

Ćwiczenie 2

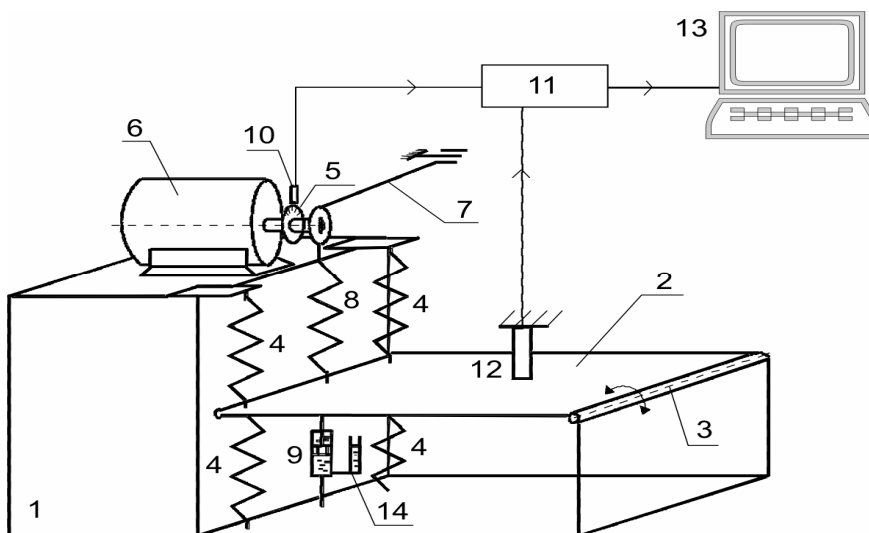
DOŚWIADCZALNE BADANIE UKŁADU DRGAJĄCEGO O JEDNYM STOPNIU SWOBODY

1. Cel ćwiczenia

Identyfikacja parametrów równania opisującego ruch modelu matematycznego układu drgającego o jednym stopniu swobody, ocena liniowości zachowania układu rzeczywistego oraz badanie zależności częstotliwości rezonansowej od tłumienia.

2. Stanowisko pomiarowe

Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia Rys. 2.1. Masę drgającą stanowi pomost 2, podparty obrotowo w łożyskach 3. Zawieszenie pomostu składa się ponadto z zestawu sprężyn 4 oraz tłumika olejowego 9 z otworami w denku tłoka. Z tłumikiem połączony jest zbiornik oleju 14, położenie którego jest regulowane i odpowiada za poziom generowanego w nim tłumienia. Na podstawie 1 umieszczony jest układ wymuszający drgania, który składa się z silnika elektrycznego 6, o prędkości obrotowej regulowanej w sposób ciągły, mechanizmu mimośrodowo-wahaczowego 7 i sprężyny 8, siła w której wymuszają drgania pomostu.



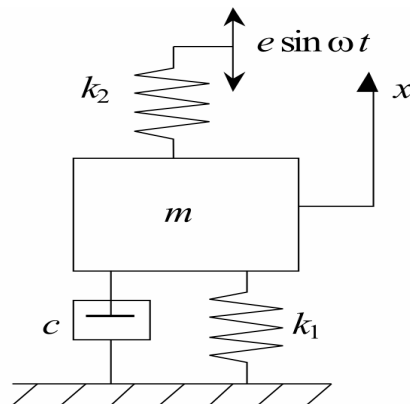
Rys. 2. 1. Schemat stanowiska doświadczalnego

Przybliżona wartość prędkości katowej wymuszenia mierzona jest za pomocą ząbkowanej tarczy 5 umieszczonej na wale silnika 6, przetwornika fotoelektrycznego 10 oraz miernika analogowego 11. Pomiar przemieszczeń pomostu dokonywany jest przy pomocy transformatorowego czujnika indukcyjnego 12, miernika 11 oraz układu akwizycji danych AMBEX LC-012 zamontowanego w komputerze PC – 13. Moduł ten zbiera dane z czujnika przemieszczeń 12 i przesyła je do komputera, gdzie zostają programowo przetworzone (oprogramowanie autorskie) w celu obliczenia wartości częstości wymuszenia i amplitudy drgań pomostu.

