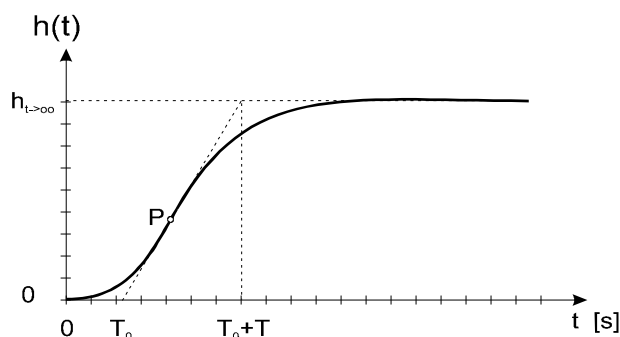
## Identyfikacja obiektów sterowania

Rys. 1.18. Wyznaczanie stałej czasowej obiektu inercyjnego I-go rzędu

Nie zawsze własności dynamiczne rzeczywistych obiektów przemysłowych można opisać transmitancjami o prostej postaci np. pierwszego rzędu. Bardzo często w obiektach występuje znaczne opóźnienie i adekwatny model w postaci transmitancji powinien być wyższego rzędu. Dla prostoty przyjmuje się czyste opóźnienie i opisuje je wyrażeniem  $e^{-sT_0}$  – gdzie  $T_0$  jest czasem opóźnienia. Czas opóźnienia jest to czas, po jakim uzyskuje się zmiany wartości wyjściowej identyczne ze zmianami wielkości wejściowej np. w praktyce opóźnienie tzw. transportowe wynika ze skończonego czasu przepływu medium w rurociągach, transporterach, instalacjach itp. Przyjmuje się, że obiekt składający się z szeregowo połączonych wielu członów pierwszego rzędu o małych stałych czasowych można aproksymować modelem zawierającym opóźnienie gdy  $n \geq 8 \div 10$ , gdzie „n” jest liczbą członów. Najprostszym przybliżeniem obiektu wysokiego rzędu jest aproksymacja modelem pierwszego rzędu z opóźnieniem postaci (tzw. model Kupfmullera):

$$G(s) = \frac{k}{sT + 1} e^{(-sT_0)} \quad (1.37)$$

Parametry transmitancji zastępczej takiego modelu wyznacza się jak na rys.1.19.



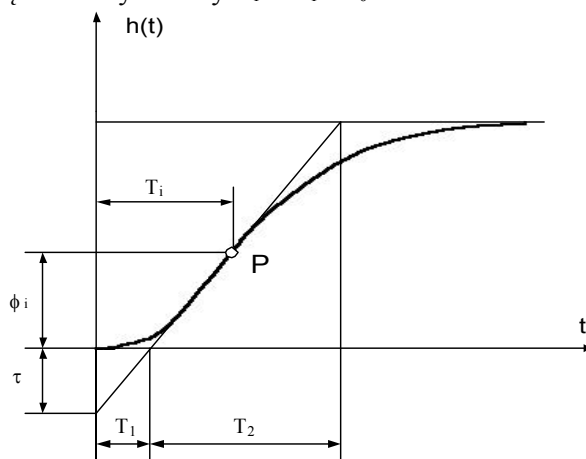
Rys. 1.19. Wyznaczenie parametrów transmitancji zastępczej obiektu statycznego

Innym modelem aproksymującym obiekt inercyjny wysokiego rzędu może być tzw. model Strejca opisywany transmitancją postaci:

$$G(s) = \frac{k \cdot e^{sT_0}}{(1 + sT)^n} \quad (1.38)$$

Parametry  $T_0$ ,  $T$  oraz  $n$  wyznacza się w następujący sposób:

1. Na zdjętej doświadczalnie odpowiedzi skokowej obiektu określa się punkt przegięcia P (rys.1.20) o współrzędnych  $t_1$  i  $\phi_1$  i rysuje się styczną do charakterystyki w tym punkcie.
2. Na podstawie rys.1.20. oraz tablicy 1.1 wyznacza się wartości parametrów  $n$ ,  $T$ . Jeżeli  $T_1/T_2$  znajduje się między dwiema wartościami „n” podanymi w tablicy, należy zmniejszyć  $T_1$  o taką wartość, aby uzyskać wartość podaną w tablicy. Wtedy  $T_1' = T_1 - T_0$ .



Rys.1.20. Rysunek pomocniczy do wyznaczenia parametrów transmitancji (1.38)

## Identyfikacja obiektów sterowania

Tablica 1.1 Tabela pomocnicza do wyznaczania parametrów modelu Strejca

n	$\frac{T_2}{T}$	$\frac{T_1}{T}$	$\frac{T_1}{T_2}$	$\frac{t_i}{T}$
1	1	0	0	0
2	2,718	0,282	0,104	1
3	3,695	0,805	0,218	2
4	4,463	1,425	0,319	3
5	5,119	2,100	0,410	4
6	5,689	2,811	0,493	5
7	6,226	3,549	0,570	6
8	6,711	4,307	0,642	7
9	7,164	5,081	0,709	8
10	7,590	5,869	0,773	9

Metoda nie może być stosowana dla obiektów, których odpowiedź skokowa zawiera przebiegi periodyczne tłumione (oscylacyjne).

