

2. WSPÓŁCZESNE MASZyny WYTRZYMAŁOŚCIOWE*

2.1. WSTĘP

Eksperyment to jedyny sposób zdobycia wiedzy jakim dysponujemy. Wszystko poza tym to poezja i wyobraźnia.

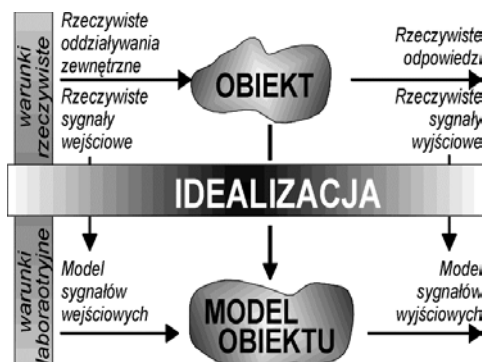
Max Planck

Inżynier mechanik przychodząc do laboratorium musi mieć wyobrażenie o treści prowadzonych prób, o tym co będzie mierzył i jak będzie mierzył. Niewiadomą pozostają rezultaty tych prób, co świadczy o losowości otaczającego nas świata, który nie zawsze poddaje się determinizmowi Newtona.

Współczesny inżynier projektując, potrzebuje informacji podstawowej dotyczącej właściwości stosowanych materiałów, ale także informacji wtórnej dotyczącej zachowania się eksploatowanych obiektów. W jednym i drugim przypadku istnieje konieczność wykonania pomiarów w laboratorium w prostych próbach wytrzymałościowych lub też skomplikowanych testach symulacyjnych. Inżynier, stojąc przed koniecznością przeprowadzenia badań powinien mieć świadomość złożonych rzeczywistych warunków pracy obiektu i ograniczonych możliwości odtworzenia takich samych w laboratorium badawczym.

Czy można przenieść interesujący nasz obiekt bądź jego element wprost do laboratorium i obciążyć go tak jak jest on obciążany w rzeczywistych warunkach pracy? Najczęściej nie. Potrzebna jest pewna wiedza pozwalająca przeprowadzić w taki sposób badania w laboratorium, aby uzyskać wiarygodne informacje i możliwości wykorzystania ich w rzeczywistych warunkach pracy obiektu.

Inżynier, aby przeprowadzić próbę w laboratorium, sięga po metodę stosowaną w naukach podstawowych - idealizacji rzeczywistości i budowy modelu badanego



Rys. 2.1. Modelowanie rzeczywistych warunków pracy obiektu

zjawiska. Konieczność takiej idealizacji wynika z ograniczonej wiedzy o zjawiskach zachodzących w przyrodzie, pojęciowych i technicznych ograniczeń badawczych oraz wymagań rozwiązania problemów w ograniczonym czasie i przy ograniczonych środkach [1]. Na rysunku 2.1 pokazano schemat procesu modelowania rzeczywistych warunków pracy obiektu. W badaniach eksperymentalnych przez model sygnałów wejściowych rozumiemy sposób oddziaływania elementów stanowiska na zainstalowany na

* opracował Zbigniew R. Lis

tym stanowisku badany obiekt. Oddziaływanie to może mieć charakter sił, momentów sił, różnych wielkości kinematycznych, takich jak: przemieszczenia, prędkości, przyspieszenia liniowe. Przebiegi czasowe tych oddziaływań mogą być w różny sposób kształtowane, np. w postaci przebiegów ciągłych, impulsowych itp. Modele sygnałów wejściowych realizowanych w laboratorium stanowią, ze względu na ograniczone możliwości aparaturowe, węższą rodzinę niż rzeczywiste sygnały wejściowe.

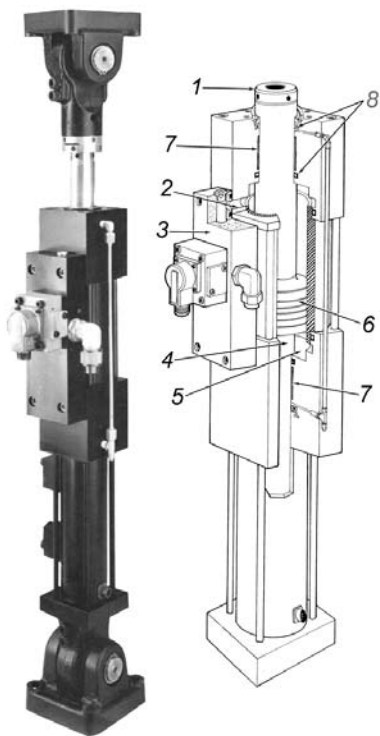
Realizację modelowych sygnałów wejściowych wykonuje się w laboratorium badawczym za pomocą tzw. maszyn wytrzymałościowych. Badania podstawowe przeprowadza się na stosunkowo prostych maszynach. Wybrane zespoły konstrukcyjne omówione zostaną w kolejnym paragrafie. Te same zespoły mogą służyć do budowy bardziej złożonych maszyn wykorzystywanych do badań symulacyjnych całych skomplikowanych obiektów, np. samochodów czy samolotów.

Prowadzenie badań materiałowych czy symulacyjnych na obiekcie wymaga dokonania idealizacji rzeczywistych warunków pracy tak, by można było zbudować model obiektu, model sygnałów wejściowych i wyjściowych. Rozwiązanie takie jest uproszczeniem, pozwalającym na prowadzenie prób. Modelowanie uwzględnia istotne cechy obiektu, jakie chcemy odtworzyć w laboratorium. Ograniczenia jakie wprowadzono w modelu obiektu mogą wynikać z możliwości badawczych laboratorium, mogą też ułatwiać prowadzenie prób w skończonym czasie i przy akceptowalnych kosztach.

2.2. PODSTAWOWE ELEMENTY I ZESPOŁY MASZYN WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

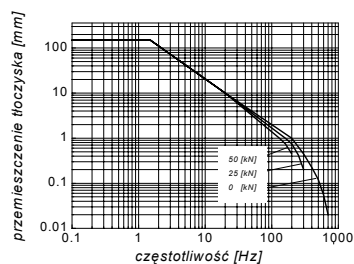
2.2.1. Elektrohydrauliczny wzbudnik drgań