3. Wprowadzenie teoretyczne

3.1. Identyfikacja układu drgającego

Układ rzeczywisty, będący przedmiotem badań, został opisany przy użyciu modelu matematycznego układu o jednym stopniu swobody. Oparto się przy tym na uproszczeniach pozwalających dla małych drgań rozważać ruch postępowy zamiast obrotowego, oraz na redukcji masy, sztywności, działających w układzie sił oraz przemieszczenia do punktu pomiarowego, którym jest miejsce montażu czujnika mierzącego drgania pomostu. Na Rys. 2.2 przedstawiono schemat modelu badanego układu.



Rys. 2.2. Schemat modelu układu

Na Rys. 2.2 zastosowano następujące oznaczenia:

- m – zredukowana masa układu drgającego,
- k_1 – zredukowana sztywność zespołu sprężyn 4 (Rys. 2.1),
- k_2 – zredukowana sztywność sprężyny 8,
- c – zredukowany współczynnik tłumienia wiskotycznego tłumika,

e – zredukowana wielkość mimośrod,

 ω – częstość kołowa siły wymuszającej – równa prędkości obrotowej silnika,

 x – zredukowane przemieszczenie masy m .

Równanie ruchu środka masy w bezwzględny układzie odniesienia ma postać:

$$m\ddot{x} = -(k_1 + k_2)x - c\dot{x} + k_2 e \sin \omega t. \quad (2.1)$$

Po wykonaniu typowych przekształceń równanie (2.1) przyjmuje postać:

$$\ddot{x} + \frac{c}{m} \dot{x} + \frac{k_1 + k_2}{m} x = \frac{k_2}{m} e \sin \omega t. \quad (2.2)$$

Po zastosowaniu następujących oznaczeń:

$$2h = \frac{c}{m}, \quad \alpha^2 = \frac{k_1 + k_2}{m}, \quad q = \frac{ek_2}{m}, \quad (2.3)$$

równanie (2.1) można zapisać w postaci:

$$\ddot{x} + 2h\dot{x} + \alpha^2 x = q \sin \omega t. \quad (2.4)$$

Równanie (2.4) ma rozwiązanie szczególne w postaci funkcji:

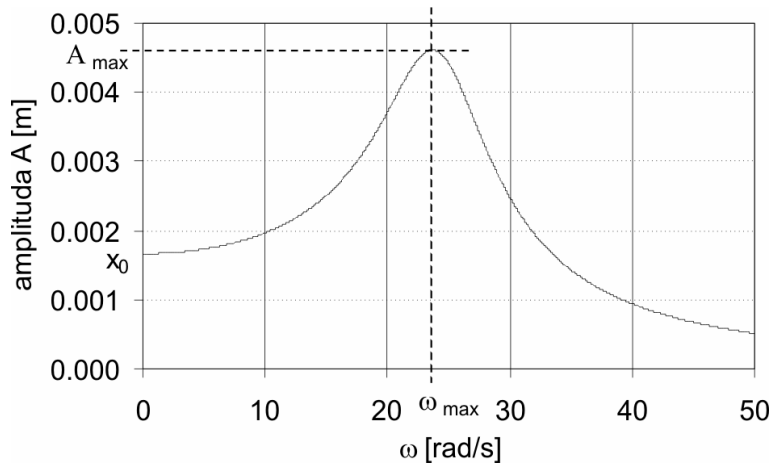
$$x = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (2.5)$$

przedstawiającej drgania wymuszone rozpatrywanego układu. A jest tu amplitudą drgań wymuszonych, natomiast φ jest przesunięciem fazowym między siłą wymuszającą a przemieszczeniem masy m .

$$A = \frac{q}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + 4h^2 \omega^2}}, \quad (2.6)$$

$$\varphi = \arctan \frac{-2h\omega}{\alpha^2 - \omega^2}. \quad (2.7)$$

Wykres funkcji A określony wzorem (2.6) nazywa się **wykresem rezonansowym** i jest przedstawiony na Rys. 2.3. Parametry q , α , h wytepujące we wzorze (2.6) wyznacza się tak, aby powstały wykres rezonansowy, zwany dalej teoretycznym, pokrywał się możliwie najlepiej z wykresem rezonansowym wyznaczonym doświadczalnie (rzeczywistym).



