

Zakład Napędów i Automatyki Hydraulicznej  
Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn  
Politechnika Wroclawska

## **Ćwiczenie nr 7**

# **Dynamika układów hydraulicznych**

## 1. Wiadomości podstawowe:

Wzrastające wymagania, dotyczące szybkości działania, stabilności powodują konieczność uwzględnienia w projektowaniu układów hydraulicznych ich własności dynamicznych. Badania eksploatacyjne układów hydraulicznych maszyn roboczych ciężkich wykazują duży wpływ stanów przejściowych (rozruch, hamowanie) na pracę układu. Układy hydrauliczne napędowe i sterownicze podlegają różnym wymuszeniom powstającym podczas rozruchu hamowania mas, lub oddziaływania podłoża na układ. Jednym z najbardziej niebezpiecznych efektów wywołanych właściwościami dynamicznymi układu są uderzenia dynamiczne, powstające podczas przesterowania rozdzielaczy lub zaworów odcinających. Uderzenia dynamiczne wywołują krótkotrwałe wzrosty ciśnień o amplitudzie przewyższającej wartość ciśnienia ustalonego w instalacji, powodują bardzo duże przeciążenia węzłów konstrukcyjnych elementów uruchamiających, zaworów, rozdzielaczy, przewodów.

## 2. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest doświadczalne określenie wielkości charakteryzujących właściwości dynamicznych układów sterujących i roboczych. Wyznaczenie przebiegów wielkości charakteryzujących układ, pozwala na ujawnienie zjawisk zachodzących w układzie sterującym lub roboczym, związanych ze stanami przejściowymi (rozruch, harmonia zakłócenia) i w ruchu ustalonym.

Zakres ćwiczenia obejmuje pomiary:

- 1) Przebiegi ciśnienia w funkcji czasu  $p=f(t)$ .
- 2) Przebiegi natężeń przepływów w funkcji czasu  $Q=f(t)$ .
- 3) Przemieszczeń liniowych w funkcji czasu  $l=f(t)$ .
- 4) Prędkości członów roboczych w funkcji czasu  $v=f(t)$ .
- 5) Przyspieszeń członów lub elementów w funkcji czasu  $a=f(t)$ .
- 6) Prędkości katowyc wału w funkcji czasu  $n=f(t)$ .

## 3. Wskaźniki charakteryzujące właściwości dynamiczne układów hydraulicznych.

### 1. Jakość dynamiczna.

W serwomechanizmach hydraulicznych układów kierowniczych lub innych układach nadążnych ze sprzężeniem zwrotnym mechanicznym albo hydraulicznym występuje pojęcie jakości dynamicznej. Przez jakość dynamiczną rozumie się zespół wielkości charakteryzujących właściwość dynamiczną układów, do których można m.in. zaliczyć: wartość odchylenia maksymalnych, oscylacyjność, czas zanikania przebiegów przejściowych, czas rozruchu, zapas fazy i amplitudy jako wynik analizy stabilności, dokładność odtwarzania sygnałów wyjściowych, wielkości uchybów powodowanych oddziaływaniem wymuszeń.

Jakość dynamiczną określa się za pomocą wskaźników odnoszących się do poszczególnych przebiegów przejściowych – wywołanych wymuszeniami skokowymi, harmonicznymi lub stochastycznymi – umożliwiającymi przybliżoną lub dokładną ocenę przebiegu przejściowego układu hydraulicznego.

W rzeczywistej eksploatacji maszyn najczęściej występują wymuszenia skokowe trapezoidalne. W ciężkich maszynach roboczych najczęstszymi wymuszeniami są przesterowania rozdzielacza w czasie realizacji różnych cykli pracy: podnoszenie wysięgu,

skrętu kół jezdnych itp. Wymuszenia pochodzące od koła kierownicy podczas skrętu kół jezdnych mogą mieć charakter wymuszeń trapezoidalnych jednostkowych lub skokowych.

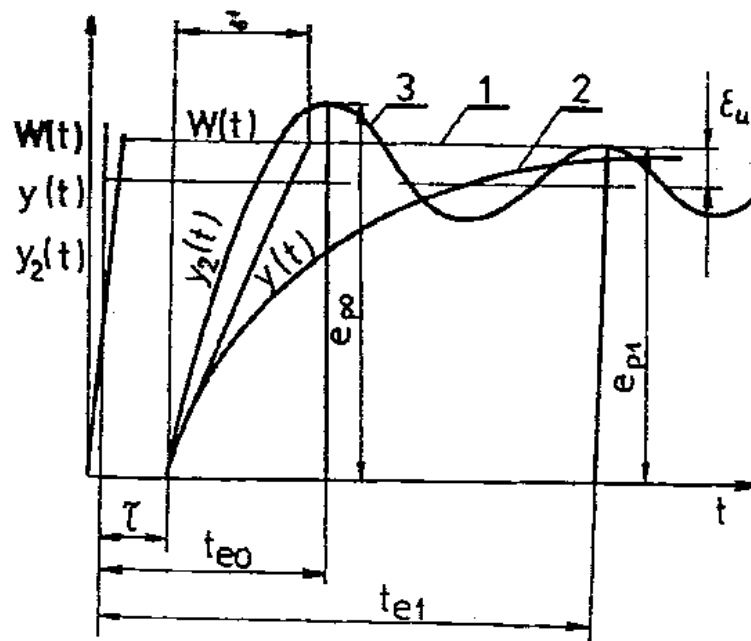
Zagadnienia jakości dynamicznej obejmują m.in.:

- sposób dochodzenia układu do równowagi,
- zachowanie się układu w stanach przejściowych.

W układach regulacji nadążnej, gdzie wymuszenie ciągle się zmienia, jakość dynamiczna obejmuje odtwarzanie przez układ zmian występujących w maszynie podczas eksploatacji w różnych warunkach pracy.

W układach hydraulicznych występują przebiegi przejściowe wywołane wymuszeniami skokowymi:

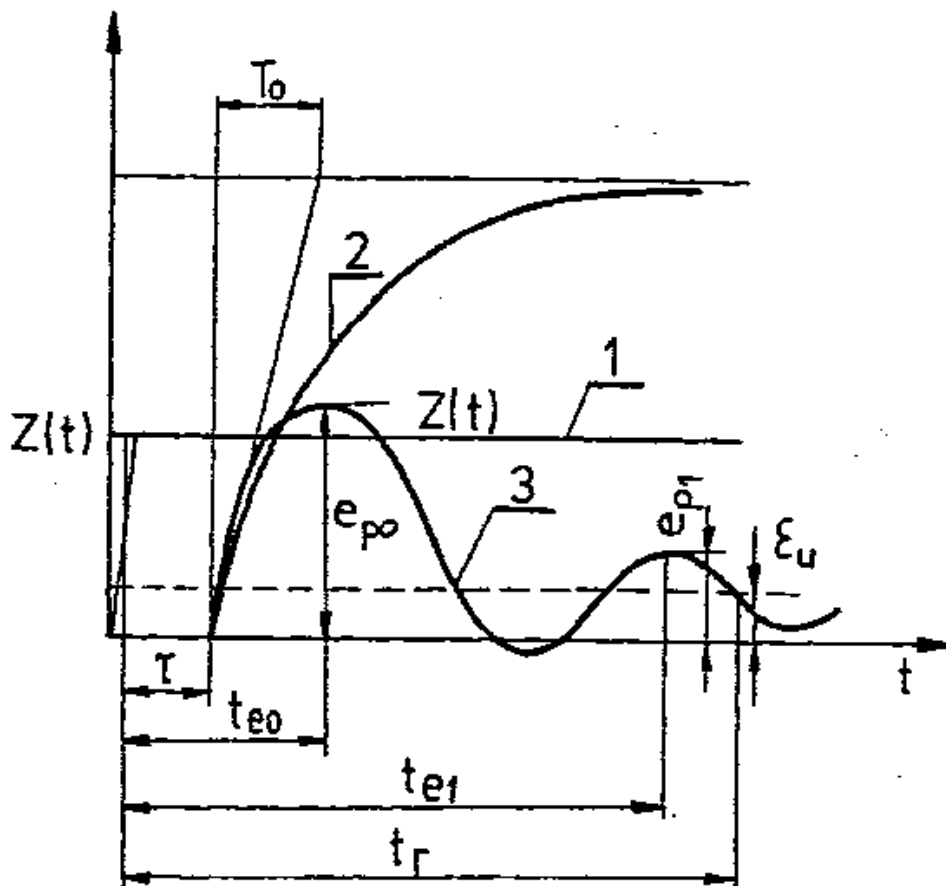
- a)w układzie regulacji statycznej przy wymuszeniu skokowym:



**Rys 7.1** przebieg przejściowy w układzie regulacji statycznej przy wymuszeniu skokowym

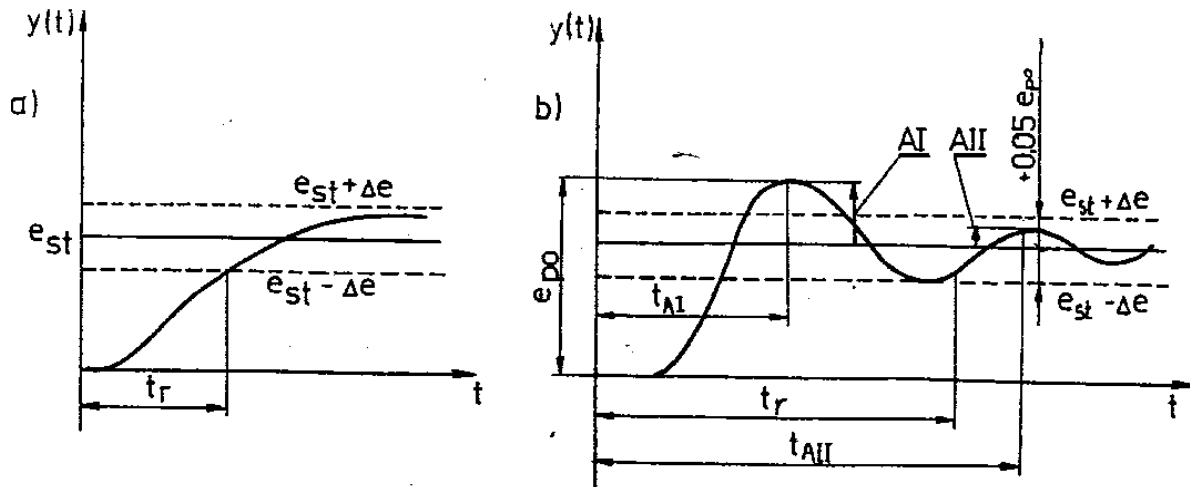
1 – wymuszenie trapezoidalne wejściowe, 2 – odpowiedź skokowa układu regulacji, 3 – odpowiedź układu zamkniętego,  $\tau$ ,  $t_{e0}$ ,  $t_{e1}$  – przedziały czasów: opóźnienia, maksym amplitudy i czas rozruchu,  $e_{p0}$ ,  $e_{p1}$ - amplitudy: maksymalna i rozruchu  $\epsilon_u$ - błąd statyczny położenia,  $y(t)$   $y_2(t)$  odpowiedzi na wymuszenie skokowe  $W(t)$ ,  $T_0$ - stała czasowa odpowiedzi skokowej układu regulacji

b) w układzie regulacji statycznej przy skokowej zmianie zakłóceń:



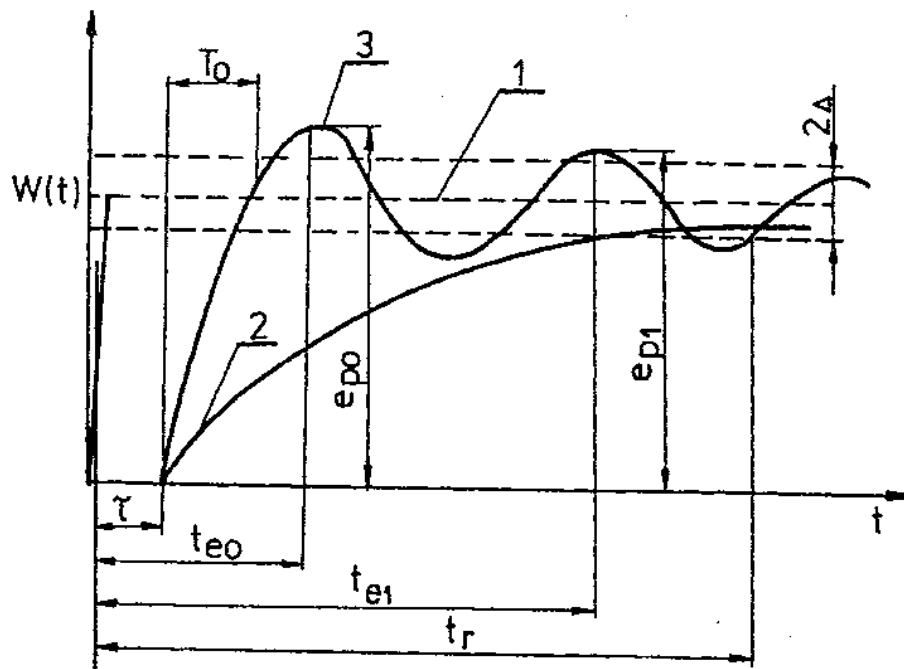
**Rys 7.2** przebiegi przejściowe w układzie regulacji statycznej przy skokowej zmianie zakłócenia  
 1 – sygnał zakłócenia, 2 – odpowiedź układu regulacji, 3 – odpowiedź skokowa układu zamkniętego  $Z(t)$ - zakłócenia trapezoidalne

c) w układzie regulacji statycznej – aperiodyczny i oscylacyjny:



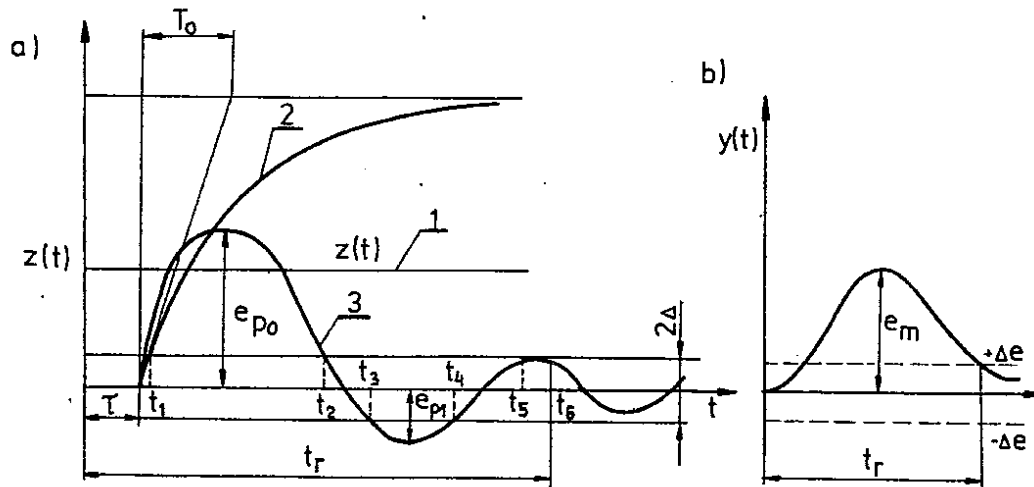
Rys 7.3 przebieg przejściowy w układzie regulacji statycznej: a – aperiodyczny, b – oscylacyjny  
 $t_{AI}$ ,  $t_{AII}$  – przebiegi czasów dla amplitud  $AI$  i  $AII$

d) w układzie regulacji astatycznej przy skokowej zmianie wartości zadanej



Rys 7.4 przebieg przejściowy w układzie regulacji astatycznej przy skokowej zmianie wartości zadanej  
 1 – wymuszenie wejściowe, 2 – odpowiedź skokowa układu, 3 – odpowiedź skokowa układu zamkniętego

e) w układzie regulacji astatycznej przy skokowej zmianie zakłóceniewej:



Rys 7.6 przebiegi przejściowe w układzie regulacji astatycznej przy skokowej zmianie zakłóceniewej  
 a – oscylacyjny , b – aperiodyczny , 1 - zakłócenie

## 2. Wskaźniki jakości dynamicznej:

### 3.2.1. Czas regulacji

Czas regulacji jest to czas ustalenia się ( $t_r$ ) przedziału czasu liczonego od rozpoczęcia przyłożenia wymuszenia do chwili po której odchylenie regulacji jest stale mniejsze od dopuszczalnych granic  $\pm\Delta e$ . Przyjmuje się przy tym, że  $\Delta e = 0,05e_m$  ( $e_m$  jest odchyleniem maksymalnym) lub  $\Delta e = 0,05e_{ust}$  ( $e_{ust}$  jest wartością odchylenia regulacji, jak ustaliłaby się w układzie bez regulatora). Zmniejszenie czasu absolutnego minimum można uzyskać przy zastosowaniu specjalnych optymalnych – w sensie czasu – regulatorów nieliniowych.

Czas regulacji określa się również jako czas trwania przebiegu przejściowego, tzn. przyjmuje się że układ wytrącony z równowagi przez zakłócenie osiągnie ponownie ten stan po czasie ( $t_r$ ).

Rozróżnia się czas regulacji w odpowiedzi (skokowej) nadążnej  $t_w$  i czas regulacji w odpowiedzi (skokowej) zakłóceniewej  $t_z$ , które mogą być różne dla tego samego układu regulacji.

Czas regulacji  $t_r$  definiowany jest dla dopuszczalnego odchylenia następująco:

$$t_r = \sup_i^{def} \{t_r\}, \quad (VII.1)$$

$\sup_i$  oznacza kres góry zbioru  $\{t_r\}$ ,  $t_r \in \{t_i\}$

### 3.2.2. Przeregulowanie

Przeregulowanie jest to maksymalny uchyb przejściowy o kierunku przeciwnym niż maksymalny uchyb początkowy, odniesiony do maksymalnego uchybu początkowego i wyrażony w procentach, mierzony przy odpowiedzi skokowej układu regulacji.

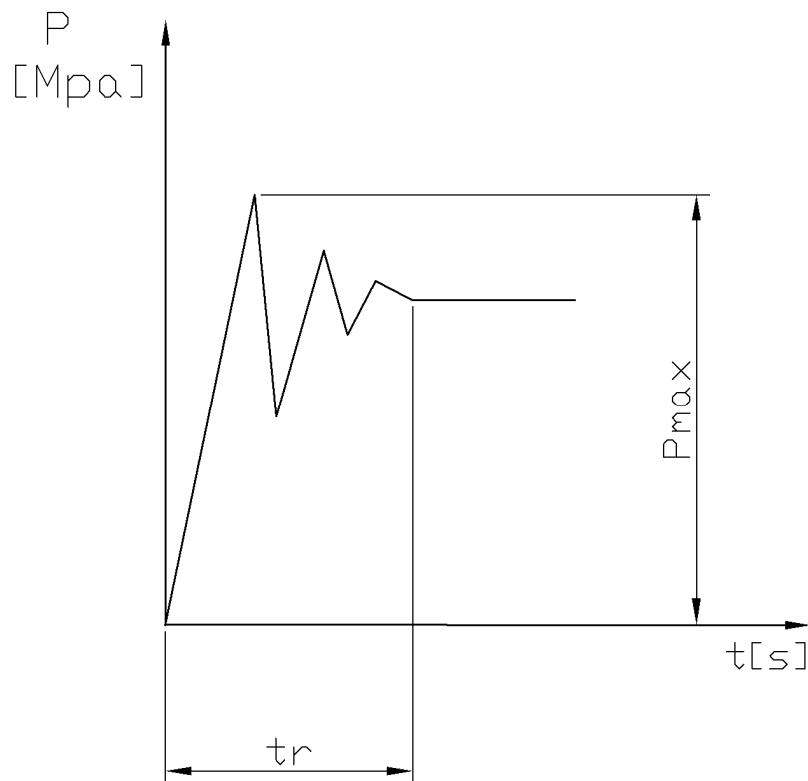
$$x_p = \frac{e_{p1}}{e_{p0}} * 100\% \quad (\text{VII.2})$$

W niektórych przebiegach wielkości charakteryzujących układ, niedopuszczalne jest są nawet chwilowe duże odchylenia regulacji, z tych względów wartość odchylenia maksymalnego jest bardzo istotna dla oceny układu.

