



Politechnika Wroclawska

Katedra Klimatyzacji, Ogrzewnictwa, Gazownictwa i Ochrony Powietrza

Wydział Inżynierii Środowiska

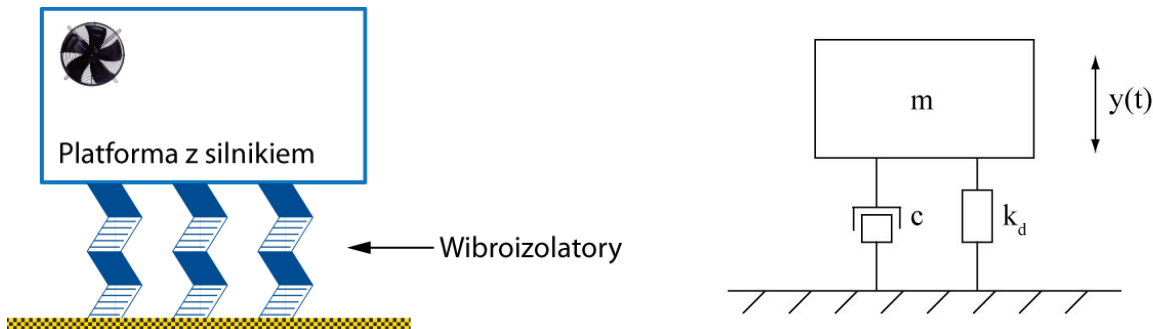
Politechnika Wroclawska

Analiza zmiennych stanu układu wibroizolacji

UWAGA

Ćwiczenie pt. *Badanie dynamiki układu* wymaga zaznajomienia się z poniższymi instrukcjami:

- Badanie dynamiki układu
- Pomiary statyczne amortyzatorów. Wyznaczanie częstości drgań swobodnych
- Wibroizolacja - badania dynamiczne amortyzatorów

Czym jest układ wibroizolacji (UW)?**Jakie równania są związane z układem wibroizolacji?**

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + k_d y = F_0 \sin(\omega t) \quad (1)$$

where:

F_0 [N]	- amplitude of the driving force,
ω [rad/s]	- angular frequency,
t [s]	- time,
m [kg]	- vibration isolation loading mass,
y [m]	- displacement,
c [Ns/m]	- damping coefficient,
k_d [N/m]	- stiffness coefficient.

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2\xi\omega_r \frac{dy}{dt} + \omega_r^2 y = \frac{F_0}{m} \sin(\omega t) \quad (2)$$

where:

ξ	- dimensionless damping factor,
ω_r [rad/s]	- resonance angular frequency (normal mode).



Jakie są przykładowe wartości współczynników równania różniczkowego układu wibroizolacji?

W tabeli 1 zamieszczono parametry układu wibroizolacji wyznaczone na podstawie badań obiektu rzeczywistego.

Tabela 1. Parametry układu wibroizolacji

	k_d	c	m	$M_w R_M$
	$10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}}$	$10^3 \frac{\text{Ns}}{\text{m}}$	kg	kg · m
Rubber	1,3	2,5	242,4	0,0165
Spring	0,2	0,8	242,4	

Przebieg ćwiczenia – przygotowanie sprawozdania

1. Zdecyduj, jaki układ wibroizolacji będzie badany. Pamiętaj, że w każdym przypadku badana jest ta sama maszyna, a jedynie wibroizolatory są różne.
2. Oblicz częstotliwość (f_r) i częstość rezonansową modelowanego układu wibroizolacji.
3. Oblicz bezwymiarowy współczynnik tłumienia (dimensionless damping factor). Możesz tego dokonać porównując wzory (1) i (2).
4. Pobierz model układu wibroizolacji korzystając z linku (*model*).
5. Uzupełnij parametry równania różniczkowego w modelu układu wibroizolacji na podstawie tabeli (Tabela 1) i wyboru dokonanego w punkcie 1.
6. Przebadaj układ wibroizolacji wykorzystując proces symulowania w programie Matlab. Zbadaj jak będzie zachowywał się układ wibroizolacji w odpowiedzi na wymuszenie częstotliwościami podanymi poniżej. Wyniki obserwacji zapisz w tabeli utworzonej według wzoru (Tabela 2).