Rys. 2.3. Wykres rezonansowy doświadczalny (średni poziom tłumienia $h/h_{kr}=0.18$)

Rys. 2.4 przedstawia porównanie teoretycznego i rzeczywistego wykresu rezonansowego. Ponieważ we wzorze (2.6) występują 3 parametry q , α , h trzeba postawić trzy warunki przylegania obu wykresów. Ze względów obliczeniowych wygodnie jest przyjąć, żeby:

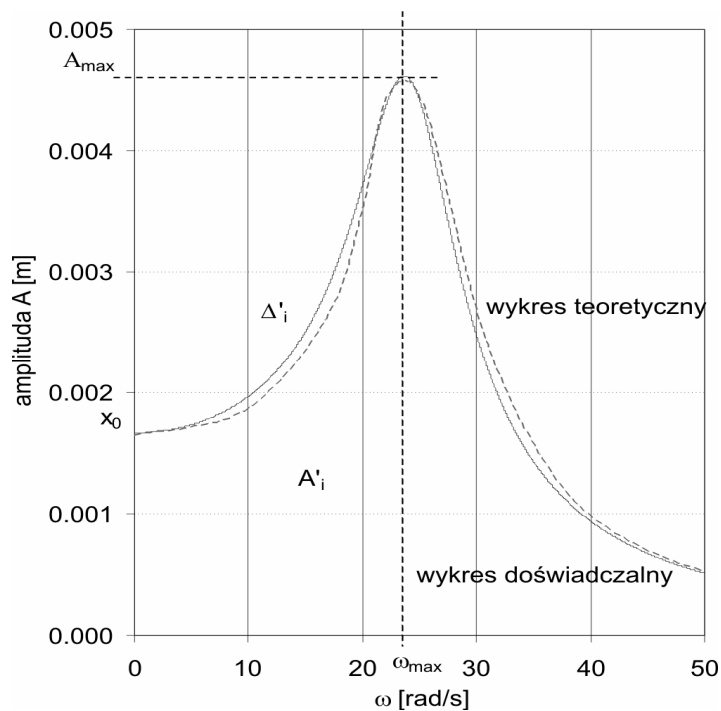
- wykres teoretyczny pokrywał się z doświadczalnym w punkcie początkowym o współrzędnych $(0, x_0)$;
- wykres teoretyczny pokrywał się z doświadczalnym w punkcie o współrzędnych (ω_{max}, A_{max}) stanowiącego wierzchołek wykresu rezonansowego;
- oba wykresy były styczne w punkcie (ω_{max}, A_{max}) – w wierzchołku wykresu rezonansowego.

Powyższe trzy warunki można przedstawić w postaci zależności matematycznych. Pierwszy warunek będzie spełniony, gdy do (2.6) podstawimy $\omega=0$ i $A=x_{st}$, czyli:

$$x_0 = \frac{q}{\alpha^2}. \quad (2.8)$$

Drugi warunek spełniony będzie, gdy do tego samego wzoru wstawimy odpowiednio $\omega=\omega_{max}$ oraz $A=A_{max}$, czyli:

$$A_{max} = \frac{q}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega_{max}^2)^2 + 4h^2 \omega_{max}^2}}. \quad (2.9)$$



Rys. 2.4. Porównanie wykresu rezonansowego teoretycznego (linia przerywana) i doświadczalnego (ciągła)

Trzeci warunek jest równoważny zerowaniu się pochodnej $\partial A/\partial \omega$ w punkcie o współrzędnych (ω_m, A_m) . Różniczkując (2.6) względem ω , otrzymuje się:

$$\frac{\partial A}{\partial \omega} = q \frac{2(\alpha^2 - \omega^2)(-2\omega) + 8h^2\omega}{2\sqrt{[(\alpha^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2]^3}} = q \frac{2\omega(2h^2 - \alpha^2 + \omega^2)}{2\sqrt{[(\alpha^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2]}} \quad (2.10)$$

Przyrównując (2.10) do zera i wykonując elementarne przekształcenia, otrzymuje się:

$$-\alpha^2 + \omega_{\max}^2 + 2h^2 = 0. \quad (2.11)$$

Rozwiązując otrzymany układ równań (2.8), (2.9) i (2.11) względem poszukiwanych parametrów q , α , h otrzymuje się następujące zależności:

$$q = \frac{\omega_{\max}^2 x_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{x_0}{A_{\max}}\right)^2}}, \quad (2.12)$$

$$\alpha^2 = \frac{q}{x_0} = \frac{\omega_m^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{x_0}{A_m}\right)^2}}, \quad (2.13)$$

$$2h = \sqrt{2(\alpha^2 - \omega_m^2)} = \omega_m \sqrt{\frac{1}{2\sqrt{1 - \left(\frac{x_0}{A_m}\right)^2}} - 1}. \quad (2.14)$$

Z powyższych wzorów wynika, że warunkiem wyznaczenia poszukiwanych parametrów q , α , h jest znajomość wartości współrzędnych wierzchołka rzeczywistego wykresu rezonansowego $(\omega_{\max}, A_{\max})$ oraz ugięcia x_0 pod statycznym działaniem amplitudy siły wymuszającej.