Rozróżnia się przeregulowanie odpowiedzi skokowej i zakłóciowej tego samego układu regulacji.

### 3.2.3. Maksymalne uderzenie dynamiczne

Maksymalne odchylenie dynamiczne jest to maksymalna wartość wielkości charakteryzującej dynamiczne właściwości (np ciśnienia) występująca w zarejestrowanym cyklu pomiarowym. Wskaźnik ten posiada duży wpływ na trwałość węzłów konstrukcyjnych, uszczelnień przewodów, sprężyn w zaworach itp.



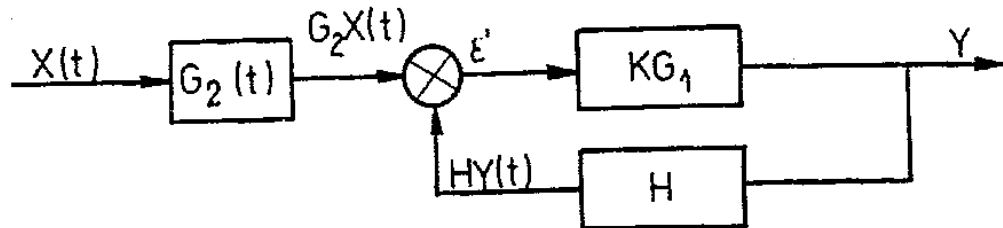
Rys 7.7 Maksymalne odchylenie dynamiczne





### 3.2.6. Ustalony uchyb regulacji

Ustalony uchyb regulacji ma w literaturze przedmiotu różne nazwy np. odchylenie, błąd ustalony. Ustalony uchyb regulacji jest to wartość uchybu regulacji, ustalająca się po dostatecznie długim czasie po ustleniu wielkości zakłócającej i wielkości zadającej. Istnieją różne powody powstawania uchybów w stanie ustalonym np. tarcie suche uszczelki zgarniających i uszczelniających, zmiana sił hydrodynamicznych itp.



Rys 7.10 Schemat blokowy serwomechanizmu

Dla układu blokowego przedstawionego powyżej uchyb regulacji można wyrazić zależnością:

$$\varepsilon' = x(t) * G_2 - Y(t) * H \quad (\text{VII.5})$$

Transmitancje w układzie zamkniętym wyraża zależność:

$$\frac{\varepsilon'}{x(t)} = \frac{G_2}{1 + KG_1H} \quad (\text{VII.6})$$

Przy skokowej zmianie  $x=A$  sygnał różnicy w stanie ustalonym otrzymuje się jako:

$$\varepsilon' = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{G_2 \frac{A}{s}}{1 + KG_1H} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{AG_2}{1 + KG_1H} \quad (\text{VII.7})$$

Przy skokowej zmianie prędkości  $x=vt$  sygnał różnicy wyznacza się ze wzoru na transmitancje

$$\frac{\varepsilon'}{v} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{G_2}{1 + KG_1H} * \frac{1}{s^2} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{G_2}{s * KG_1H} \quad (\text{VII.8})$$

Podobnie przy skokowym wymuszeniu przyśpieszenia  $x = \frac{1}{2}at^2$  sygnał uchybu otrzymano z wyrażenia:

$$\frac{\varepsilon'}{a} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{G_2}{s^2 KG_1H} \quad (\text{VII.9})$$

Uchyb ustalony, który może wystąpić w układach sterowania serwomechanizmu np kierowniczego, nie powinien przekroczyć pewnej z góry ustalonej dla danego procesu

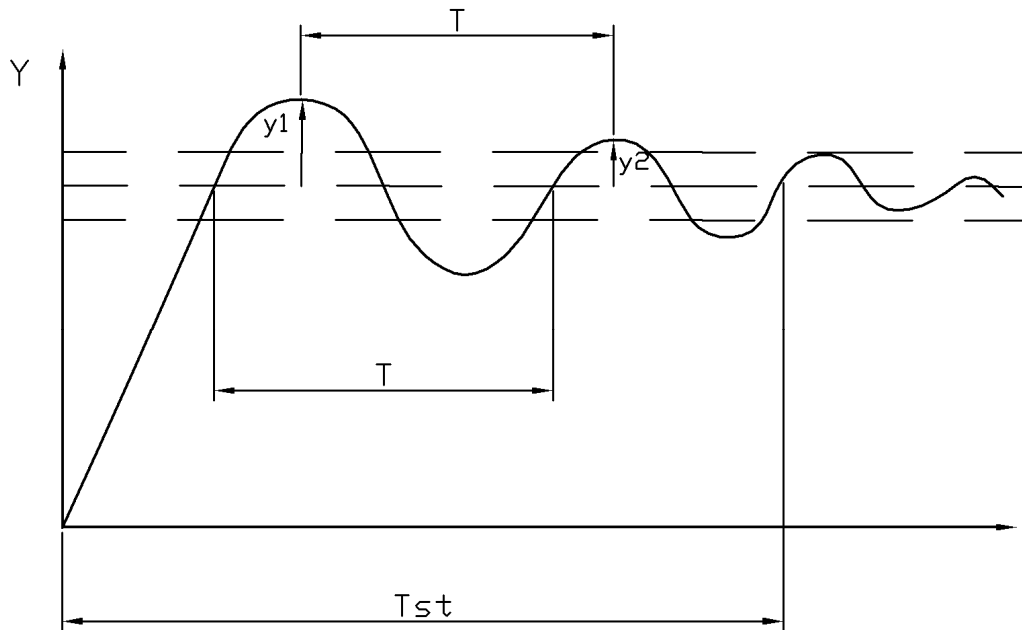
wartości. Dla układów ze składową całkową uchyb ustalony teoretycznie powinien być równy zero, ale może również przybierać małe wartości w związku z nieidealnością całkowania, pełzaniem zera rozdzielnicy (położenie neutralne), strefą nieczułości itp.

Ogólnie uchyb ustalony  $e_k$  zwany w tym przypadku uchybem statycznym  $e_s$  wyznacza się z zależności.

$$e_k = e_s = e(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} e(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} G_e(s) \quad (\text{VII.10})$$

### 3.2.7. Współczynnik tłumienia $\xi$ oraz częstość drgań $\omega$

Na podstawie przebiegów wielkości charakteryzujących właściwości dynamicznych wyznaczonych podczas badań eksperymentalnych można wyznaczyć współczynnik tłumienia  $\xi$  oraz częstość drgań  $\omega$ .



Rys 7.11 Przebieg przejściowy słabo tłumiony

Współczynnik tłumienia  $\xi$  przyjmuje postać:

$$\xi = \frac{-l_n \frac{y_3}{y_1}}{\sqrt{4\Pi^2 + \left(l_n \frac{y_3}{y_1}\right)^2}} \quad (\text{VII.11})$$

A częstość drgań  $\omega$  z zależności:

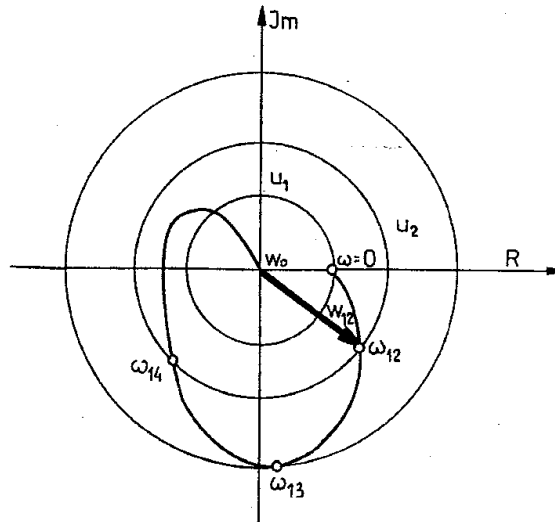
$$\omega = \frac{2\Pi}{T\sqrt{1-\xi^2}} \quad (\text{VII.12})$$

### 3.2.8. Wskaźniki dotyczące przebiegu charakterystyk częstotliwościowych

Należy do nich współczynnik zwielokrotnienia amplitudy zdefiniowany jako:

$$u = \frac{w(\omega)}{w(0)}, \quad (\text{VII.13})$$

Gdzie:  $w(\omega)$  – moduł wektora częstotliwości funkcji przejścia dla dowolnej rozpatrywanej wartości pulsacji  $\omega$ ,  $w(0)$  – moduł wektora częstotliwościowej funkcji przejścia dla częstotliwości  $\omega=0$



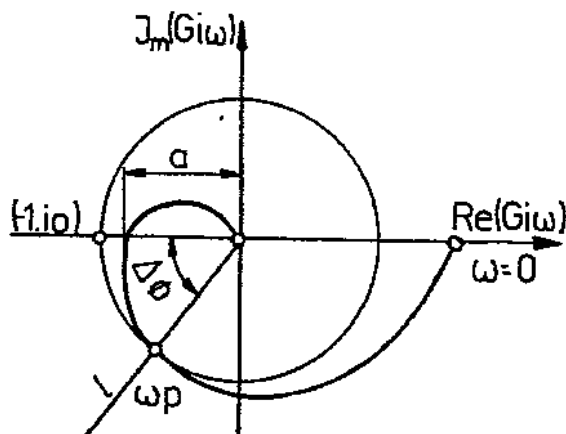
Rys 7.12 Wykres na płaszczyźnie zespolonej do wyznaczenia współczynnika uwielokrotnienia amplitudy

$u_2$  – współczynnik uwielokrotnienia amplitudy,  $w_0$   $w_{12}$  – moduł funkcji  $\omega=0$  i dowolnej pulsacji  $\omega_{12}$

Współczynnik ten służy do oceny stacjonarnych procesów dynamicznych (drgań wymuszonych). Znajduje zastosowanie do oceny jakości dynamicznej przy zmiennych obciążeniach.

#### 3.2.8.1. Zapas fazy i amplitudy

Zapas fazy i amplitudy oblicza się na podstawie kryteriów stosowanych w teorii regulacji. Najczęściej stosowane kryterium Nyquista.



Rys 7.13 Charakterystyka amplitudowo-fazowa – wyznaczanie zapasu fazy i amplitudy

Zapas fazy  $\Delta\varphi$  określa się w następujący sposób. Ze środka współrzędnych (0,0) rysuje się okrąg o promieniu 1. Punkt przejścia  $\omega_p$  należy połączyć z początkiem układu prostą  $l$ . Kąt jaki utworzy prosta  $l$  z ujemną osią rzeczywistą, jest zapasem fazy  $\Delta\varphi$ .

Zapas wzmocnienia ( $w$ ) wyznacza się mierząc odcinek  $a$  na osi odciętych, a następnie z zależności:

$$w = \frac{1}{a}, \quad (\text{VII.14})$$

Zapas modułu oblicza się z zależności:

$$\Delta = 20 \log w. \quad (\text{VII.15})$$

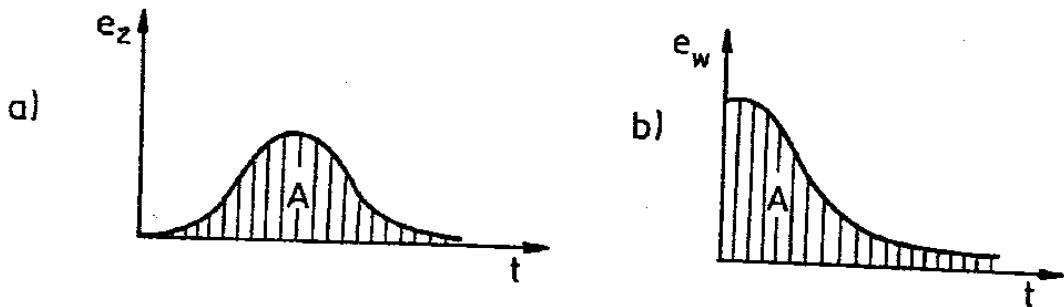
Zapas amplitudy zawarty w granicach od 10 do 15dB stanowi wartości wystarczające do zapewnienia dobrego tłumienia ewentualnych drgań wtórnych. Zapas fazy jest zawarty w granicach 0,523-1,046 rad. Zapas wzmocnienia jest gwarancją, że układ zachowuje stabilność, mimo nieprzewidzianych zmian wzmocnienia w układzie otwartym. Zapas fazy jest gwarancją, że stabilność zostanie zachowana, mimo istnienia szkodliwych opóźnień, których nie przewidziano przy nastawianiu układu sterowania.

### 3. Kryteria całkowite z odchyleniami w czasie.

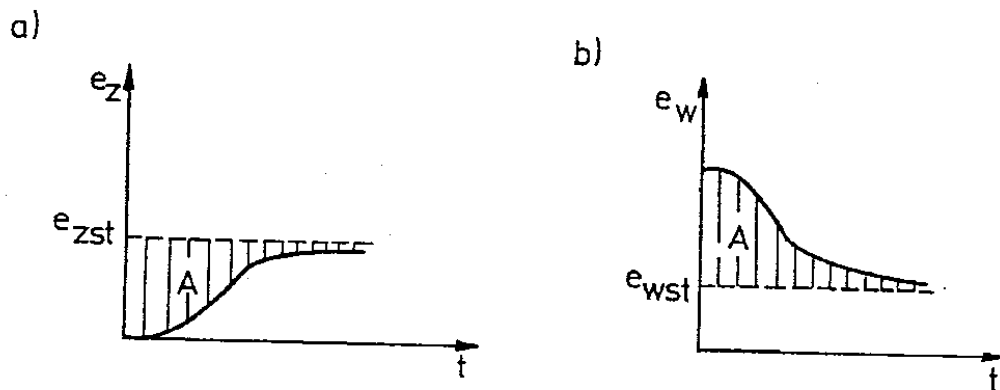
#### 3.3.1. Kryterium całkowite

Kryterium całkowite jest powszechnie stosowane w przypadku, gdy najważniejszymi parametrami regulacji są czasy regulacji  $t_r$  i odchylenie dynamiczne. Kryteria te dają możliwość oszacowania szybkości zanikania i odchylenia przebiegów niestabilnych. Kryteria te są oparte na wielkości powierzchni opisanej przez krzywą przebiegu przejściowego lub przez kwadrat tego przebiegu. Obliczona powierzchnia powinna być jak najmniejsza, co świadczy o minimalnym odchyleniu lub najszybszym zanikaniu sygnałów. Po obliczeniu całki należy tak zmianać parametry, aby uzyskać najmniejszą wartość całki, co będzie odpowiadało układowi optymalnemu.

Dla odchylenia dynamicznego  $e$  w układach astatycznych  $e=e_z$  lub  $e=e_w$  miarą jakości regulacji jest pole:



Rys 7.14 Krzywe odchylenie przejściowego



Rys 7.15 Krzywe odchylenie przejściowego dla przebiegów statycznych

Dla przebiegów statycznych wskaźnikiem jakości przebiegu jest pole:

$$A = \int_0^{\infty} [e_{st} - e(t)] dt. \quad (\text{VII.16})$$

Kryterium to może dać poprawne wyniki, gdy przebieg przejściowy odbywa się bez przeregulowania, czyli odchylenie przejściowe  $e(t)$  jest funkcją zachowującą stały znak. W przypadku gdy  $e(t)$  jest funkcją znakovzmienna, wówczas powierzchnie odejmują się i wynik mógłby być sprzeczny. Jest to wada metody. Całkę z zależności można przedstawić w zmienionej postaci:

$$\begin{aligned} I_1 &= \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt = \lim_{s \rightarrow 0} \int_0^{\infty} \varepsilon(t) e^{-st} dt = \lim_{s \rightarrow 0} \varepsilon(s) = \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \left[ \frac{1}{s} G_z(0) - \frac{1}{s} G_z(s) \right] = - \left. \frac{dG_z(s)}{ds} \right|_{s=0} = -G'_z(0). \end{aligned} \quad (\text{VII.17})$$

Gdzie  $e$  jest przejściowym odchyleniem.

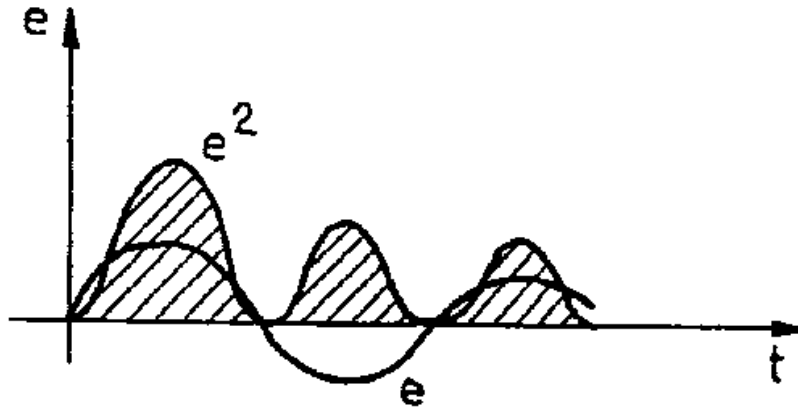
Kryterium to wymaga minimalizacji pierwszej pochodnej funkcji  $G_z(s)$  dla  $s=0$  – w zależności od parametrów regulacji i można je stosować, gdy przebiegi przejściowe nie wykazują przeregulowania.

### 3.3.2. Kryterium całki z kwadratu odchylenia w czasie

Kryterium to jest często stosowane, ponieważ prowadzi do układów najmniej wrażliwych na zakłócenia przypadkowe, dla układów z opóźnieniem natomiast daje się wyrazić w postaci analitycznej:

$$I_2 = \int_0^{\infty} [e(t)]^2 dt, \quad (\text{VII.18})$$

Przy czym  $e \rightarrow 0$  przy  $t \rightarrow \infty$ .



Rys 7.16 Krzywe kwadratu odchylenie przejściowego

Całka ta nie zależy od znaku nachylenia, a więc nie zależy od rodzaju przebiegu przejściowego. Całka będzie tym mniejsza, im mniejsza będzie suma zakreskowanych powierzchni obliczonych dla kwadratów rzędnych przebiegu ( $e$ ).

Kryterium to można obliczać na podstawie transformaty  $E(s)$  bez rozwiązywania równania charakterystycznego i przechodzenia na formę czasową, gdyż

$$I_2 = \int_0^{\infty} e(t)^2 dt = \int_0^{\infty} \left\{ \frac{1}{2\pi j} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} E(s) e^{st} ds \right\} e(t) dt \quad (\text{VII.19})$$

tj. przez przedstawienie  $e(t)$  za pomocą odwrotnej transformaty Laplace'a i pomnożenia przez  $e(t)$ .

Porządek całkowania można zmieniać wobec absolutnej zbieżności całek, czyli

$$I_2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} \left\{ E(s) \int_0^{\infty} e(t) e^{st} dt \right\} ds \quad (\text{VII.20})$$

ponieważ  $\int_0^{\infty} e(t) e^{st} dt$  przedstawia transformatę  $E(-s)$  wobec czego

$$I_2 = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-i\infty}^{c+i\infty} E(s) E(-s) ds \quad (\text{VII.21})$$

Ponieważ rozważany układ jest stabilny, więc funkcja  $E(s)$  nie ma biegunów w prawej części płaszczyzny Gausa ani też w początku układu współrzędnych. Można więc przyjąć, że odcięta absolutnej zbieżności,  $c=0$ ,  $s=i\omega$ .

Wynika z tego następujący zapis:

$$I_2 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |e(i\omega)|^2 d\omega = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \left| \frac{G_z(0) - G_z(i\omega)}{i\omega} \right|^2 d\omega \quad (\text{VII.22})$$

Kryterium to daje silne oscylacje i przebiegi przejściowe wymagające mocnego oddziaływania regulacyjnego. Wartości optymalne wzmocnienia i czasu wyprzedzania są duże, a czasu zdwojenia małe. Wartości przeregulowania mogą sięgać 45%.

#### **4. Maszyna badana lub stanowisko pomiarowe.**

Badania przeprowadza się na istniejącej maszynie (podnośnik widłowy, ładowarka, żuraw itp.) lub na stanowisku będącym modelem fizycznym maszyny w odpowiedniej skali (rys.7.6).

Układ hydrauliczny zbudowany jest z : zbiornika 1, filtra 3, zaworu odcinającego 4, pompy 6, rozdzielacza elektromagnetycznego 9, zaworu przełączającego 10, zestawu akumulatorów 11, rozdzielacza 12 i silnika hydraulicznego 15. Układ pomiarowy tworzą czujniki ciśnień 7, 8, 5, czujnik natężeń przepływu 24, przepływomierz 14, czujnik przemieszczeń 16 (Xs i Ys) oraz miernik wielkości mechanicznych 17 oraz rejestrator 18. Obciążenie 21 połączone jest liną z tłoczyskiem cylindra.

#### **5. Sposób pomiaru wielkości charakteryzujących układ hydrauliczny.**

Wyznaczenie wielkości charakteryzujących układ roboczy takich jak: czas rozruchu, maksymalne dynamiczne odchylenie sygnału, oscylacyjność , współczynnik nadwyżek dynamicznych, opiera się na pomiarze następujących przebiegów w funkcji czasu: ciśnienia w funkcji czasu  $p=f(t)$ , natężenia przepływu w funkcji czasu  $Q=f(t)$ , wymuszeń sygnałów wejściowych  $x=f(t)$  i odpowiedzi  $Y=f(t)$ .

Pomiary wielkości charakteryzujących układ hydrauliczny można przeprowadzić dla różnych obciążeń wózka widłowego, przy różnych prędkościach czasu przesterowania suwaka 12, jak również przy włączaniu jednego lub kilku akumulatorów. Ciśnienia 7 i 8 mierzone są za pomocą pojemnościowych czujników ciśnień. Wzorcowanie czujników ciśnień należy przeprowadzić na prasce do manometrów, dla zakresu ciśnień od 0 do 25 kPa. Średnią wydajność pompy podczas pomiarów mierzona jest za pomocą czujników przepływów współpraującego ze wzmacniaczem 17 i rejestratorem 18. Przemieszczenia suwaka Xsi odpowiedź tłoka cylindra mierzone są za pomocą czujników przemieszczeń liniowych , współpracujących z miernikiem wielkości mechanicznych 17 i rejestratorem 18. Temperaturę w zbiorniku mierzono za pomocą termopompy 23, a w przewodzie tłocznym pompy temperaturę mierzono za pomocą termistorowego czujnika temperatury. Ciągłą rejestrację temperatury mierzono za pomocą rejestratora 18.

#### **6. Badania dynamiki układów hydraulicznych.**

Badania należy przeprowadzać po ruchu próbnym układu, którego celem jest wykazanie prawidłowości pracy układu. Podczas ruchu próbnego należy sprawdzić nastawę zaworu bezpieczeństwa 3 i działanie rozdzielaczy 9 i 12 oraz sprawdzić prawidłowość i powtarzalność wskazań przyrządów pomiarowych. Układ należy odpowietrzyć i sprawdzić prawidłowość połączeń instalacji hydraulicznej. Podczas próbnych uruchomień należy ustalić żądane natężenie przepływu na pompie lub za pomocą zaworu dławiącego 13 zależnie od wskazań prowadzącego zajęcia. (rys.7.17).

Układ pozwala na realizację różnych cykli pracy np. Podnoszenie ciężaru skokami z zatrzymaniem aż dogórnego położenia, podnoszenie ciężaru od dolnego do górnego położenia, lub opuszczanie ciężaru z górnego położenia do dolnego z nagłym zatrzymaniem tuż nad podłożem.

Po wyborze odpowiedniego cyklu pracy, wzorcowaniu i aparatury pomiarowej można rejestrować przebiegi w funkcji czasu poszczególnych wielkości charakteryzujących właściwości dynamiczne układu.

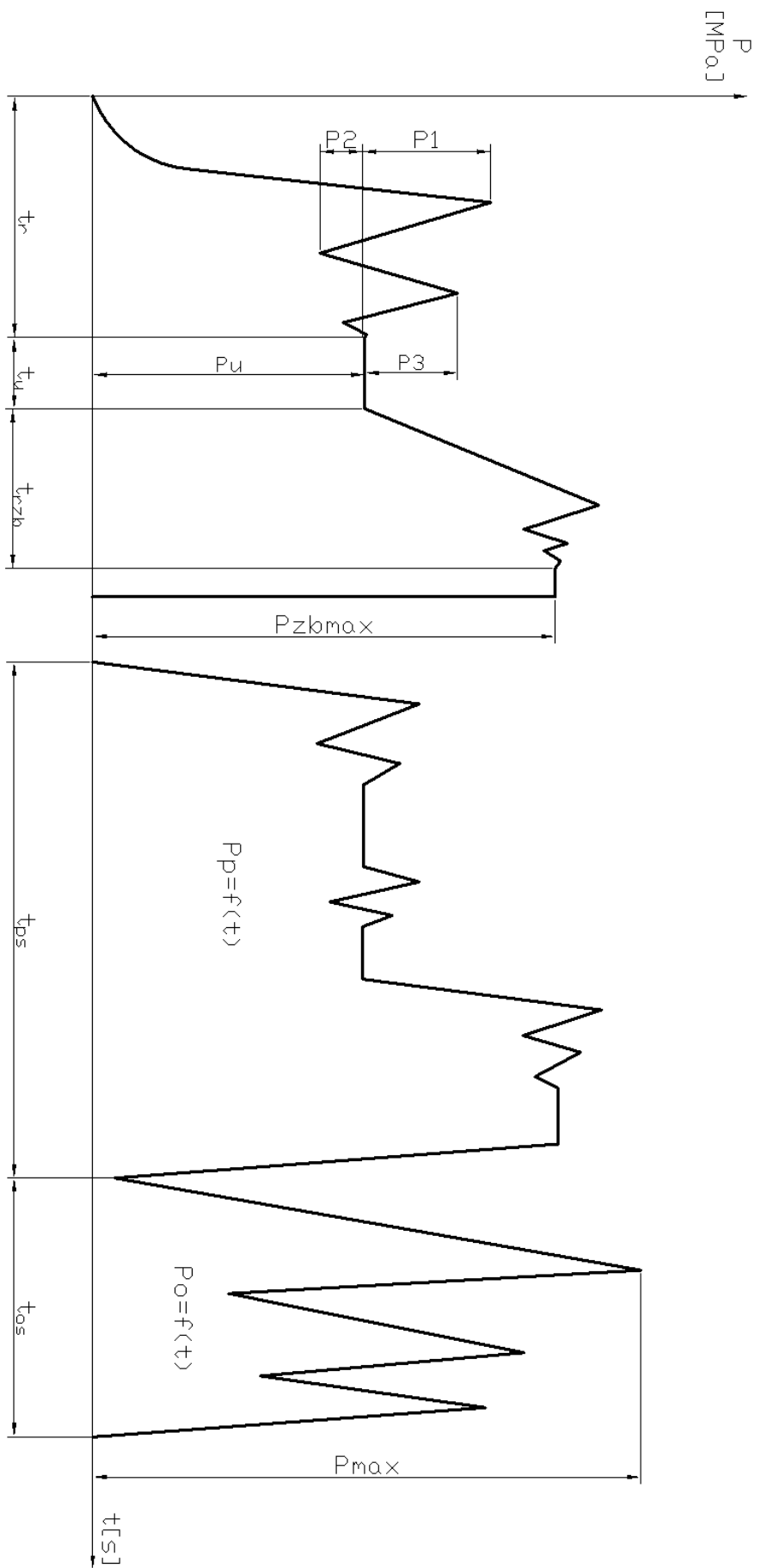
## **7. Opracowanie wyników pomiarów.**

Z otrzymanych oscylogramów przebiegów wielkości charakteryzujących właściwości dynamiczne układu wyznaczyć:

1. Czas rozruchu.
2. Oscylacyjność
3. Współczynnik nadwyżek dynamicznych.
4. Czas ruchu ustalonego.
5. Częstotliwość drgań układu,
6. Okres drgań układu.
7. Okres drgań i współczynnik tłumienia
8. Czas cyklu.

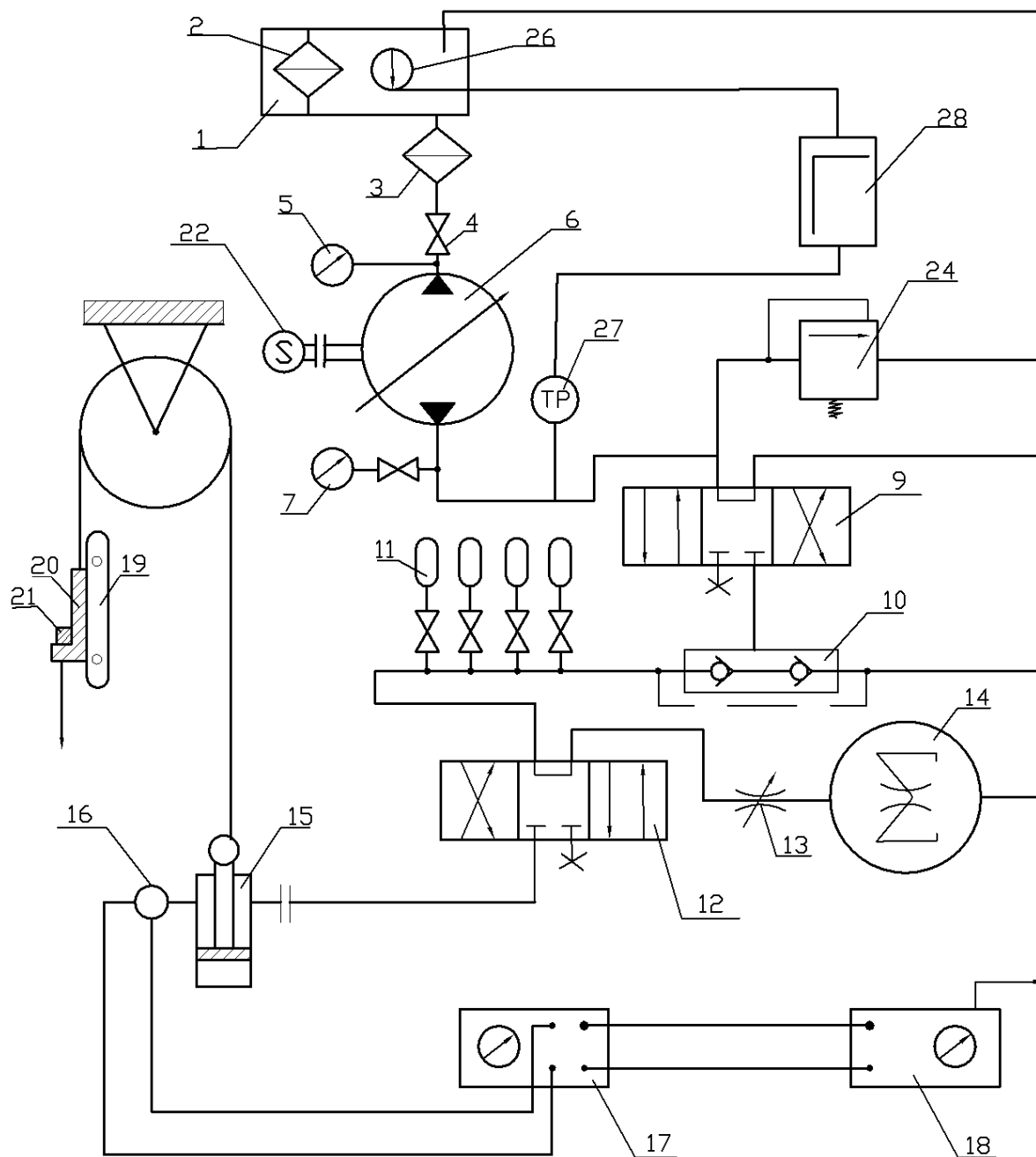
Przykładowe przebiegi przedstawiają **rys7.5**





Rys.7.5. Oscylogramm Przebiegu ciśnien w przewodzie tłocznym pompy w cyklu badawczym.

- $P_{max}$ - maksymalna wartość ciśnienia,  $p_1, p_2, p_3$ - amplituda ciśnien,  $T$ -okres drgań ciśnien
- $P_u$ - ciśnienie w ruchu ustalonym,  $P_{zbmax}$ - maksymalna wartość ciśnienia otwarcia zaworu,
- $t_r$ - czas rozruchu,  $t_u$ - czas ruchu ustalonego,  $t_r$   $t_{zb}$ -czas drgań,  $t_{zb}$ -bezpieczny czas otwarcia,
- $t_{ps}$ -czas cyklu roboczego,  $t_{ps}$ - czas cyklu podnoszenia z zatrzymaniem obciążen
- $t_{os}$ - czas cyklu opuszczania z zatrzymaniem



**Rys.7.17.**

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1.Zbiornik                       | 15.Cylinder jednostronnego działania           |
| 2.Filtr wlewowy                  | 16.Czujnik ciśnienia indukcyjny                |
| 3.Filtr ssawny                   | 17.Elekt. miernik wielkości mechanicznych      |
| 4.Zawór odcinający ZOK-1132      | 18.Graficzny rejestrator wielkości mechaniczn. |
| 5.Manometr -1÷kG/m <sup>2</sup>  | 19.Prowadnice wózka                            |
| 6.Pompa wielotłoczkowa PTOZ 4OR  | 20.Wózek mechanicznie podnoszony               |
| 7.Czujnik ciśnienia              | 21.Obciążenie                                  |
| 8.                               | 22. Silnik napędzający pompę                   |
| 9.Rozdzielacz KBS-10-160E        | 23.Czujnik natężenia przepływu                 |
| 10.Zawór autom. Rozładow. 2AR-25 | 24.Zawór przelewowy ZP-63                      |
| 11.Akumulator                    | 25.  |
| 12.Rozdzielacz                   | 26.Czujnik temperatury                         |
| 13.Zawór dławiący                | 27.Czujnik temperatury                         |
| 14.Przeływomierz puszkowy P-40   | 28.Rejestrator temperatury                     |