Podstawowym elementem stanowiska badawczego umożliwiającym obciążenie badanego obiektu w postaci programowanych przebiegów jest element wykonany jako cylinder z umieszczonym wewnątrz tłokiem i tłoczyskiem. Ze względu na jego podstawowe możliwości, tzn. zmiany przemieszczenia tłoczyska w czasie (drgania tłoczyska) powodowane zmianami elektrycznego sygnału sterującego, przyjęła się nazwa tego zespołu *elektrohydrauliczny wzbudnik drgań (EWD)*. Widok i przekrój EWD firmy *MTS Systems Corporation, USA* pokazano na rysunku 2.2. Specjalny serwowawór sterowany elektromagnetycznie umożliwia przetłaczanie dużych ilości oleju pod ciśnieniem rzędu 20 MPa do komór cylindra po obu stronach tłoka. Różnica ciśnień po obu stronach tłoka wywołuje siłowe oddziaływanie elementu wykonawczego wzbudnika na badany obiekt (dynamiczne wymuszenie drgań obiektu), zaś różne objętości oleju po obu stronach tłoka są przyczyną przemieszczeń elementu wykonawczego (kinematyczne wymuszenie drgań). Zawór umożliwia bardzo szybkie przemieszczanie się elementu wykonawczego w dwóch kierunkach dochodzące w niektórych modelach nawet do 300 Hz (przy niewielkich amplitudach). EWD z układem sterującym umożliwia



Rys. 2.2. Elektrohydrauliczny wzbudnik drgań [2]
1-tłoczek 2- zasilanie, 3-obudowa serwowozoru, 4-dolna część tłocznika, 5-komora cylindra, 6-tłok, 7,8, uszczelnienia

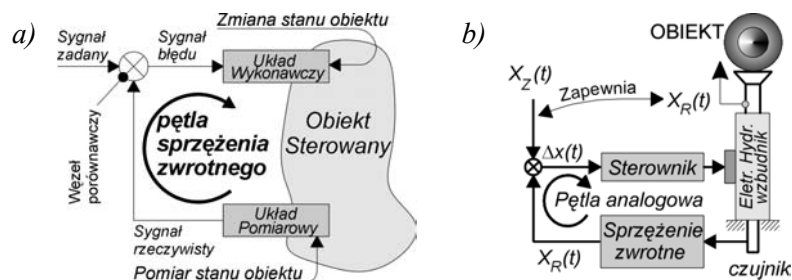
i wytworzenie sygnału błęd wykonuje węzeł porównawczy; rys. 2.4a) to organizacja *PSZ* powoduje taką reakcję elementu wykonawczego, by powstały błąd sprowadzić do wartości minimalnej. Istotą



Rys. 2.3. Charakterystyka częstotliwościowa wzbudnika drgań firmy MTS

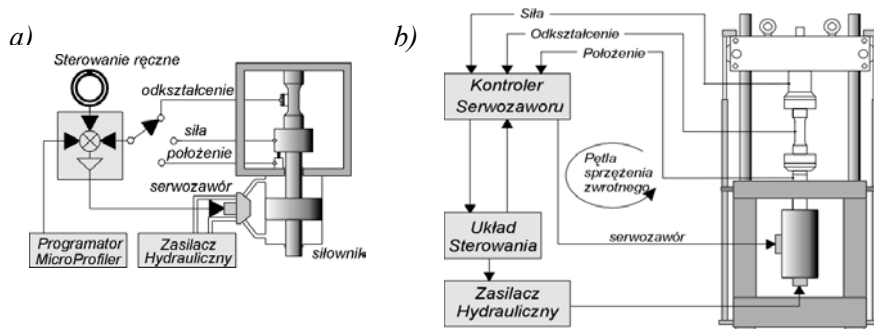
programowe sterowanie siłownikiem urządzenia, tworząc samodzielny zespół stanowisk badawczych. Na rysunku 2.3 pokazano zależność amplitudy przemieszczeń tłocznika *EWD* od częstotliwości pracy. Powyżej pewnej granicznej częstotliwości wartość realizowanej amplitudy drgań wzbudnika silnie zależy od częstotliwości wymuszeń. O tej własności trzeba pamiętać przy układaniu programów sterujących i ustalaniu oczekiwanych zakresów realizowanych parametrów. Aby sterować w czasie rzeczywistym dynamicznymi własnościami stanowiska badawczego (poprzez *EWD*) wykorzystuje się podstawową metodę układów automatyki, tzw. pętlę sprzężenia zwrotnego (*PSZ*). Ogólnie układ taki działa poprzez porównanie sygnału wyjściowego (rzeczywistego) informującego o wybranym stanie obiektu z sygnałem wejściowym (zadany, rys. 2.4a). Sygnał zadany generowany jest najczęściej w układach cyfrowych (rys. 2.4b - $x_Z(t)$). Sygnał rzeczywisty (rys. 2.4b - $x_R(t)$) jest mierzony w czasie rzeczywistym, możliwe jest więc ich porównanie. Jeśli występuje między nimi różnica (to porównanie

Interesują nas możliwości zastosowań takich urządzeń dla badań wytrzymałościowych i symulacji. Sygnały, którymi będziemy sterować mają naturę mechaniczną np. siła, przemieszczenie, odkształcenie. Budowane maszyny wytrzymałościowe pozwalają najczęściej na wybór jednego z wymienionych sygnałów jako sygnału sterującego przebiegiem próby.



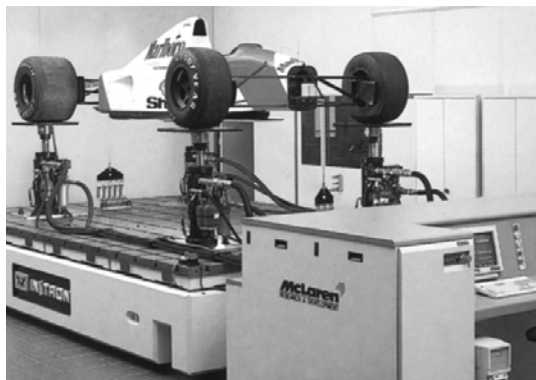
Rys. 2.4. Zasada sterowania wg pętli sprzężenia zwrotnego

W takim przypadku pozostałe sygnały w czasie próby są mierzone i rejestrowane ale nie wpływa to na zachowanie się badanego obiektu. Takie rozwiązanie pokazano na rysunku 2.5. Serwowzawór EWD wymaga sygnału elektrycznego o zmiennej amplitudzie napięcia. Sygnały mechaniczne za sprawą odpowiednich czujników przetwarzających zmiany tego sygnału na zmiany w czasie amplitudy napięcia są reprezentowane przez odpowiedni sygnał elektryczny.