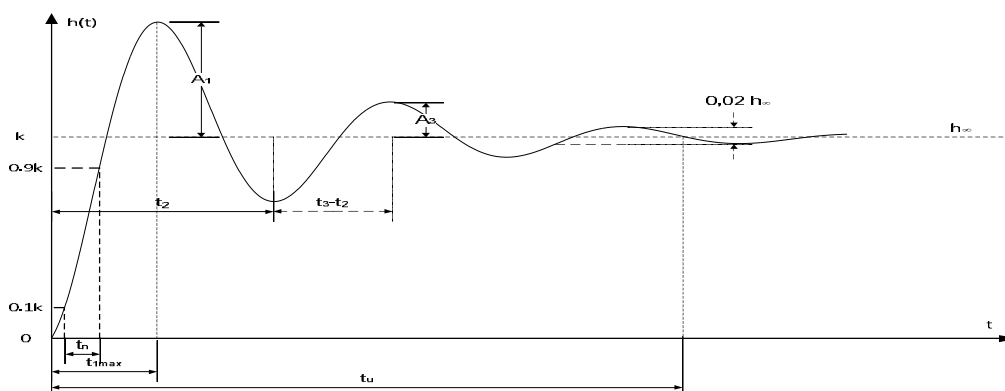
Zjawiska periodycznie zanikające modelowane są tzw. **członem oscylacyjnym** (najczęściej II-go rzędu), którego liniowy model wejściowo-wyjściowy najczęściej opisuje się transmitancją operatorowa postaci:

$$G(s) = \frac{k}{T^2 s^2 + 2\zeta T s + 1} \quad (1.39)$$

Jej parametrami są: współczynnik wzmocnienia  $k$ , współczynnik tłumienia  $\xi$  i stałą czasową  $T$ , które wyznacza się z przebiegu odpowiedzi skokowej (patrz rys.1.21) oraz zależności (1.45) i (1.46)).

$$\xi = \frac{\ln \frac{A_1}{A_3}}{\sqrt{4\pi^2 + \ln \frac{A_1}{A_3}}} \quad (1.40)$$

$$T = \frac{\sqrt{1 - \xi^2} (t_3 - t_2)}{\pi} \quad (1.41)$$

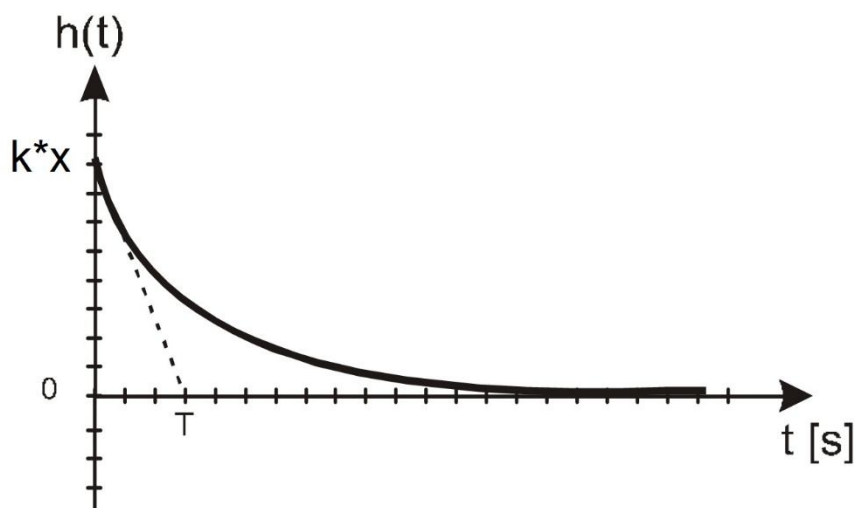


Rys.1.21. Odpowiedź na skok jednostkowy obiektu oscylacyjnego II rzędu.

Zgodnie podaną wcześniej charakterystyką - „statycznymi” obiektami regulacji są również procesy o charakterze różniczkującym. Modeluje się je tzw. **członem różniczkującym rzeczywistym** o transmitancji postaci:

$$G(s) = \frac{ks}{(Ts + 1)} \quad (1.42)$$

Współczynnik wzmocnienia  $k$  oraz stałą czasową  $T$  można wyznaczyć z przebiegu charakterystyki skokowej rys. 1.22. gdzie  $x$  stanowi amplitudę sygnału wymuszającego.