Przedstawiony sposób wyznaczania wartości parametrów zapewnia, że wykres teoretyczny zawsze będzie pokrywał się z wykresem rzeczywistym w punktach $(0, x_0)$ i $(\omega_{\max}, A_{\max})$ oraz, że w punkcie $(\omega_{\max}, A_{\max})$ wykresy będą posiadały wspólną styczną – Rys. 2.4.

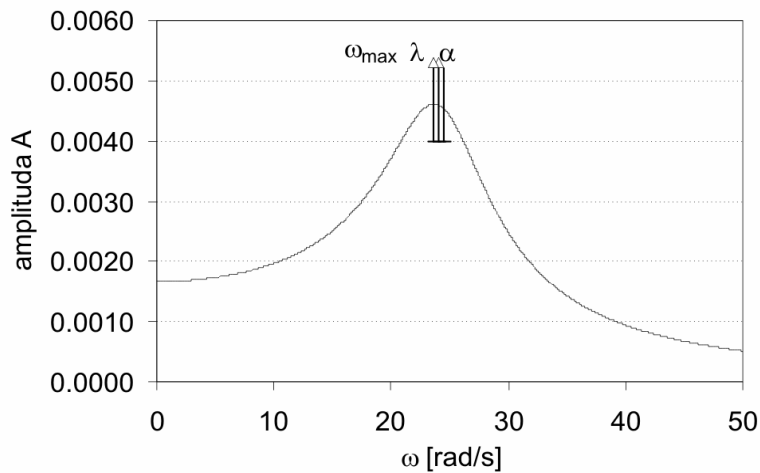
Gdyby badany układ był rzeczywiście układem liniowym, jak zakładamy dla modelu teoretycznego, to obie krzywe – teoretyczna i doświadczalna powinny się pokrywać. Byłoby tak, gdyby pomiary doświadczalne były dokładne, a realizacja fizyczna układu w pełni odzwierciedlałaby układ liniowy. Ponieważ w rzeczywistości tak nie jest, to należy ocenić na ile dobrze rzeczywistość zgodna jest z założonym modelem. Służy do tego wielkość oznaczana symbolem Δ , wyznaczana z następującego wzoru:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_i (\Delta_i)^2}{\sum_i (A'_i)^2}}, \quad (2.15)$$

gdzie znaczenie użytych symboli wyjaśnia Rys. 2.4. Δ jest zatem miarą dokładności z jaką model liniowy aproksymuje analizowany układ rzeczywisty.

3.2. Zależność częstotliwości rezonansowej od tłumienia

Rozwiązanie postawionego zadania polega na wyznaczeniu kilku wartości zestawów parametrów q , α oraz h dla różnych wartości tłumienia, możliwych do uzyskania poprzez zmianę pozycji zbiornika z olejem w tłumiku olejowym. Powoduje to zmianę poziomu oleju w tłumiku, a co za tym idzie zmianę uzyskiwanego współczynnika tłumienia. Ponieważ wartość tłumienia ma wpływ na częstotść drgań dla dużych wartości współczynnika tłumienia, warto przeanalizować ten wpływ tak teoretycznie jak i praktycznie.



Rys. 2.5. Przykładowa krzywa rezonansowa dla dużej wartości tłumienia ($h/\alpha=0.41$). Pionowe kreski oznaczają kolejno wartości: (od lewej) ω_{\max} , λ oraz α (na podstawie wzoru (2.13))

Analizując wyprowadzony wcześniej wzór (2.11), wynikający z obliczania wartości wierzchołka krzywej rezonansowej:

$$-\alpha^2 + \omega_{\max}^2 + 2h^2 = 0, \quad (2.16)$$

można na jego podstawie uzyskać następującą zależność:

$$\frac{\omega_{\max}}{\alpha} = \sqrt{1 - 2 \frac{h^2}{\alpha^2}}. \quad (2.17)$$

W przypadku małego tłumienia ($h \ll \alpha$) przyjmuje się często, że $\omega_{\max} \approx \alpha \approx \lambda$, gdzie λ jest częstotścią drgań swobodnych tłumionych. Z zależności (2.17) wynika, że dla różnych wartości tłumienia wierzchołek wykresu rezonansowego, poza punktem początkowym $h = 0$, nie występuje w momencie gdy częstotść