Rys. 2.5. Zastosowanie wzbudnika drgań do maszyny wytrzymałościowej
a - organizacja pętli sprzężenia zwrotnego b - schemat maszyny wytrzymałościowej

Osobnym problemem staje się zbudowanie odpowiedniego czujnika pomiarowego transformującego zmiany sygnału mechanicznego na zmiany napięcia czy prądu. To zagadnienie będzie treścią następnego rozdziału. Traktując opisany EWD jako samodzielny zespół można próbować budować złożone struktury badawcze. Na rysunku 2.5b pokazano schemat rozwiązania dla typowej maszyny wytrzymałościowej, w której zabudowany w odpowiednio sztywnej ramie zespół EWD pozwa-



Rys. 2.6. Badania symulacyjne samochodu [3]

słowe posiadają symulacyjne stanowiska badawcze wykorzystujące wiele wzбудników *EWD* sterowanych niezależnie od siebie. Na rysunku 2.6 pokazano jedno z takich zastosowań. Jest to stanowisko, na którym symuluje się nierówności nawierzchni dla kół samochodu. Sygnały symulacyjne generowane są przez pionowo ustawione *EWD* działające na ogumienie kół.

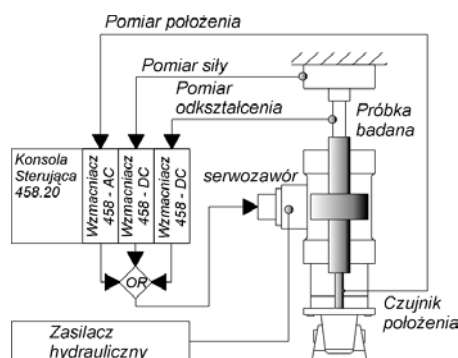
Przedstawiona konstrukcja współczesnej maszyny wytrzymałościowej stosująca *EWD* jest uniwersalnym i powszechnie używanym rozwiązaniem. Rozwój techniki cyfrowej spowodował powstanie także innych rozwiązań konstrukcyjnych. Takim przykładem jest wytrzymałościowa maszyna cyfrowa firmy *UTS*. Istotną różnicą pomiędzy opisywaną maszyną *MTS* i *UTS* jest element wykonawczy pętli sprzężenia zwrotnego. W przypadku maszyny *UTS* jest to silnik elektryczny. W maszynie tej sygnał sterujący kształtowany jest w komputerze i poprzez urządzenia wyjściowe systemu komputerowego przekazany do obwodów wykonawczych (do silnika elektrycznego). Zakres maksymalnego obciążenia oraz własności dynamiczne (praca z określoną częstotliwością sygnału sterującego) w przypadku maszyn elektrycznych są ograniczone w porównaniu z maszynami hydraulicznymi. W zasadzie są to maszyny do pracy statycznej i trudno na nich realizować badania np. o charakterze zmęczeniowym czy wspomnianych symulacji. Zaletą ich jest brak konieczności budowania dużych stacji zasilania obwodów hydraulicznych i mniejszy poziom zakłóceń mechanicznych. Różnice w konstrukcji implikują inne możliwości i zastosowania. W czasie realizowanych ćwiczeń student będzie miał możliwość poznania zarówno maszyny firmy *MTS* jak i maszyny firmy *UTS*.

Współczesne hydrauliczne maszyny wytrzymałościowe wykorzystują rozwiązanie elektrohydraulicznego wzбудnika drgań. Sterowanie wzbudnikiem odbywa się w pętli sprzężenia zwrotnego. Sygnał sterujący kształtowany jest w układach cyfrowych i odpowiednio przekształcony steruje elementem wykonawczym wzbudnika. Maszyny takie pozwalają na prowadzenie prób o charakterze statycznym (wolnozmiennne sygnały w czasie) i dynamicznym (szybkoszmiennne sygnały w czasie). Możliwości tego typu maszyn są ogromne od pomiaru małych sił do symulacji złożonych konstrukcji. Podstawowym zadaniem eksperymentatora jest przygotowanie programu sterującego (model sygnałów wejściowych), opracowanie sposobu mocowania badanego elementu na maszynie (model obiektu) i rejestrowanie odpowiedzi obiektu na zadane wymuszenie (model sygnałów wyjściowych).

la na realizację typowych prób wytrzymałościowych, np. jednoosiowego rozciągania z możliwością sterowania jednym z trzech wymienionych wcześniej sygnałów. Na maszynie tej można przeprowadzać próbę jedno-osiowego rozciągania, próbę wytrzymałości zmęczeniowej i inne omawiane w niniejszym skrypcie. Typowa maszyna wytrzymałościowa wykorzystuje zazwyczaj jeden *EWD*. Duże laboratoria przemys-

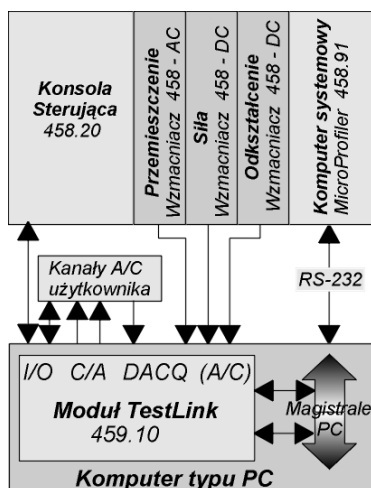
2.2.2. Sterowanie maszynami wytrzymałościowymi

W rozdziale tym zostanie przedstawiona uniwersalna maszyna wytrzymałościowa firmy *MTS* stanowiąca wyposażenie badawcze Laboratorium Mechaniki Doświadczalnej. Hydropulsacyjna, jak często jest nazywana, maszyna firmy *MTS* jest dwukolumnowym urządzeniem z *EWD* pozwalającym na generowanie przemieszczeń jednoosiowych. Maksymalne obciążenie wynosi $\pm 250 \text{ kN}$, a maksymal-



Rys. 2.7. Sterowanie siłownikiem MTS

mieszczenia tłoczyska z sygnałem zadany pozwala na ukształtowanie odpowiedniego sygnału błędu i przesłanie go do serwozaworu, w którym następuje odpowiednie przemieszczenie elementów sterujących przepływem oleju do komór siłownika. Należy zwrócić uwagę na trzy obwody sterowania w petli sprzężenia

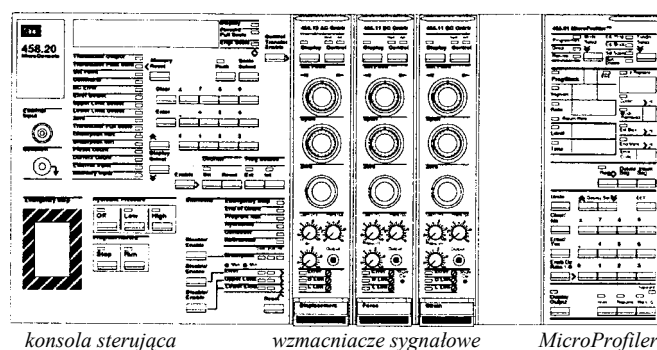
Rys. 2.8. Konfiguracja systemu *MTS*

ne przemieszczenie $\pm 100\text{ mm}$. Wartości tych parametrów wynikają z możliwości wytrzymałościowych maszyny oraz możliwości *EWD*. Często staramy się pracować z mniejszymi wartościami tych parametrów zwiększając przez to dokładność sterowania. W dalszych rozważaniach skupimy naszą uwagę na możliwości sterowania taką maszyną. Musimy poznać logiczną strukturę jej układu sterującego. Na rysunku 2.7 pokazano schemat sterowania w postaci *PSZ*. Porównanie bieżącej wartości wybranego sygnału sterującego, np. prze-

zwrotnego (tylko jeden jest aktywny). Istotną rolę odgrywa także programator, który pozwala na przygotowanie kodu programu sterującego. Na rysunku 2.8 pokazano schemat sterownika i interfejs systemowy (moduł *TestLink*) montowany w komputerze *PC*. Takie rozwiązanie pozwala na współpracę systemu *MTS* z komputerem klasy *PC*. Na rysunku 2.9 pokazano widok sterownika maszyny *MTS*. Podstawowe funkcje systemu dostępne użytkownikowi:

- Wybór sygnału sterowanego (siła, przemieszczenie, odkształcenie).
- Zmiana zakresów pracy w każdym z kanałów (sterowanym lub pomiarowym).

- Podstawowe informacje o systemie, np. bieżące położenie tłoczyska.
- Ustawienie zabezpieczeń systemu np. po przekroczeniu wartości ustawionego zabezpieczenia dla przemieszczenia tłoczyska system zostanie wyłączony.
- Ustawianie wstępne kanałów np. zerowanie czujnika siły.
- Przygotowanie maszyny do prób – ustawienie wstępne położenia tłoczyska (sterowanie ręczne).
- Przygotowanie programu sterującego za pomocą *MicroProfiler*.
- Ustawienie sposobu zakończenia testu.



Rys. 2.9. Widok układów sterowania systemu MTS

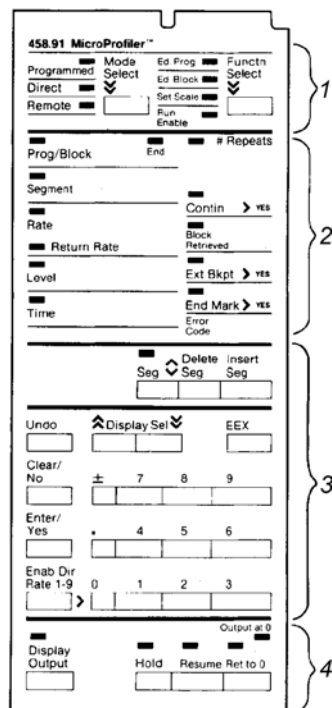
2.2.3. Programowanie sterownika MTS

W systemie *MTS* można sterować wybranym sygnałem w następujący sposób:

- ręcznie (pokrętko *SetPoint* wzmacniacza sygnałowego sygnału sterowanego),
- programowo (przygotowanie programu w komputerze *MicroProfiler*),
- programowo (przygotowanie programu w komputerze zewnętrznym typu *PC* i przesłanie interfejsem *RS-232C* do bufora *MicroProfiler*),
- analogowo (zewnętrzny sygnał sterujący).

W tym rozdziale pokażemy jak korzystać z programatora *MicroProfiler* (*MP*), aby przygotować kod sygnału sterującego. Wskażemy na dwie drogi budowy programu sterującego: komputer systemowy *MP* (wykorzystamy specjalizowany język) oraz komputer *PC* (wykorzystamy język wysokiego poziomu *BASIC*).

MP umożliwia tworzenie, przeprowadzenie edycji i wykonywanie programów sterujących. W pamięci *MP* można zapamiętać 99 programów i tyleż bloków. Możliwe są powtórzenia zdefiniowanych segmentów (maksymalnie 999999). Czas narastania segmentu liniowego od 1ms do 13 lat. Czas wytrzymania segmentu stałego wynosi od 1ms do 13 lat. *MP* wyposażono w pamięć wewnętrzną o pojemności 46 kB. Istnieje możliwość komunikacji poprzez interfejs *RS-232C*. Na rysunku 2.10 pokazano widok konsoli *MP*. Wprowadzając nowy program należy:



Rys. 2.10. Widok płyty czołowej *MicroProfiler*
 1 – wybór trybu lub funkcji
 2 - edycja parametrów segmentu
 3 – wprowadzanie parametrów
 4 – kontrola systemu

1. Ustawić *MP* w tryb *Programmed* – klawisz *[Mode Select]*.
 2. Wybrać jedną z funkcji *Ed.Prog* lub *Ed. Block* w zależności od tego, czy budujemy program czy blok – klawisz *[Functn Select]*
 3. Wpisać numer segmentu – klawisze klawiatury numerycznej; każde wpisanie wymaga potwierdzenia przez klawisz *[Enter]*
 4. Wpisać w odpowiednie pola wartości dla *Rate*, *Level* lub *Time* – klawisze klawiatury numerycznej.
 5. W zależności od potrzeb ustawić odpowiednio pozostałe pozycje *Contin*, *Block Retrieved*, *Ext Bkpt*, *End Mark*.
 6. Wpisać nowy segment - klawisz *[Insert Seg]* i powtórzyć czynności od punktu 3 aż do wpisania całego programu,
- Klawisz *[Display Sel]* pozwala na zmianę edytowanego pola
 - Klawisz *[Delete Seg]* pozwala kasować segment (całą jego zawartość); uaktualniana zostaje numeracja segmentów
 - Zakończenie programowania i przejście do wykonania programu wymaga użycia klawisza *[Functn Select]* i wybór pozycji *[Run Enable]*.

Naciśnięcia klawisza *[Run]* (ulożony w części sterującej konsoli) uruchamia wprowadzony program. Moment uruchomienia jest najważniejszy w całej procedurze programowania i realizacji programu; powinien być poprzedzony ustawieniem systemowych zabezpieczeń (zrobi to prowadzący zajęcia) oraz szczególną ostrożnością i koncentracją nad wykonywanymi czynnościami. Można dokonać próby sprawdzenia programu wg metody „na sucho”, tzn. bez uruchamiania układów wykonawczych (siłownika hydraulicznego). Wykonujemy to następująco:

- w konsoli sterującej wybieramy z menu pozycję *[Auxiliary Input]*,
- w *MP* naciskamy klawisze *[Display Output]*, *[Enter]*.