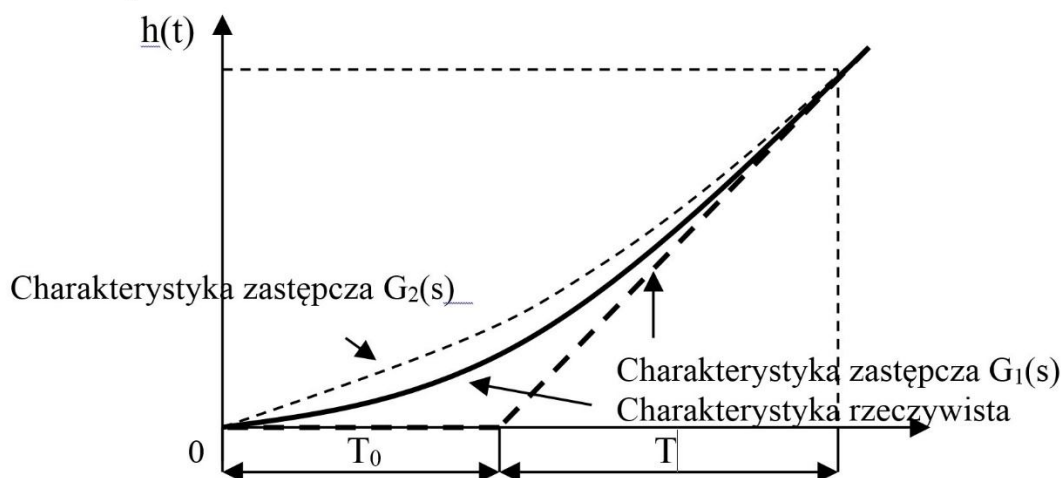


Rys.1.22. Odpowiedź na skok jednostkowy obiektu różniczkującego.

**Obiekty astatyczne** zawierają akcje (działania) całkujące. W przypadku, gdy proces, którego dynamikę chcemy formalnie opisać modelem, zawiera astatyzm i inercję wysokiego rzędu, rzeczywista dynamika procesu aproksymowana może być jedną z postaci transmitancji:

$$G_1(s) = \frac{k}{s} e^{(-sT_0)} \quad (1.43) \quad G_2(s) = \frac{k}{s(1+Ts)} \quad (1.44)$$

gdzie:  $k$  - współczynnik wzmocnienia prędkościowego,  $T_0$  - opóźnienie,  $T$  - stała czasowa inercji. Sposób wyznaczania parametrów transmitancji pokazuje rys.1.23.



Rys.1.23. Wyznaczanie parametrów transmitancji zastępczych obiektu astatycznego.

### 1.5. Identyfikacja własności dynamicznych obiektu metodą charakterystyk częstotliwościowych

Metody częstotliwościowe są znacznie dokładniejsze i pewniejsze niż metody czasowych ale za to są znacznie bardziej pracochłonne.

Wyznaczanie charakterystyk częstotliwościowych polega na pomiarze (zarejestrowaniu) w stanie ustalonym wzmocnienia i fazy odpowiedzi obiektu na sinusoidalne wymuszenie o różnej częstotliwości i wykreśleniu tych zależności w różnych układach współrzędnych. Pomiar dokonywany są w szerokim paśmie częstotliwości (kątowych - pulsacja), teoretycznie od  $\omega=0$  do  $\omega=\infty$ .

## Identyfikacja obiektów sterowania

W przypadku liniowych obiektów, odpowiedź na wymuszenie sinusoidalne ma również kształt sinusoidalny, lecz dla różnych pulsacji (w zależności od właściwości dynamicznych identyfikowanego procesu) inną amplitudę (czyli też wzmocnienie) i inną fazę.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów można wykreślić różnorodne charakterystyki częstotliwościowe takie jak: charakterystyka amplitudowo-fazowa tzw. charakterystyki Nyquista, charakterystyki logarytmiczne amplitudowa i fazowa (charakterystyki Bodego) i inne. Charakterystyki te opisują własności dynamiczne obiektu i oprócz analizy również są wykorzystywane do projektowania (syntezy) układów regulacji automatycznej (dobór korektorów, regulatorów i ich nastaw, analiza stabilności, itp.).

Identyfikacja obiektu regulacji metodami częstotliwościowymi polega na wykreśleniu doświadczalnie uzyskanej charakterystyki amplitudowo-fazowej obiektu i porównaniu jej z charakterystykami szeregowych struktur złożonych z podstawowych członów dynamicznych, wykreślonymi w tej samej skali. W wielu przypadkach lepsze efekty daje porównanie charakterystyk logarytmicznych, szczególnie aproksymowanych odcinkami prostych (charakterystyki Bodego). Postać transmitancji oraz wartości jej parametrów wyznaczane są z charakteru przebiegu i parametrów asymptotycznej charakterystyki logarytmicznej amplitudowej i fazowej.