rubber	spring
1,3	0,5
2,5	0,9
3,8	1,8
5,0	2,7
6,3	3,7
7,5	4,1
8,8	4,6
10,1	5,0
11,3	5,5
12,6	6,4
13,8	7,3
15,1	8,2
16,3	9,1



17,6	11,4
18,9	13,7
20,1	16,0
21,4	18,3
22,6	20,6
23,9	22,9
25,1	25,1

- Jeżeli konkretnego parametru nie można odczytać bezpośrednio z wyników symulacji dokonaj odpowiednich przeliczeń, w szczególności wartość amplitudy siły przenoszonej na fundament możesz obliczyć ze wzoru $F_p = k_d y_{\max} \sqrt{1 + (2\xi u)^2}$.
- Powoli i możliwie dokładnie wykonaj 4 bardzo czytelne układy współrzędnych na 1 stronie A4 zorientowanej pionowo (jeden układ współrzędnych pod drugim). Wykonaj pdwójną oś odciętych przy dolnym układzie współrzędnych, a następnie nanieś na każdą oś odpowiednio wartości z kolumn f i μ . W pierwszym układzie współrzędnych nanieś wartości y_{\max} . W drugim układzie współrzędnych nanieś wartości \dot{y}_{\max} . W trzecim układzie współrzędnych nanieś wartości \ddot{y}_{\max} . W ostatnim układzie współrzędnych narysuj 3 wykresy amplitud sił.
- Zapisz wnioski będące komentarzem do uzyskanych wyników.
- Porównaj wyniki uzyskane przez osoby, które modelowały inny układ wibroizolacji (opisany innymi parametrami równania różniczkowego). Jakie cechy wspólne można zauważyć porównując dwa różne układy wibroizolacji? Odpowiedz na pytania zamieszczone w dalszej części instrukcji.

Tabela 2. Wyniki symulacji

f	ω	μ	y_{\max}	\dot{y}_{\max}	\ddot{y}_{\max}	F_0	$\ddot{y}_{\max} \times m$	F_p
Hz	rad/s		m	m/s	m/s ²	Amplitudy sił [N]		

[Pytanie A] Jak stwierdzić, na podstawie wyników symulacji, że przy danej częstotliwości występuje rezonans?

[Pytanie B] Czy wyniki symulacji potwierdzają, że rezonans występuje dla częstotliwości obliczonej w punkcie 3?

[Pytanie C] Jeżeli nie, to co może być przyczyną? Z jakim problemem mamy do czynienia?



[Pytanie D] Kiedy (jaka częstotliwość i u) poszczególne amplitudy sił zmieniają swój układ? Innymi słowy w których punktach następuje przecięcie się wykresów amplitud poszczególnych sił?

[Pytanie E] Jaki układ wibroizolacji (sprężynowy, czy gumowy) zapewnia mniejsze przemieszczenia (i) w rezonansie, (ii) przy częstotliwości maksymalnej?

[Pytanie F] Jaki układ wibroizolacji (sprężynowy, czy gumowy) zapewnia mniejsze przyspieszenia (i) w rezonansie, (ii) przy częstotliwości maksymalnej?

[Pytanie G] Jaki układ wibroizolacji (sprężynowy, czy gumowy) zapewnia mniejszą siłę przenoszoną na fundament (i) w rezonansie, (ii) przy częstotliwości maksymalnej?

[Pytanie H] Jaki układ wibroizolacji (sprężynowy, czy gumowy) może być „lepszy” w przypadku tej konkretnej maszyny? Rozpocznij analizę od zdefiniowania słowa „lepszy”.

Pytania **dodatkowe**, wymagające szczególnej precyzji i wykonania dodatkowych symulacji (dla innych częstotliwości, niż te podane w tabeli).

[Pytanie I] Dla jakiej częstotliwości występuje rezonans w odniesieniu do przemieszczenia?

[Pytanie J] Dla jakiej częstotliwości występuje rezonans w odniesieniu do prędkości?

[Pytanie K] Dla jakiej częstotliwości występuje rezonans w odniesieniu do przyspieszenia?

[Pytanie L] Czy rezonans w odniesieniu do przemieszczenia, prędkości i przyspieszenia występuje przy tej samej częstotliwości?

$\max y(t)$
$\max dy/dt$
$\max d^2y/dt^2$
$F_0, F_p, m^*(\max d^2y/dt^2)$

u
 f

spring

Spring 1	Spring 2	Spring 3	Spring 4	Spring 5	Spring 6	Spring 7	Spring 8
c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]
8,00E+02	8,00E+02	8,00E+02	8,00E+02	8,00E+02	8,00E+02	8,00E+02	8,00E+02
k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]
2,00E+05	2,50E+05	3,00E+05	3,50E+05	4,00E+05	4,50E+05	5,00E+05	5,50E+05
m [kg]	m [kg]	m [kg]	m [kg]	m [kg]	m [kg]	m [kg]	m [kg]
242,4	242,4	242,4	242,4	242,4	242,4	242,4	242,4

f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]
0,46	0,51	0,56	0,60	0,65	0,69	0,72	0,76
1,37	1,53	1,68	1,81	1,94	2,06	2,17	2,27
2,29	2,56	2,80	3,02	3,23	3,43	3,61	3,79
3,20	3,58	3,92	4,23	4,53	4,80	5,06	5,31
4,11	4,60	5,04	5,44	5,82	6,17	6,51	6,82
4,57	5,11	5,60	6,05	6,47	6,86	7,23	7,58
5,03	5,62	6,16	6,65	7,11	7,54	7,95	8,34
5,94	6,64	7,28	7,86	8,40	8,91	9,40	9,86
6,86	7,67	8,40	9,07	9,70	10,29	10,84	11,37
9,14	10,22	11,20	12,10	12,93	13,71	14,46	15,16
11,31	12,39	13,37	14,27	15,10	15,89	16,63	17,33
13,49	14,57	15,54	16,44	17,27	18,06	18,80	19,51
15,66	16,74	17,71	18,61	19,44	20,23	20,97	21,68
17,83	18,91	19,88	20,78	21,62	22,40	23,14	23,85
20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

rubber

Rubber 1	Rubber 2	Rubber 3	Rubber 4	Rubber 5	Rubber 6	Rubber 7	Rubber 8
c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]	c [Ns/m]
2,50E+03	2,50E+03	2,50E+03	2,50E+03	2,50E+03	2,50E+03	2,50E+03	2,50E+03
k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]	k [N/m]
1,30E+06	1,25E+06	1,20E+06	1,15E+06	1,10E+06	1,05E+06	1,00E+06	9,50E+05
m [kg]	m [kg]	m [kg]	m [kg]	m [kg]	m [kg]	m [kg]	m [kg]
242,4	242,4	242,4	242,4	242,4	242,4	242,4	242,4

f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]	f [Hz]
3,50	3,43	3,36	3,29	3,22	3,14	3,07	2,99
5,83	5,71	5,60	5,48	5,36	5,24	5,11	4,98
8,16	8,00	7,84	7,67	7,50	7,33	7,16	6,97
10,49	10,29	10,08	9,87	9,65	9,43	9,20	8,97
11,66	11,43	11,20	10,96	10,72	10,47	10,22	9,96
12,82	12,57	12,32	12,06	11,79	11,52	11,24	10,96
13,99	13,71	13,44	13,15	12,87	12,57	12,27	11,96
15,15	14,86	14,56	14,25	13,94	13,62	13,29	12,95
16,32	16,00	15,68	15,35	15,01	14,66	14,31	13,95
16,90	16,57	16,24	15,90	15,55	15,19	14,82	14,45
17,52	17,26	16,99	16,72	16,44	16,15	15,86	15,56
18,14	17,94	17,74	17,54	17,33	17,11	16,89	16,67
18,76	18,63	18,49	18,36	18,22	18,08	17,93	17,78
19,38	19,31	19,25	19,18	19,11	19,04	18,96	18,89
20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00