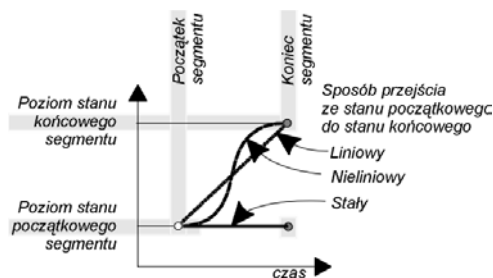
Można wówczas śledzić na wyświetlaczu wskazania obrazujące pozorne zachowanie się tłoczyska siłownika (przy realizacji dowolnego sygnału sterującego) i kontrolować poprawność zbudowanego programu. Po takiej próbie powtórne uruchomienie, gdy w układzie pojawi się ciśnienie medium roboczego spowoduje rzeczywiste wykonanie programu.

Tworzenie programów dla sygnałów sterujących oparte jest w systemie *MTS* na składaniu złożonego przebiegu z elementarnych fragmentów nazywanych segmentami. Przyjęto następujące zasady:

- nie definiujemy parametrów początkowych segmentu, (stan początkowy) wynikają one bądź z bieżącego położenia sterowanego elementu bądź są to końcowe parametry poprzedniego segmentu,
- definiujemy parametry końcowe segmentu (stan końcowy),
- wybieramy postać segmentu (sposób przejścia ze stanu początkowego do stanu końcowego).

Segment może mieć postać:

- liniową (*Ramp*),
- nieliniową (harmoniczną, połowa okresu, *Haversine*),
- stałą (*Hold*),



Rys. 2.11. Zasada budowania segmentu sygnału sterującego

Umiejętność tworzenia złożonych przebiegów będzie zależała od umiejętności rozłożenia ich na podstawowe segmenty. Złożony przebieg jest „sklejony” z elementarnych segmentów; koniec jednego segmentu staje się początkiem następnego. Każdy segment ma w zapisie komputerowym numer i jest definiowany według pewnych reguł. Innym pojęciem stosowanym w systemie

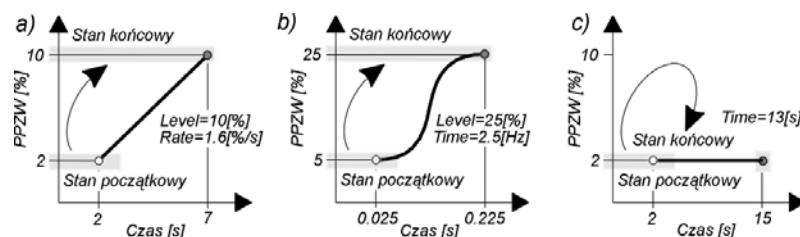
MTS jest blok. Można zdefiniować sygnał złożony z segmentów i zapamiętać go w postaci bloku a następnie budując nowy program wykorzystać segment zbudowany z bloku (podajemy numer bloku). To rozwiązanie jest użyteczne w wypadku powtarzania się pewnych stałych sekwencji segmentów.

Poniżej podane zostaną reguły tworzenia elementarnych segmentów. Będziemy do opisu parametrów segmentu używać nazw angielskich (występujące w programatorze *MP*). W trosce o możliwie największą dokładność realizowanych badań producent dostarcza moduły pozwalające zmieniać zakres sterowanego sygnału (nazywamy je dalej wkładkami). Pomimo, że pełny zakres siły możliwy do realizacji jest $\pm 250 \text{ kN}$, to w sterowniku wymienne wkładki umożliwiają sterowanie w zakresie np. ± 10 , ± 20 , ... itd. kN . Ten sam zakres zmian napięcia sterowanego sygnału pozwala na realizację mniejszego zakresu obciążenia (przemieszczenia lub odkształcenia), co pozwala zwiększyć dokładność sterowania. Ponieważ każda wkładka może dotyczyć innego zakresu sterowanego sygnału sposób programowania sterownika winien brać to pod uwagę. W programie można używać jednostek fizycznych np. kN czy mm , ale wygodniej jest używać miary względnej wyrażonej w procentach jako stosunek wartości sygnału do zakresu wkładki, jaka jest aktual-

nie używana w torze sygnału sterującego. Chcąc np. ustawić przemieszczenie trawersy 12,5 mm przy zakresie wkładki 20 mm użyjemy w programatorze liczby 62,5 %. Do wyrażenia miary względnej będziemy stosować wzór:

$$PPZW = \frac{BWS}{PZW} 100 [\%]$$

gdzie $PPZW$ [%] procent pełnego zakresu wkładki oznacza umowną jednostkę wyrażającą w procentach wartość sygnału w stosunku do pełnego zakresu wkładki, BWS bieżąca wartość sygnału i PZW pełny zakres wkładki wyrażone w jednostkach fizycznych.



Rys.2.12. Definicje segmentów
a – liniowy, b – nieliniowy, c – stały

Segment liniowy (rys. 2.12a)

Programując liniową zmianę sterowanego sygnału podajemy dwie informacje:

- 1) pożądany poziom stanu końcowego ($Level$) w $PPZW$ [%],
- 2) prędkość ($Rate$) tj. pochylenie linii segmentu wyrażone w $PPZW$ [%]/czas[s] wyznaczoną wg jednego ze wzorów:

$$Rate = \frac{|WPK - WPP|}{\Delta t} = \frac{\vartheta}{PZW} \left[\frac{\%}{s} \right]$$

gdzie WPK, WPP to odpowiednio współrzędne punktu końcowego i współrzędne punktu początkowego wyrażone w skali względnej ($PPZW$), Δt czas wyrażony

w sekundach, ϑ (przyrost sygnału sterowanego / przyrost czasu), PZW jak wyżej. Dla przykładu pokazanego na rysunku 2.11a wyznaczono: $WPK = 10$ [%], $WPP = 2$ [%], $\Delta t = 7 - 2 = 5$ [s], $Rate = (10 - 2) / 5 = 1,6$ [%/s], $Level = 10$ [%]

Segment nieliniowy (rys.2.12b)

Programując nieliniową zmianę sterowanego sygnału podajemy dwie informacje:

- 1) pożądany poziom stanu końcowego ($Level$) w $PPZW$ [%],
- 2) częstotliwość f wyrażoną w [Hz] (wpisujemy w pozycji $Time$ MP).

Dla przykładu segmentu nieliniowego pokazanego na rysunku 2.12b wyznaczono: $Level = 25$ [%], zaś $Frequency = 2,5$ [Hz] bo segment definiowany jest dla połowy okresu przebiegu harmonicznego tzn. $0,5 \cdot 1/f = (0,225 - 0,025)$ [s], stąd $f = 2,5$ [Hz] (wpisujemy w pozycji $Time = 2,5$)

Segment stały (rys. 2.12c)

Programując stały segment sterowanego sygnału podajemy tylko czas trwania bieżącej wartości sygnału:

1. *Time* wyrażony w sekundach.

Dla przykładu segmentu stałego z rysunku 2.12c wyznaczono: $Time = (15-2) s = 13 [s]$.