### Identyfikacja obiektu regulacji na podstawie jego logarytmiczne charakterystyki amplitudowej i fazowej

Zasadniczym powodem stosowania charakterystyk logarytmicznych jest łatwość określania charakterystyki wypadkowej dowolnie złożonego układu jako złożenia charakterystyk logarytmicznych prostych członów połączonych kaskadowo. Wynika to z następującego rozumowania: każdą transmitancję widmową układu realizowanego fizycznie można przedstawić w postaci ilorazu dwóch funkcji algebraicznych.

W transmitancji widmowej postaci:

$$G(j\omega) = k \frac{L(j\omega)}{M(j\omega)} \quad (1.45)$$

gdzie:  $k$  – stała, równa współczynnikowi wzmocnienia,

$L(j\omega)$ ,  $M(j\omega)$  – wielomiany licznika i mianownika, przy czym stopień  $L(j\omega)$  jest mniejszy od stopnia wielomianu  $M(j\omega)$ ,

mogą wystąpić trzy rodzaje czynników:

$$(j\omega)^m; (j\omega T + 1)^n; \text{ oraz } [(j\omega T)^2 + 2j\xi\omega T + 1]^p \quad (1.46)$$

Transmitancję  $G(j\omega)$  można zapisać jako iloczyn transmitancji elementarnych (1.46) i wtedy:

$$\begin{aligned} G(j\omega)e^{j\phi/\omega} &= |G_1(j\omega)|e^{j\phi_1/\omega} \cdot |G_2(j\omega)|e^{j\phi_2/\omega} \dots |G_n(j\omega)|e^{j\phi_n/\omega} = \\ &= |G_1(j\omega)| \cdot |G_2(j\omega)| \dots |G_r(j\omega)|e^{j\phi_1/\omega + \phi_2/\omega + \dots + \phi_r/\omega} \end{aligned} \quad (1.47)$$

Przechodząc do charakterystyk logarytmicznych otrzymuje się:

$$\begin{aligned} 20 \log|G(j\omega)| &= 20 \log|G_1(j\omega)| + 20 \log|G_2(j\omega)| + \dots + 20 \log|G_r(j\omega)| = \\ &= L_m[G_1(j\omega)] + L_m[G_2(j\omega)] + \dots + L_m[G_r(j\omega)] \end{aligned} \quad (1.48)$$

oraz

$$\varphi(\omega) = \varphi_1(\omega) + \varphi_2(\omega) + \dots + \varphi_r(\omega) \quad (1.49)$$

Teoretycznie wypadkowe wykresy charakterystyk logarytmicznych tworzy się przez geometryczne sumowanie charakterystyk wykreślonych dla poszczególnych czynników (transmitancji elementarnych) transmitancji widmowej.

Drugą zaletą stosowania charakterystyk logarytmicznych jest łatwość ich przybliżonego uproszczenia, czyli przedstawiania w tzw. postaci asymptotycznej. Polega to na tym, że dla czynników o postaci  $(j\omega T + 1)$  rysujemy asymptoty charakterystyki logarytmicznej amplitudowej korzystając z zależności:

## Identyfikacja obiektów sterowania

$$20 \log \sqrt{\omega^2 T^2 + 1} = \begin{cases} 0 & \text{dla } \omega \rightarrow 0 \\ 20 \log(\omega T) & \text{dla } \omega \rightarrow \infty \text{ (wtedy } \omega T \gg 1) \end{cases} \quad (1.50)$$

**Przykład 1:** Dana jest transmitancja widmowa pewnego obiektu dynamicznego:

$$G / j\omega / = \frac{k / j\omega T_1 + 1 /}{j\omega / j\omega T_2 + 1 / \cdot j\omega T_3 + 1 /} \quad (1.51)$$

przy czym:  $1 > T_1 > T_2 > T_3$ ;  $k > 1$

Transmitancja (1.51) może zostać przekształcona w następujący sposób:

$$\begin{aligned} G / j\omega / &= |G / j\omega /| e^{j \arg G / j\omega /} = \frac{|k| e^{j \arg k} |j\omega T_1 + 1| e^{j \arg / j\omega T_1 + 1 /}}{|j\omega| e^{j \arg / j\omega|} |j\omega T_2 + 1| e^{j \arg / j\omega T_2 + 1 /} \{ |j\omega T_3 + 1| e^{j \arg / j\omega T_3 + 1 /} \}^2} = \\ &= \frac{k \sqrt{\omega^2 T_1^2 + 1}}{\omega \sqrt{\omega^2 T_2^2 + 1} \cdot \sqrt{\omega^2 T_3^2 + 1}} e^{j / \operatorname{arctg} \omega T_1 - \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \omega T_2 - 2 \operatorname{arctg} \omega T_3 /} \end{aligned} \quad (1.52)$$