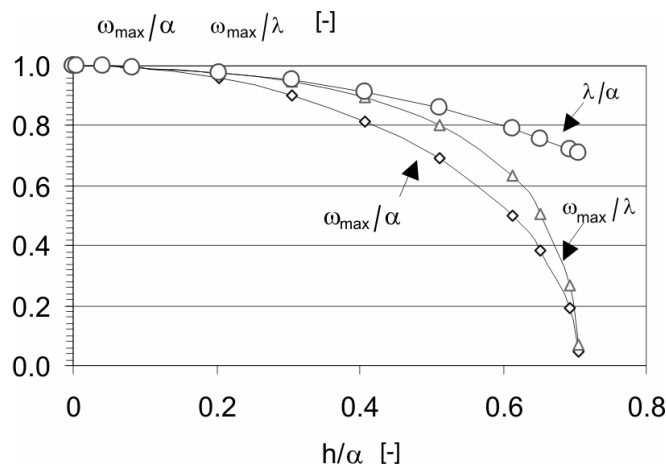
wymuszenia ω pokrywa się z częstotliwością drgań własnych α – patrz Rys.2.5. Oczywiście jest, że analiza ma sens fizyczny dla wartości tłumienia

$$h \leq \frac{\alpha}{\sqrt{2}}. \quad (2.18)$$

Równanie (2.17) przedstawia zależność pomiędzy bezwymiarową wartością częstości rezonansowej (ω_{\max}/α) a bezwymiarową wartością tłumienia (h/α). Zależność ta została wyprowadzona dla układu modelującego rzeczywisty układ drgający. Należy zaznaczyć, że dokładna analiza równania opisującego wartość amplitudy pozwala na zobrazowanie zależności (ω_{\max}/α), (ω_{\max}/λ) oraz (λ/α) – Rys. 2.6. Wyraźne różnice dokumentują fakt, że maksymalne drgania przy większych wartościach tłumienia występują znacznie wcześniej niż częstość drgań swobodnych tłumionych

$$\lambda = \sqrt{\alpha^2 - h^2}. \quad (2.19)$$

Na podstawie powyższych rozważań można określić częstość rezonansową jako częstość wymuszenia, przy której występują maksymalne drgania układu. Częstość rezonansowa pokrywa się z częstością własną układu jedynie w przypadku braku tłumienia.



Rys. 2.6. Zależność bezwymiarowej częstości rezonansowej od tłumienia.

2.3. Metodyka pomiarów

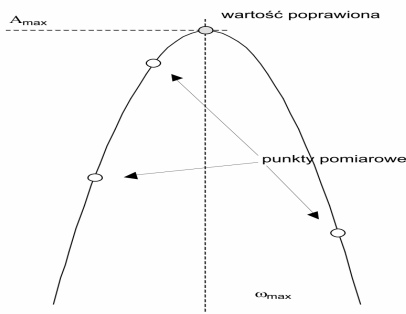
Moduł kontrolno-pomiarowy otrzymuje dane z czujnika przemieszczeń (Rys. 2.1), które mierzy jako wartość elektryczną o zmiennym napięciu. Aby takie dane zamienić na wartości mechaniczne należy ustalić zależność pomiędzy uzyskiwanym napięciem, a zadanymi wartościami przemieszczeń. W tym celu

należy zmierzyć wartości napięć w całym zakresie pomiarowym występującym w doświadczeniu. Po ocenie charakteru uzyskanej zależności, jeśli jest ona liniowa, można wyznaczyć tangens kąta nachylenia prostej, będący współczynnikiem zależności pomiędzy napięciem a przemieszczeniem. W praktyce najłatwiej użyć w tym celu płytek szczelinomierza o różnych grubościach. W celu uzyskania zadowalającej dokładności należy wykonać nie mniej niż 5 pomiarów.

W trakcie wyznaczania punktów rzeczywistego wykresu rezonansowego, sygnał wejściowy, czyli próbkowane wartości elektrycznego sygnału przemieszczenia po zamianie na wartości rzeczywiste, poddaje się analizie przy użyciu szybkiej transformaty Fouriera – FFT. Procedura ta pozwala na analizę zebranych danych w dziedzinie częstości. Uzyskuje się wykres amplitudy mierzonego sygnału w funkcji jego zmian częstości. Procedura FFT oblicza tzw. *widmo mocy* sygnału wejściowego – następuje rozłożenie mierzonego sygnału na składowe częstości określane poziomem amplitudy każdej z uzyskanych częstości. Praktycznie „czysty” sygnał wejściowy w postaci sinusoidalnie zmiennego przemieszczenia o niezmiennej częstości oscylacji powinien w wyniku dać „szpilkę” wartości amplitudy o wartości równej amplitudzie drgań i częstości równej częstości drgań wejściowych.

W celu lepszej oceny jakości mierzonego sygnału (w sensie jego zgodności z założonym modelem matematycznym, który drga tylko z jedną częstością), warto przedstawić wyniki analizy FFT w skali półlogarytmicznej – wartości uzyskanych amplitud są logarytmowane. Uzyskuje się wtedy lepszy obraz dynamiki analizowanego sygnału, mniejsze wartości amplitud są uwypuklone, co pozwala na detekcję wszelkich zakłóceń i niedoskonałości. Zwykle widoczne są kolejne harmoniczne (wielokrotności częstości wymuszającej) oraz rozmycie zidentyfikowanej częstości wymuszenia – zamiast jednej szpilki widać wyraźną trójkątną obwiednię ich grupy o bliskich sobie częstościach. Oznacza to, że analizowany sygnał nie ma pojedynczej odpowiadającej częstości wymuszającej, a wskutek różnych zakłóceń rozmywa się wokół niej. Dominująca harmoniczna w widmie analizowanego sygnału traktowana jest jako częstość wymuszenia. Tak zidentyfikowana wartość ma większą dokładność niż odczytana z miernika analogowego obarczonego znacznym błędem odczytu.

Wyznaczając przebieg rzeczywistej charakterystyki rezonansowej należy wyznaczyć jego najbardziej charakterystyczne punkty: współrzędne wierzchołka wykresu – ω_{\max} , A_{\max} oraz rzędną początkowego punktu – x_0 . Przy wyznaczaniu punktu x_0 wykorzystano możliwość poprowadzenia paraboli przez pierwsze dwa punkty pomiarowe oraz żądanie, aby styczna do tej paraboli w punkcie przecięcia z osią rzędnych była pozioma. Przy wyznaczaniu wartości współrzędnych wierzchołka wykresu rezonansowego wykorzystano możliwość poprowadzenia paraboli przez trzy najbliższe wierzchołkowi punkty pomiarowe – Rys. 2.7.



Rys. 2.7. Poprawa współrz. wierzchołka

Wierzchołek tej paraboli uznany jest za wierzchołek wykresu rezonansowego. Z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że tak wyznaczony wierzchołek lepiej oddaje sytuację rzeczywistą, gdyż nie zawsze uda się nastawić częstotliwość wymuszenia, odpowiadającą maksymalnej amplitudzie drgań.

4. Przebieg ćwiczenia.

1. Czynności wstępne:

- Włączyć komputer PC z układem akwizycji danych;
- Uruchomić program zbierania i analizy danych;
- Ustawić pokrętki regulacji zgrubnej i dokładnej prędkości obrotowej silnika znajdujące się w mierniku *11* – Rys. 2.1, w lewe skrajne położenie;
- Włączyć zasilanie miernika analogowego *11*.

2. Cechowanie czujnika przemieszczeń:

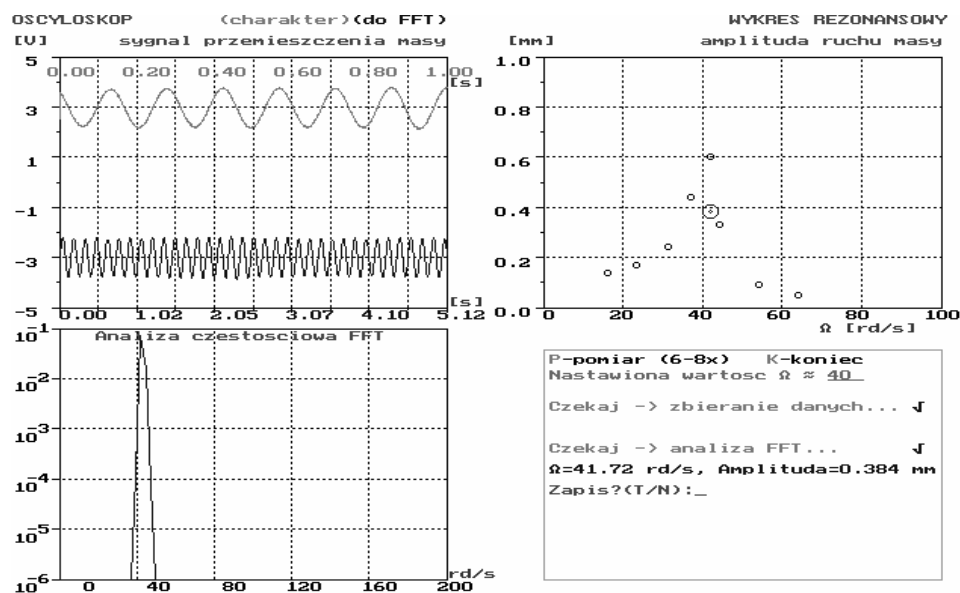
- Pokręcając wałem wyłączzonego silnika napędowego ustawić położenie krzywki mimośrodowo w mechanizmie 7 (znacznik w górnym położeniu). Odpowiada to zerowemu położeniu miernika przemieszczeń;
- Uruchomić opcję menu programu o nazwie *Cechowanie miernika przemieszczeń*;
- Pomiarów dokonuje się wciskając klawisz **P** (Pomiar) po wstawieniu pod końcówkę miernika kolejnych płytek dystansowych. Pierwszy pomiar bez płytki odpowiada grubości 0.0 (zero). Dla każdej z płytek należy wprowadzić wartość jej grubości w mm. Zaleca się dokonanie pomiarów według rosnącej grubości płytek;
- Po dokonaniu 5-8 pomiarów zakończyć etap cechowania opcją **K** (Koniec) – na ekranie winna pojawić się wartość współczynnika *k* zamiany mierzonego napięcia w [V] na wartość przemieszczenia wyrażonego w [mm]. Wartość ta pokaże się również na poziomie menu głównego jako uzupełnienie opcji *Cechowanie*.

3. Wyznaczenie rzeczywistej charakterystyki rezonansowej.

Pomiary należy przeprowadzić dla wybranego, pośredniego położenia zbiornika oleju, odpowiadającego za wielkość tłumienia wiskotycznego. Prędkość obrotową silnika reguluje się pokrętkami miernika *II* – Rys. 2.1. Z miernika można także odczytać orientacyjną wartość rejestrowanego przemieszczenia. Warto porównywać tę wartość z wynikami uzyskiwanymi w programie.

Do wykonania tej części ćwiczenia służy opcja menu nazwana *Wykres rezonansowy*.

- a) Pomiary kolejnych punktów wykresu rezonansowego należy przeprowadzić po nastawieniu zadanej prędkości obrotowej silnika i odczekaniu chwili, aby ruch się ustabilizował. Zaleca się dokonanie dwóch pomiarów w zakresie najniższych częstości drgań, np. dla wartości 10 i 15 rad/s, a następnie co 5-10 rad/s. Orientacyjna wartość częstości własnej wynosi około 40 rad/s. W związku z tym wokół tej wartości, w zakresie 40 ± 10 rad/s należy przeprowadzić pomiary gęściej, co ok. 2 rad/s. Po przejściu tego zakresu wystarczy mierzyć co 10 rad/s. Należy zwracać uwagę na to, czy wychwycona wartość dominującej harmonicznej odpowiada wartości nastawionej. Ze względu na czułość miernika przy małych amplitudach drgań mogą wystąpić błędy;
- b) Pomiarów dokonuje się podobnie jak w poprzedniej części, po wciśnięciu klawisza **P** i wprowadzeniu przybliżonej wartości nastawionej prędkości obrotowej. Wartość ta służy do ustalenia wewnątrz programu wartości czasu próbkowania dla procedury FFT, która do uzyskania prawidłowych wyników musi otrzymać pomiary sygnału wejściowego w ilości 5-8 na cykl zmian. Ponieważ badamy dość szeroki zakres prędkości wymuszenia, czas ten musi się zmieniać.
- c) Uzyskiwane wyniki, pokazane przykładowo na Rys. 2.8 zawierają skondensowany na ekranie obraz z kilku zaprogramowanych przyrządów pomiarowych. W lewej, górnej części jest to dwukanałowy oscyloskop, prezentujący w różnych skalach czasowych rejestrowany z czujnika sygnał przebiegu przemieszczenia. Ślad górny (czerwony) prezentuje krótki przebieg orientujący użytkownika w jakości sygnału, który wykorzystywany jest do obliczenia aktualnej amplitudy drgań. Ślad dolny (żółty) to zapis dłuższego fragmentu przesłanego do analizy FFT wykorzystywanego do identyfikacji częstości drgań.



Rys. 2.8. Przykładowy obraz ekranu w czasie wyznaczania charakterystyki rezonansowej

- d) Lewa dolna część ekranu prezentuje wyniki analizy Fouriera. Jest to widmo mocy sygnału wejściowego w formie wykresu półlogarytmicznego – logarytm dziesiętny z wartości amplitudy widma mocy sygnału przemieszczenia z miernika w funkcji liniowych wartości analizowanych częstotliwości (ślad żółty, odpowiadający wspomnianemu wcześniej przebiegowi czasowemu). Zamiast dyskretnych słupków reprezentujących wartości amplitudy w skali \log_{10} , pokazano ich obwiednię;
- e) Prawa, górna część ekranu prezentuje aktualny obraz powstającej krzywej rezonansowej. Poniżej jest obszar w którym program komunikuje się z użytkownikiem. Zatwierdzenie pomiarów dokonuje się klawiszem **T**, opcja **N** pozwala odrzucić nieudaną próbę – np. gdy uzyskujemy wartość maksymalną dla częstotliwości już uzyskanej wcześniej lub gdy proponowana przez program wartość amplitudy maksymalnej nie odpowiada rzeczywistości, a następnie ponowić akcję. Pomiar, w ilości co najmniej 10 dokonuje się aż do momentu, gdy użytkownik zdecyduje się na ich zakończenie poprzez wciśnięcie klawisza **K** i potwierdzenie klawiszem **T**.
- f) Następuje kolejny etap w postaci analizy uzyskanego wykresu doświadczalnego. Należy wskazać 3 punkty najbliższe maksimum

wykresu w celu uruchomienia procedury poprawiającej położenie wierzchołka. Można to zrobić przesuując krzyżyk wskazujący aktualne położenie punktów pomiarowych klawiszami kursorów \leftarrow i \rightarrow . Zatwierdzenie wybranych punktów następuje po wciśnięciu klawisza **Z**. Muszą być to punkty o różnych odciętych, odpowiadających różnym wartościom częstości. Należy ocenić uzyskane wartości wielkości q , α , h , ω_{\max} , A_{\max} i Δ , a także porównać krzywą doświadczalną z teoretyczną, narysowaną na bazie wzorów analitycznych z wykorzystaniem wyznaczonych właśnie parametrów. Etap ten kończy się wciśnięciem klawisza **K**.

4. Badanie zależności częstości rezonansowej od tłumienia.

Należy powtórzyć czynności opisane w punkcie 3 dla różnych pozycji zbiornika olejowego odpowiadających różnym nastawom współczynnika tłumienia. Po każdej zmianie pozycji zbiornika olejowego należy uruchomić silnik na czas około 1 minuty z prędkością generującą duże drgania, aby poziom oleju zdążył się ustalić, a wartość tłumienia była stała w czasie kolejnej serii pomiarów.

W menu programu należy przejść do pozycji *Analiza*, która jest etapem podsumowującym wyniki zebrane w kilkukrotnym powtórzeniu procesu opracowania wykresów rezonanso-wych. W etapie *Analiza* należy wyznaczyć zależność $(\omega_{\max}/\alpha) = f(h/\alpha)$ i porównać otrzymany wykres z teoretycznym.

5. Wydruk sprawozdania.

Wydruk sprawozdania możliwy jest po uruchomieniu opcji menu *Sprawozdanie*. Należy zwrócić uwagę, aby wysłanie kolejnej porcji danych do drukarki, odpowiadających jednej stronie, następowało po załadowaniu papieru i wciśnięciu klawisza wprowadzającego drukarkę w stan gotowości *On-line*.

6. Wyłączyć miernik *11*, zakończyć działanie programu, zamknąć system, wyłączyć drukarkę i komputer;
7. Wpisać do wydrukowanego sprawozdania wnioski końcowe.

4. Literatura:

1. Parszewski, Z.: Drgania i dynamika maszyn, PWN, Warszawa, 1982.
2. Kapitaniak, T.: Wstęp do teorii drgań, Wydawnictwo PŁ, Łódź, 1992.
3. Osiński, Z.: Teoria drgań, PWN, Warszawa, 1978.