Poniżej przedstawiono trzy charakterystyczne przykłady. Projekt programu sygnału sterującego wygodnie jest wykonywać korzystając z arkusza pokazanego na rysunku 2.13.

Przykład 1 – „Sygnał trójkątny”. Ułożyć program dla zmiany sygnału przemieszczenia wg rysunku 2.13. Zakładamy, że sygnałem sterującym jest przemieszczenie, a $PZW = 100 \text{ mm}$. Obliczenia będziemy prowadzić wyrażając przemieszczenie w układzie względnym jednostek ($PPZW [\%]$). Z rysunku 2.13 wynika, że $\vartheta_1 = \vartheta_2 = 100 [\text{mm/s}]$.

Segment 1: liniowy

dane - wyznaczono:

$$WPP = (0 [mm] / 100 [mm]) 100 [\%] = 0 [\%], WPK = (10 [mm] / 100 [mm]) 100 [\%] = 10 [\%]$$

$$\Delta t = 0,1 [s] - 0 [s] = 0,1 [s]$$

obliczono dane dla MP:

$$Level = WPK = 10 [\%], Rate = (WPK - WPP) / \Delta t = (10 - 0) / 0,1 [\% / s] = 100 [\% / s]$$

$$\text{lub z drugiej postać wzoru, } Rate = \vartheta_1 / PZW = 100 [mm/s] / 100 [mm] * 100 [\%] = 100 [\% / s]$$

Segment 2: liniowy

dane - wyznaczono:

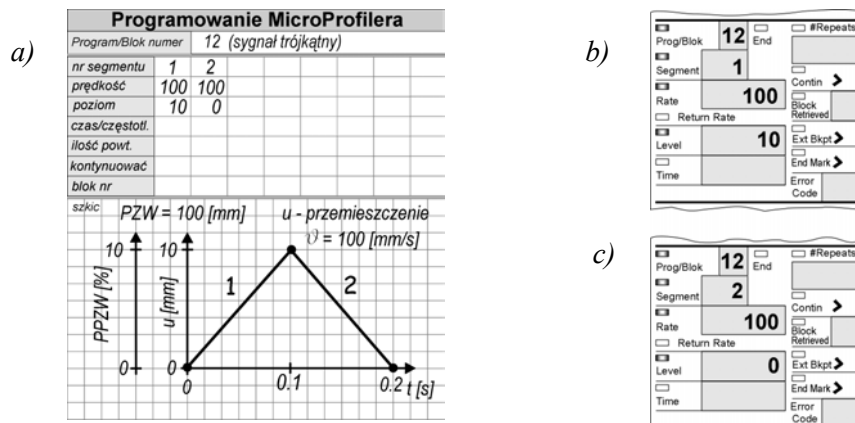
$$WPP = (10 [mm] / 100 [mm]) 100 [\%] = 10 [\%], WPK = (0 [mm] / 100 [mm]) 100 [\%] = 0 [\%],$$

$$\Delta t = 0,2 [s] - 0,1 [s] = 0,1 [s]$$

obliczono dane dla MP:

$$Level = WPK = 0 [\%], Rate = |WPK - WPP| / \Delta t = |0 - 10| / 0,1 [\% / s] = 100 [\% / s]$$

Obliczone parametry wpisano do arkusza i do MP jako program o numerze 12.



Rys. 2.13. Projekt sygnału sterującego dla przykładu 1
a – arkusz projektu, b – segment 1 w MP, c – segment 2 w MP

Przykład 2 – „Sygnał harmoniczny” Ułożyć program dla zmiany sygnału siły wg rysunku 2.14. Zakładamy, że sygnałem sterującym jest siła, a $PZW=100$ kN. Obliczenia będziemy prowadzić wyrażając siłę w układzie względnym jednostek ($PPZW$ [%]).

Segment 1: nieliniowy

dane - wyznaczono:

$WPP = (0 \text{ [kN]} / 100 \text{ [kN]}) 100[\%] = 0 [\%]$, $WPK = (10 \text{ [kN]} / 100 \text{ [kN]}) 100[\%] = 10 [\%]$
 $0,5 \text{ } 1/f = 0,25 \text{ [s]} \Rightarrow 1/f = 0,5 \text{ [s]} \Rightarrow f = 1/T = 2 \text{ [Hz]}$,

obliczono dane dla MP:

$Level = WPK = 10 [\%]$, Time (frequency) = 2 [Hz]

Segment 2: nieliniowy

dane - wyznaczono:

$WPP = (10 \text{ [kN]} / 100 \text{ [kN]}) 100[\%] = 10 [\%]$, $WPK = (0 \text{ [kN]} / 100 \text{ [kN]}) 100[\%] = 0 [\%]$
 $0,5 \text{ } T = 0,25 \text{ [s]} \Rightarrow 1/f = 0,5 \text{ [s]} \Rightarrow f = 2 \text{ [Hz]}$

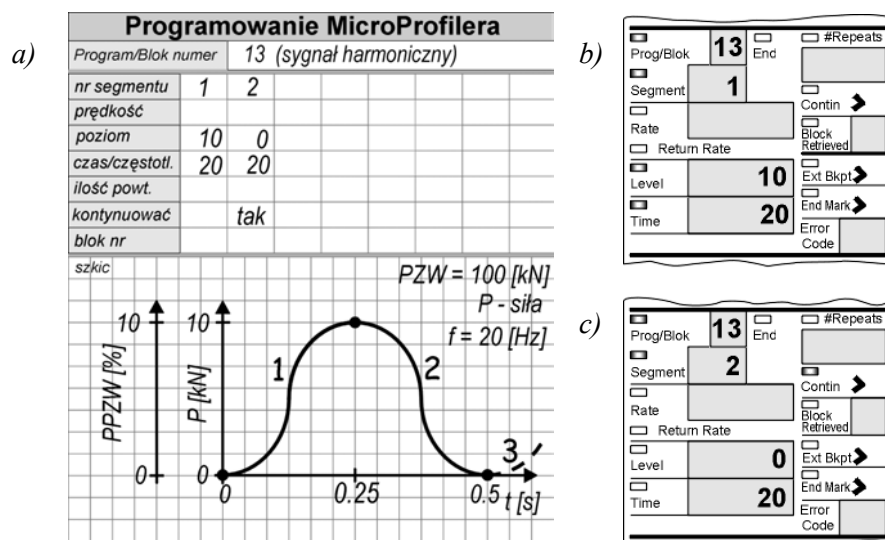
obliczono dane dla MP:

$Level = WPK = 10 [\%]$, Time (frequency) = 2 [Hz]

aby powtarzać zdefiniowane dwa segmenty użyjemy jednej z funkcji:

- Contin (praca ciągła do chwili zatrzymania przez operatora) - ustaw Contin=Yes
- #Repeats (ilość powtórzeń - wykonanie zatrzymane po osiągnięciu wskazanej liczby cykli) - ustaw np. #Repeats =1000

Obliczone parametry zostały wpisane do MP jako program o numerze 13.