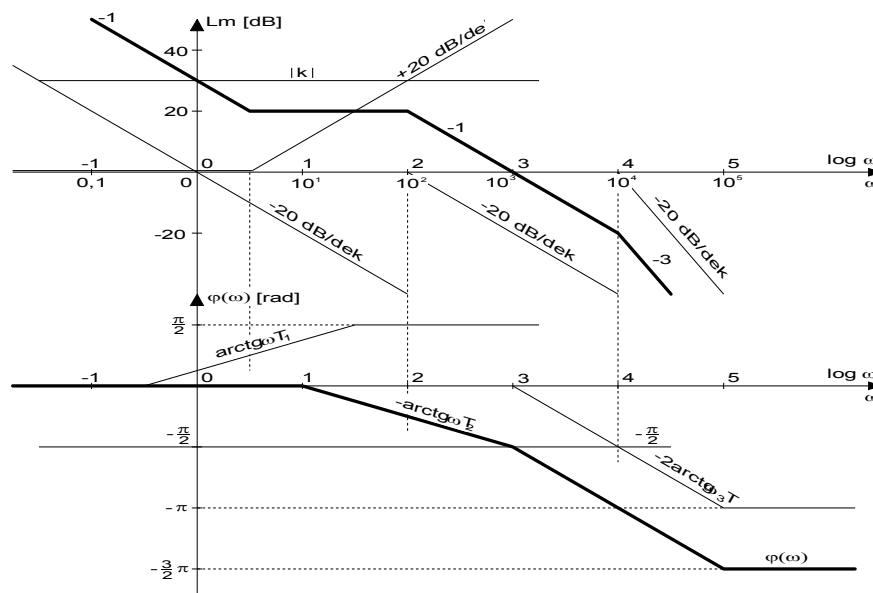
Logarytmiczna charakterystyka amplitudowa: (1.58)

$$L_m = 20 \log |G / j\omega /| = 20 \log k + 20 \log \sqrt{\omega^2 T_1^2 + 1} - 20 \log \omega - 20 \log \sqrt{\omega^2 T_2^2 + 1} - 40 \log \sqrt{\omega^2 T_3^2 + 1}$$

Logarytmiczna charakterystyka fazowa:

$$\phi = \arg G / j\omega / = \operatorname{arctg} \omega T_1 - \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \omega T_2 - 2 \operatorname{arctg} \omega T_3 \quad (1.59)$$

Na rysunku 1.24 przedstawiono charakterystykę asymptotyczną amplitudy i fazy dla przykładu 1. Rzeczywista logarytmiczna charakterystyka amplitudowa ma nieco inny przebieg. Największe różnice występują dla punktów załamania.



Rys. 1.24. Charakterystyki logarytmiczne asymptotyczne dla przykładu 1

**Przykład 2:** Dla prostych członów o transmitancji postaci:

$$G(s) = s^k; k = \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.60)$$

charakterystyka amplitudowa:

$$20 \log |G(j\omega)| = k \cdot 20 \log(\omega) \quad (1.61)$$



## Identyfikacja obiektów sterowania

dla dowolnego  $k$  przedstawia pęk prostych (o nachyleniu  $k$ ) przechodzących przez początek układu współrzędnych. Charakterystyki fazowe natomiast nie zależą od częstotliwości i w całym zakresie jej zmian są prostymi poziomymi o rzędnych:  $k \cdot \pi/2$ .

**Tok postępowania przy identyfikacji obiektów na podstawie logarytmicznych charakterystyk amplitudowych jest następujący:**

1. Po doświadczalnym „zjęciu” charakterystyk rysujemy asymptoty charakterystyki amplitudowej dla małych i dużych częstotliwości.
2. Na podstawie znaku współczynnika nachylenia asymptoty dla małej częstotliwości i na podstawie charakterystyki fazowej (sprawdzamy czy dla  $\omega \rightarrow 0$  faza jest dodatnia czy ujemna), określamy czy obiekt jest statyczny i czy zawiera elementy różniczkujące. Na podstawie nachylenia asymptoty dla  $\omega \rightarrow 0$  określamy rząd całkowania lub różniczkowania.
3. Znając nachylenie w dB/dek asymptotycznej charakterystyki logarytmicznej dla  $\omega \rightarrow 0$  określamy rząd inercji występującej w obiekcie.
4. Wybieramy postać transmitancji obiektu (tzn. proponujemy rząd i postać równania różniczkowego opisującego obiekt).
5. Na podstawie wartości  $L_m$  dla  $\log(\omega) = 1$  obliczamy współczynnik wzmocnienia obiektu.
6. Z punktów załamania charakterystyki asymptotycznej określamy stałe czasowe inercji i różniczkowania.

### Identyfikacja na podstawie charakterystyk amplitudowo-fazowych

Charakterystyki amplitudowo-fazowe prostych członów dynamicznych oraz wzory pozwalające na wyznaczenie parametrów ich transmitancji zestawione są w tabelcy 1.2

Tablica 1.2.

L.p.	Człon dynamiczny	Charakterystyka amplitudowo-fazowa	Przydatne zależności
1.	Inercyjny I-go rzędu		$G(j\omega) = \frac{k}{1 + j\omega T}$ $ G(j\omega)  = \frac{k}{\sqrt{\omega^2 T^2 + 1}}$
2.	Inercyjny II-go rzędu		$G(j\omega) = \frac{k}{(1 + j\omega T_1)(1 + j\omega T_2)}$ $ G(j\omega)  = \frac{k}{\sqrt{(\omega^2 T_1^2 + 1)(\omega^2 T_2^2 + 1)}}$ <p>dla <math>\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{T_1 T_2}} \quad \text{Re}[G(j\omega_2)] = 0</math></p> <p>oraz <math>\text{Im}[G(j\omega_2)] = \frac{k(T_1 + T_2)}{\sqrt{T_1 T_2}}</math></p>

## Identyfikacja obiektów sterowania

3.	Oscylacyjny II-go rzędu		$G(j\omega) = \frac{k}{(j\omega)^2 T^2 + 2\xi Tj\omega + 1}$ $ G(j\omega_{\max}) _{\max} = \frac{k}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}}$ $\omega_{\max} = \frac{\sqrt{1-2\xi^2}}{T}$ $T = \frac{1}{\omega_{\max} \text{ dla } \phi = -\frac{\pi}{2}}$ $\text{Im}\{G(j\omega_{\max})\} = \frac{k}{2\xi}$
4.	Całkujący rzeczywisty		$G(j\omega) = \frac{k}{j\omega(1+j\omega T)}$ $ G(j\omega)  = \frac{k}{\omega_1\sqrt{\omega_1^2 T^2 + 1}}$
5.	Różniczkujący rzeczywisty		$G(j\omega) = \frac{kj\omega}{1+j\omega T}$ $ G(j\omega_1)  = \frac{k\omega_1}{\sqrt{\omega_1^2 T^2 + 1}}$

### 1.6. Instrukcja wykonania ćwiczenia nr 1

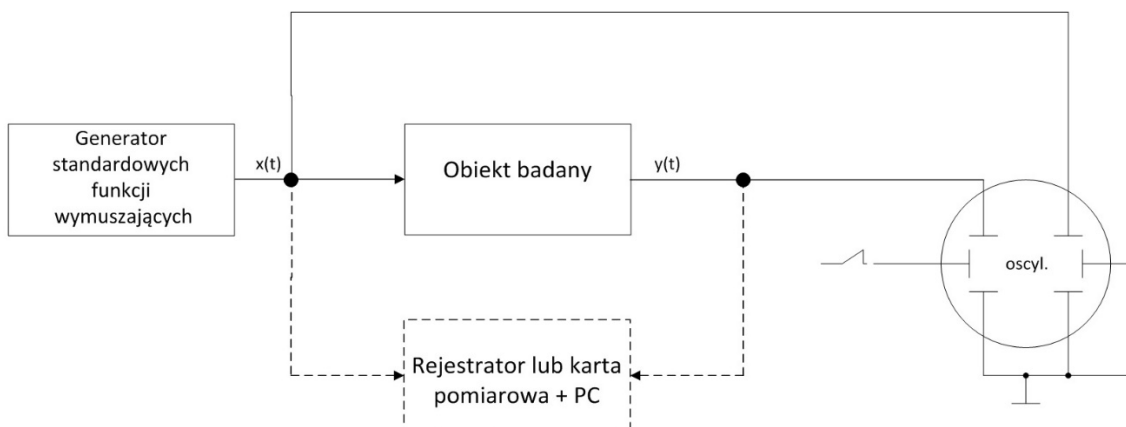
Ćwiczenie obejmuje następujące części:

- A – Identyfikacja modeli wybranych obiektów metodą charakterystyk czasowych
- B – Identyfikacja modeli wybranych obiektów metodą charakterystyk częstotliwościowych
- C – Opracowanie sprawozdania

#### A. Identyfikacja obiektów regulacji metodą charakterystyk czasowych

W ćwiczeniu obiekty regulacji zrealizowano w postaci fizycznych modeli - czwórników RLC. Są to tzw. „czarne skrzynki” zgrupowane na pulpicie z wyodrębnionymi tylko wejściami i wyjściami oznaczone przez  $G(s)$ . Do eksperymentu wykorzystywany może być generator fali prostokątnej lub (i) inne źródło napięcia podawane z zasilacza wyłącznikiem. Do rejestracji odpowiedzi skokowej na tle wymuszenia skokowego („szybkiego”) obiektu służy oscyloskop dwukanałowy. Dla „wolnych” obiektów należy użyć odpowiedniego rejestratora.

Ogólny schemat układu rejestracji charakterystyk czasowych pokazany został na rys. 1.25.