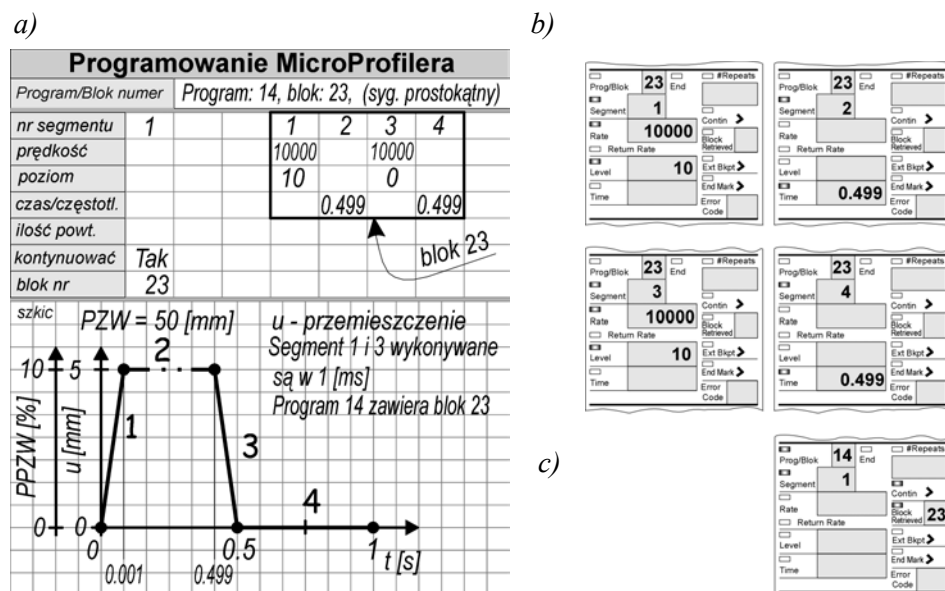


Rys. 2.14. Projekt sygnału sterującego dla przykładu 2
a – arkusz projektu, b – segment 1 w MP, c – segment 2 w MP

Przykład 3 – „Sygnał prostokątny”. Ułożyć program dla zmiany sygnału przemieszczenia wg rysunku 2.15. Zakładamy, że sygnałem sterującym jest przemieszczenie, a $PZW = 50 \text{ mm}$. Obliczenia będziemy prowadzić wyrażając przemieszczenie w układzie względnym jednostek ($PPZW [\%]$).

Nie można zbudować przebiegu idealnie prostokątnego, wymagałby to bowiem nieskończenie szybkiego przyrostu sygnału mechanicznego w nieskończenie krótkim czasie. Możemy zrealizować sygnał trapezowy (prawie prostokątny). Skorzystamy z możliwości definiowania bloku, który także składa się z elementarnych segmentów jednak nie może samodzielnie być wykonywany a może być składowym elementem programu. Ten przykład pokaże zastosowanie bloku.

Definicja bloku o numerze 23:



Rys. 2.15. Projekt sygnału sterującego dla przykładu 3

a – arkusz projektu, b – blok w MP (segment od 1 do 4), c – segment programu w MP

Segment 1: liniowy

dane - wyznaczono:

$$WPP = (0 \text{ [mm]} / 50 \text{ [mm]}) 100 [\%] = 0 [\%], WPK = (5 \text{ [mm]} / 50 \text{ [mm]}) 100 [\%] = 10 [\%]$$

$$\Delta t = 0,001 \text{ [s]} - 0 \text{ [s]} = 0,001 \text{ [s]} \text{ (dobieramy możliwie jak najkrótszy czas narastania segmentu)}$$

obliczamy dane dla MP:

$$\text{Level} = WPK = 10 [\%], \quad \text{Rate} = (WPK - WPP) / \Delta t = (10 - 0) / 0,001 [\%/s] = 10000 [\%/s]$$

Segment 2: stały

dane - wyznaczono:

$$WPP = (5 \text{ [mm]} / 50 \text{ [mm]}) 100 [\%] = 10 [\%], WPK = (5 \text{ [mm]} / 50 \text{ [mm]}) 100 [\%] = 10 [\%]$$

$\Delta t = 0,5 [s] - 0,002 [s] = 0,498 [s]$ (czas trwania przebiegu trapezowego z założenia wynosił 0,5 [s])

obliczono dane dla MP:

$Time (frequency) = 0,498 [s]$

Segment 3: liniowy

dane - wyznaczone:

$WPP = (10 [mm] / 50 [mm]) 100 [\%] = 10 [\%]$, $WPK = (0 [mm] / 50 [mm]) 100 [\%] = 0 [\%]$

$\Delta t = 0,5 [s] - 0,499 [s] = 0,001 [s]$

obliczamy dane dla MP:

$Level = WPK = 0 [\%]$,

$Rate = |WPK - WPP| / \Delta t = |0 - 10| / \Delta t = (0 - 10) / 0,001 [\%/s] = 10000 [\%/s]$

Segment 4: stały

dane - wyznaczone:

$WPP = (0 [mm] / 50 [mm]) 100 [\%] = 0 [\%]$, $WPK = (0 [mm] / 50 [mm]) 100 [\%] = 0 [\%]$

$\Delta t = 1,0 [s] - 0,5 [s] = 0,5 [s]$

obliczamy dane dla MP: $Time (frequency) = 0,5 [s]$

Definicja programu o numerze 14.

Contin. Yes, Blok Retrieved 23

```
010 OPEN „COM1:9600,E,
    7,,CS,DS,,PE” AS #1
020 PRINT #1, „100R”
030 INPUT #1,A
040 IF A<>1 THEN 1000
050 PRINT #1,„100S”
060 INPUT #1,A
070 IF A<>1 THEN 1000
080 PRINT #1, „1T”
090 INPUT #1,A
100 IF A<>1 THEN 1000
110 PRINT #1,„I”
120 INPUT #1,A
130 PRINT „RAMP SEGMENTS
    AVAILABLE”, A/9
140 PRINT #1, „500G”
150 INPUT #1,A
160 IF A<>1 THEN 1000
170 PRINT #1, „50H”
180 INPUT #1,A
190 IF A<>1 THEN 1000
200 PRINT #1, „500G”
210 INPUT #1,A
220 IF A<>1 THEN 1000
230 PRINT #1,„1000F”
240 INPUT #1,A
250 IF A<>1 THEN 1000
260 PRINT #1, „50H”
270 INPUT #1,A
280 IF A<>1 THEN 1000
290 PRINT #1, „J”
300 INPUT #1,A
310 IF A<>1 THEN 1000
```

Inną możliwością programowania jest przesłanie kodu programu za pomocą interfejsu RS232 spoza systemu MTS. Ta droga otwiera możliwości pisania własnych programów czy tworzenia bibliotek bloków lub programów. Poniżej zostanie pokazany krótki program sterujący z opisem (wykorzystano język BASIC).

W programie obok zawarto min.

wiersz 010 - definicja parametrów portu szeregowego RS-232C, zdefiniowany port jest dalej nazywany #1

wiersze 20 ÷ 100 - wprowadzanie współczynników skali

- kod „R” specyfikuje prędkość powrotu do położenia zerowego wzбудnika po zakończeniu realizacji programu

- kod „S” specyfikuje współczynnik skali poziomu sygnału sterowanego dla pełnej wkładki

- kod „T” specyfikuje współczynnik skali czasu wyrażony w sekundach

wiersze 110 ÷ 130 - status bufora

- kod „I” zwraca liczbę wolnej przestrzeni pamięci wyrażoną w bajtach,

wiersze 140 ÷ 280 parametry segmentów

- wyspecyfikowano kody

„G” - nachylenie segmentu liniowego (Rate)

„H” - poziom końcowy segmentu (Level)

„K” - częstotliwość (Frequency)

„N” - zatrzymanie dla segmentu stałego (Hold)

„Q” - powtarzanie dwóch ostatnich segmentów w sposób ciągły

```

1000 IF A=-1 THEN PRINT
      „MICROPROFILER NOT
      IN REMOTE.RUN ENABLE”
1010 IF A=-2 THEN PRINT
      „PARITY ERROR
      DETECTED”
1020 IF A=-3 THEN PRINT
      „UNDEFINED COMMAND”
1030 STOP

```

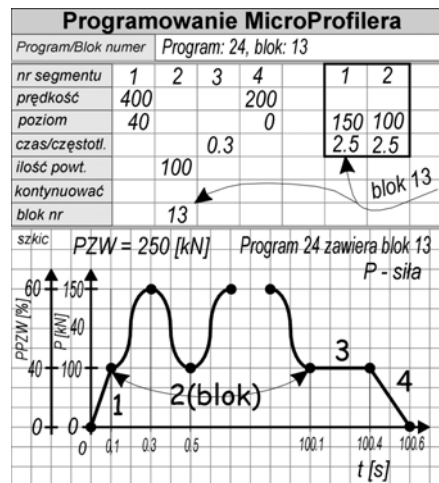
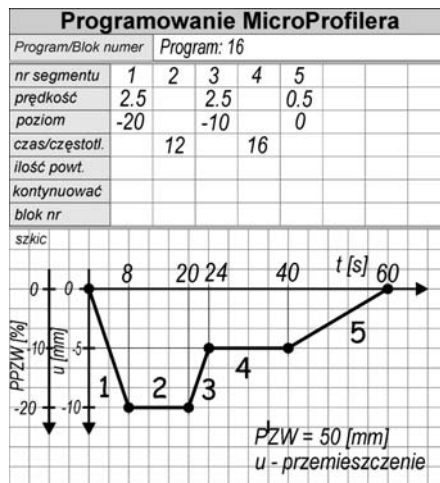
wiersze 290÷310 uruchomienie programu

wiersze 1000÷1030 obsługa błędów; kod błędu przechowy-
je zmienna A

Aby uruchomić tak zbudowany program należy w MP
ustawić:

- Remote wybór [Mode Select]
- Run Enable wybór [Funcn Select]

Na rysunku 2.16 przedstawiono bardziej złożone
programy sterujące. Czytelnikowi pozostawia się sprawdzenie poprawności wy-
znaczenia wartości opisujących poszczególne segmenty.



Rys. 2.16. Projekt sygnału sterującego dla przykładu 4 i 5

2.3. REALIZACJA ĆWICZENIA

2.3.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie budowy i działania współczesnej maszyny wy-
trzymałościowej oraz możliwości jej programowania.

2.3.2. Przebieg ćwiczenia

1. Opis prób i testów wymagających komputerowo sterowanych maszyn wy-
trzymałościowych.
2. Opis poszczególnych zespołów maszyny MTS ze wskazaniem na funkcje
w systemie.

3. Opis układów sterujących z wyraźnym wskazaniem zespołów tworzących pętlę sprzężenia zwrotnego.
4. Przygotowanie kodów programów sterujących dla przykładów wskazanych przez prowadzącego:
program A: utworzony z segmentów, program B: utworzony z bloku.
5. Wprowadzenie parametrów przygotowanych programów do *MicroProfiler*.
6. Przygotowanie maszyny wytrzymałościowej do przeprowadzenia testu; ustawienie limitów bezpieczeństwa (przy pomocy prowadzącego).
7. Przygotowanie komputera pomiarowego do rejestracji przemieszczenia.
8. Wykonanie programów sterujących z równoczesną rejestracją sygnału przemieszczenia.
9. Zapisanie plików pomiarowych.

2.3.3. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać.

1. Opis zasady sterowania urządzeń w pętli sprzężenia zwrotnego.
2. Opis podstawowych zespołów hydropulsacyjnej maszyny wytrzymałościowej firmy MTS.
3. Zasadę programowania sterownika.
4. Arkusz projektowanych sygnałów sterujących.
5. Wykresy $u_Z=f(t)$, $u_R=g(t)$ gdzie u jest sygnałem sterowanym (przemieszczenie) a indeks Z wskazuje na sygnał zadany (programowy), zaś indeks R na sygnał zmierzony (rzeczywisty)
6. Wykres błędu względnego $b=h(t)$, gdzie $b=(u_R-u_Z)/u_Z$ tzn. jest różnicą pomiędzy przebiegiem rzeczywistym i zadaniem w stosunku do przebiegu zadanego.
7. Uwagi i spostrzeżenia.

2.4. ZAGADNIENIA KONTROLNE

- Zagadnienia modelowania rzeczywistych zachowań obiektów mechanicznych – podać przykłady znane z fizyki.
- Zasady sterowania wg metody pętli sprzężenia zwrotnego.
- Współczesna maszyna wytrzymałościowa – jej cechy, wymagania.
- Charakterystyka częstotliwościowa maszyny wytrzymałościowej.
- Elementy sterujące i wykonawcze w maszynach wytrzymałościowych.
- Możliwości programowania sterowników maszyn wytrzymałościowych.
- Błędy realizacji programowanych sterowników,

Literatura

1. OSIECKI J.: Symulacja rzeczywistych obciążeń samochodu, jego zespołów i elementów na stanowiskach badawczych. Warszawa 1979 (rękopis)
2. Materiały reklamowe firmy MTS
3. Materiały reklamowe firmy INSTRON