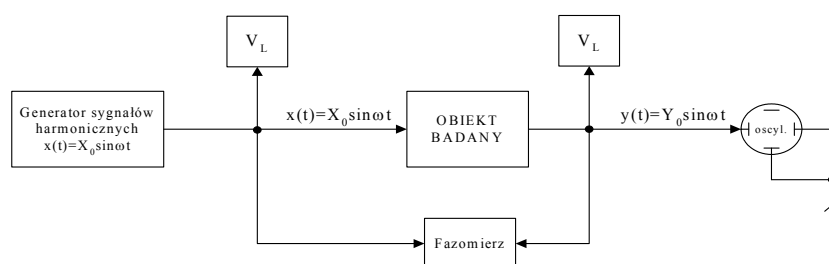
Rys. 1.25. Ogólny układ pomiarowy do wyznaczania charakterystyk czasowych obiektu regulacji

### Przebieg ćwiczenia dla części A

1. Połączyć układ pomiarowy zgodnie z rys. 1.25.
2. Wybrać prostokątny przebieg sygnału wejściowego na generatorze.
3. Po wyskalowaniu kanałów oscyloskopu lub rejestratora/karty pomiarowej+PC obserwować i przenieść na odpowiedni nośnik (przerysować) przebiegi wymuszeń oraz odpowiedzi czasowych wszystkich modeli elektrycznych obiektów regulacji. Maksymalnie wykorzystać pole obserwacji (rejestracji) w celu uzyskania najlepszej z możliwych dokładności eksperymentu.
4. Z zarejestrowanych przebiegów czasowych odpowiedzi wybrać te ich fragmenty, które umożliwiają po odpowiednich uzupełnieniach otrzymanie charakterystyk skokowych. Zaproponować strukturę modelu (postacie transmitancji) badanych obiektów oraz wyznaczyć ich parametry.
5. \* Porównać przebiegi rzeczywiste z otrzymanymi z modeli, wykorzystując oprogramowanie naukowo-techniczne np. Matlab-Simulink, LabView.

### B. Identyfikacja obiektów regulacji metodą charakterystyk częstotliwościowych

Charakterystyki częstotliwościowe wyznaczane są na stanowisku pomiarowym jak na rys. 1.26.



1.26. Układ pomiarowy do wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych

Źródłem sygnału wymuszającego jest generator fali sinusoidalnej o regulowanej amplitudzie i częstotliwości. Do pomiaru przesunięcia fazowego między harmonicznym sygnałem wyjściowym (sinusoidalnym), a harmonicznym sygnałem wejściowym służy fazomierz włączony pomiędzy wejście a wyjście badanego obiektu. Woltomierze na wyjściu i wejściu identyfikowanego obiektu służą do pomiarów wartości skutecznych napięć. Pomiary powinny być przeprowadzane w stanie ustalonym dla maksymalnie szerokiego zakresu zmian częstotliwości, dającej jeszcze możliwość stabilnego odczytu. Amplituda sygnału wejściowego powinna być maksymalnie duża.

### Przebieg ćwiczenia dla części B

1. Z dostępnych na stanowisku urządzeń połączyć układ pomiarowy o strukturze jak na rys. 1.26.
2. Wybrać sinusoidalny kształt sygnału wejściowego i maksymalną amplitudę.
3. Dla wybranych wartości częstotliwości dokonać pomiarów wartości skutecznych sygnału wejściowego i wyjściowego oraz przesunięcia fazowego. Obserwować przebiegi tych sygnałów na oscyloskopie dla wybranych częstotliwości w czasie i we współrzędnych X-Y (dla wybranych częstotliwości).
4. Pomiary powinny pokrywać cały zakres częstotliwości, które dla danego obiektu dają jednoznaczne odczyty, min. 40 pomiarów/obiekt.
5. Pomiary umieścić w tabeli i dokonać koniecznych przeliczeń.  
UWAGA!!!: Zwrócić uwagę na znaki mierzonych faz.

Pomiar nr	f [Hz]	$U_{wej}$ [V]	$U_{wyj}$ [V]	Faza [°]	Wzmocnienie k	Wzmocnienie [dB] 20logk
1.						
2...						

6. Wykreślić charakterystyki częstotliwościowe (amplitudowo-fazową i logarytmiczne amplitudy i fazy) identyfikowanych obiektów, dokonując koniecznych aproksymacji punktów pomiarowych oraz fragmentów charakterystyk dla bardzo małych i bardzo dużych częstotliwości.
7. Na podstawie uzyskanych charakterystyk zaproponować postacię transmitancji identyfikowanych obiektów oraz wyznaczyć (wyliczyć) ich parametry.
8. Zaproponować realizację (strukturę wewnętrzną) modelu obiektu na elementach RLC tzn. narysować schemat i podać wartości elementów.
9. Dokonać kilku obliczeń sprawdzających.

### C. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać stronę tytułową z wszelkimi danymi identyfikacyjnymi (jak w protokole). W dalszej części powinno zawierać cel i zakres, ogólny opis stanowiska laboratoryjnego (zarówno części sprzętowej jak i programowej, **opracowane** wyniki pomiarów, obserwacji, obliczeń, analizy, syntezy itd. oraz uwagi i wnioski. Do sprawozdania **musi** być dołączony protokół.

### Literatura

1. Bubnicki Z.: Identyfikacja obiektów sterowania. PWN, W-wa 1980
2. Wiszniewski A. (red): Teoria sterowania. Ćwiczenia laboratoryjne. Wrocław 1997
3. Kaczorek T., *Teoria sterowania*, T1, PWN, W-wa 1977
4. Mańczak K.: *Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania*, WNT, W-wa 1968
5. *Poradnik inżyniera automatyka*, WNT, W-wa 1973
6. Węgrzyn S.: *Podstawy automatyki*, PWN, W-wa 1979.

## Identyfikacja obiektów sterowania

**Wzór protokołu** (lekko zaciemnione pola wypełnia prowadzący)

<b>Laboratorium Automatyki i Regulacji Automatemycznej</b>					
<b>Temat: Identyfikacja obiektów sterowania: metoda charakterystyk czasowych</b>					<b>Nr: 1a</b>
<b>Grupa:</b>	<b>Imiona i nazwiska osób:</b>	<b>Podpisy:</b>	<b>Data wykonania:</b>	<b>Termin:</b> [ ] - planowy [ ] - odróbkowy	<b>Ocena:</b>
<b>Zespół:</b>	1. 2. 3.		<b>Data oddania:</b>	<b>Opóźnienie:</b>	<b>Dzień tygodnia:</b>  <b>Godz. zajęć:</b>

### Podsumowanie części A:

L.p.	Etap	Wykonanie		
		Poprawne	Poprawne, ale z małymi błędami	Z rażącymi błędami lub niewykonane
1.	Połączenie układu i konfiguracja przyrządów			
2.	Wykonanie pomiarów i rejestracja wyników			
3.	Identyfikacja i propozycja struktury modelu (postaci transmitancji) dla obiektu: $G_1(s) / G_2(s) / G_3(s) / G_4(s)^*$			
4.	Wyznaczenie parametrów transmitancji obiektu: $G_1(s) / G_2(s) / G_3(s) / G_4(s)^*$			
5.	Porównanie przebiegów rzeczywistych z otrzymanymi z modeli			
<b>Uwagi:</b>				

**Realizacja ćwiczenia przez studentów:**

# Identyfikacja obiektów sterowania

**Wzór protokołu** (lekko zaciemnione pola wypełnia prowadzący)

<b>Laboratorium Automatyki i Regulacji Automatemycznej</b>					
<b>Temat: Identyfikacja obiektów sterowania: metoda charakterystyk częstotliwościowych</b>					<b>Nr: 1b</b>
<b>Grupa:</b>	<b>Imiona i nazwiska osób:</b>	<b>Podpisy:</b>	<b>Data wykonania:</b>	<b>Termin:</b> [ ] - planowy [ ] - odróbkowy	<b>Ocena:</b>
<b>Zespół:</b>	1. 2. 3.		<b>Data oddania:</b>	<b>Opóźnienie:</b>	<b>Dzień tygodnia:</b>  <b>Godz. zajęć:</b>

## Podsumowanie części B:

L.p.	Etap	Wykonanie		
		Poprawne	Poprawne, ale z małymi błędami	Z rażącymi błędami lub niewykonane
1.	Połączenie układu i konfiguracja przyrządów			
2.	Wykonanie pomiarów i rejestracja wyników			
3.	Wykreślenie ch-ki amplitudowo-fazowej dla obiektu: $G_1(s) / G_2(s) / G_3(s) / G_4(s)^*$			
4.	Wyznaczenie ch-ki logarytmicznej amplitudy dla obiektu $G_1(s) / G_2(s) / G_3(s) / G_4(s)^*$			
5.	Wyznaczenie ch-ki logarytmicznej fazy dla obiektu $G_1(s) / G_2(s) / G_3(s) / G_4(s)^*$			
6.	Propozycja struktury modelu (postaci transmitancji) dla obiektu: $G_1(s) / G_2(s) / G_3(s) / G_4(s)^*$			
7.	Wyznaczenie parametrów transmitancji obiektu: $G_1(s) / G_2(s) / G_3(s) / G_4(s)^*$			
8.	Propozycja struktury wewnętrznej układu RLC obiektu: $G_1(s) / G_2(s) / G_3(s) / G_4(s)^*$			
9.	Obliczenie wartości elementów RLC obiektu: $G_1(s) / G_2(s) / G_3(s) / G_4(s)^*$			
<b>Uwagi:</b>				

\* - niepotrzebne skreślić

## Realizacja ćwiczenia przez studentów: