

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (1)

↳ Uwagi wstępne

Półaktywne eliminatory drgań to układy regulacji które łączą pewne cechy pasywnych i aktywnych eliminatorów drgań. Ogólnie rzecz ujmując układ półaktywnej regulacji składa się, podobnie jak układ aktywny, z czujników, komputera i wzбудników.

Od układów aktywnych różnią się tym, że mają bardzo małe zapotrzebowanie na energię niezbędną do działania wzбудnika sił regulacji. Ponadto siły regulacji w tych układach mają zwykle charakter sił tłumienia.

Od pasywnych eliminatorów drgań różnią się one tym, że parametry urządzenia wywołującego siły regulacji można zmieniać. Zmiany te zależą od stanu dynamicznego konstrukcji.

Ogólnie mówiąc półaktywnym regulatorem drgań może być każdy układ pasywnej regulacji którego parametry da się zmieniać w czasie rzeczywistym.

↳ Rodzaje półaktywnych tłumików sił regulacji

- półaktywne tłumiki hydrauliczne,
- półaktywne tłumiki wiskotyczne,
- półaktywne tłumiki elektoreologiczne,
- półaktywne tłumiki magnetoreologiczne,
- półaktywne tłumiki tarciove,
- półaktywne tłumiki zmieniające sztywność konstrukcji,
- półaktywne tłumiki cieczowe.

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (2)

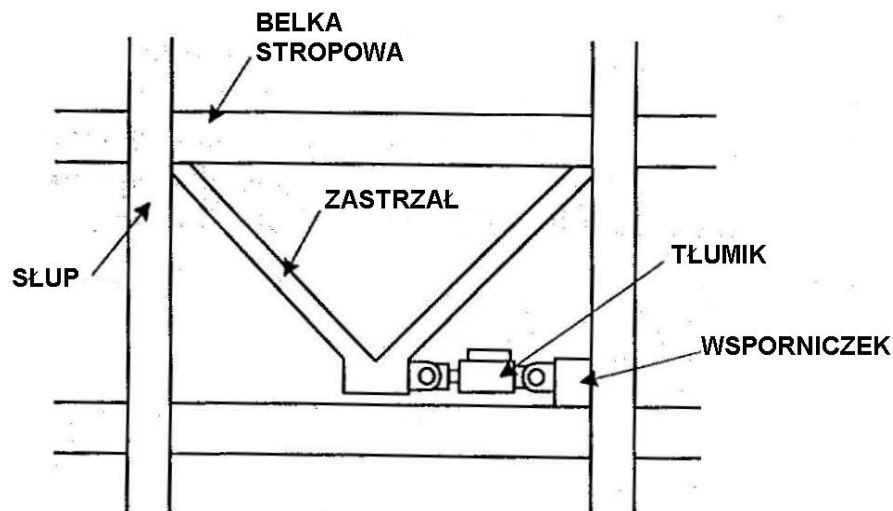
℘ Tłumik hydrauliczny zastosowany w budynku biurowym (1)

⊕ Ogólne informacje o budynku

budynek biurowy w Shizuoka City (Japonia),
budynek ma 5 kondygnacji nadziemnych i piwnicę.
wysokość budynku 19,75 m,
całkowita powierzchnia 1 685,36 m²,
całkowita masa 1 102 300 kg;
konstrukcja stalowa.

⊕ Ogólne informacje o układzie regulacji

czujniki (umieszczone na każdej kondygnacji),
komputerów,
jednostka ciągłego zasilania w energię,
tłumiki (siłowniki) hydrauliczne zainstalowane w obydwu szczy-
tach budynku na pierwszych czterech kondygnacjach (razem
osiem tłumików - po dwa na kondygnacji))

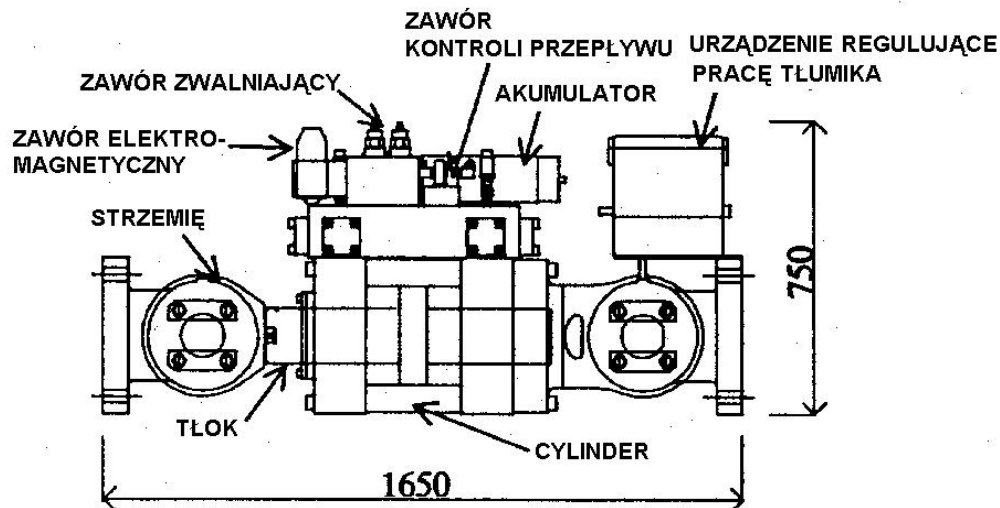


Usytuowanie wzbudnika na konstrukcji

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (3)

↳ Tłumik hydrauliczny zastosowany w budynku biurowym (2)

⊕ Opis tłumika i jego sposobu działania (1)



Schemat tłumika hydraulicznego

Najważniejsze części tłumika hydraulicznego to cylinder, tłok, rura rozgałęźna, zawory i akumulator.

Zawór kontroli przepływu, umieszczony w rurze łączącej lewą i prawą część cylindra wpływa na wielkość siły regulacji przez odpowiednie dostosowanie przepływu oleju.

Zawór jest dwupoziomowy po to by efektywnie zachować energię w trakcie regulacji drgań. Otwieranie głównego zaworu następuje dzięki ciśnieniu wstecznemu kontrolowanemu przez zawór sterujący. Daje to możliwość wywołania dużej siły tłumienia przy użyciu prądu o mocy zaledwie ok. 70 W.

Równoległe do zaworu kontrolującego przepływ, zainstalowano zawór zwalniający. Ma on zapobiec generowaniu przez siłownik sił tłumienia większych od obciążenia zwalniającego.

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (4)

℘ Tłumik hydrauliczny zastosowany w budynku biurowym (3)

⊕ Opis tłumika i jego sposobu działania (2)

Zabezpieczeniem w przypadku niespodziewanego uszkodzenia systemu lub braku dostaw mocy jest zawór elektromagnetyczny. W czasie awarii zawór ten otwiera się, olej hydrauliczny przepływa przez specjalny otwór, a tłumik działa pasywnie.

Funkcja akumulatora polega na wytworzeniu ciśnienia początkowego oleju i na regulacji zmian objętości tego oleju wywołanych zmianami temperatury i kompresją.

Komenda z komputera wywołuje takie działanie zaworu przepływu aby wytworzona została pożądana siła tłumiąca.

Jeżeli znak zadanej siły tłumienia jest przeciwny do znaku siły wytworzonej w tłumiku lub gdy nie ma powstać żadna siła tłumiąca to zawór kontroli przepływu jest otwierany całkowicie.

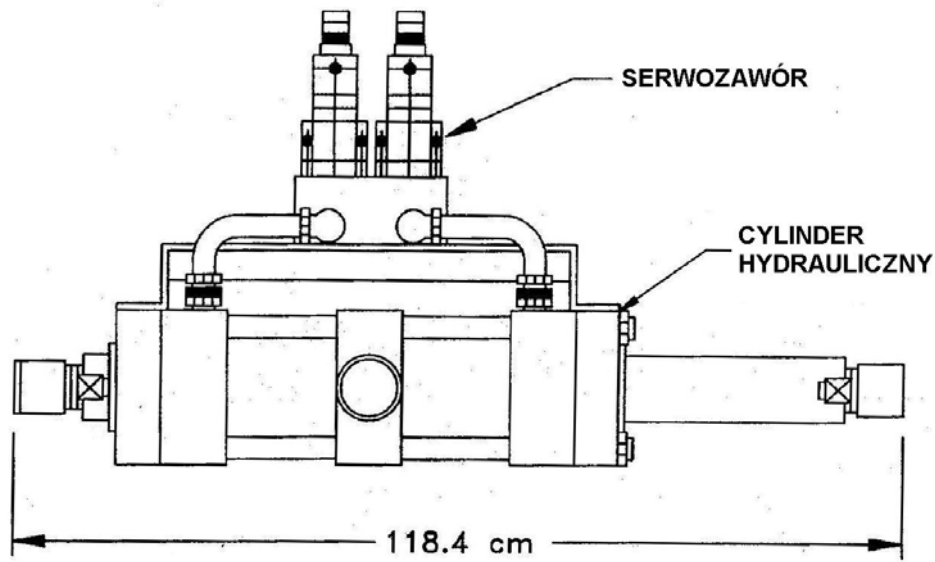
Tabela- Dane techniczne tłumika hydraulicznego

Maksymalna siła tłumienia	1 MN
Obciążenie zwalniające	0.9 MN
Maksymalne ciśnienie	30 Mpa
Maksymalny skok tłoka	± 6 cm
Maksymalna prędkość	25 cm/s
Sztywność	≥ 4 MN/cm
Maksymalny współczynnik tłumienia	2 MNs/cm
Wymiary	390 × 750 × 1650 mm
Ciężar	13 kN

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (5)

℘ Tłumik hydrauliczny opracowany przez Kawashima

⊕ Opis tłumika i jego sposobu działania (1)



Schemat tłumika hydraulicznego Kawashimy

Urządzenie składa się z cylindra hydraulicznego połączonego zewnętrznym przewodem obejściowym, w którym są dwa serwozawory.

Serwozawory regulują niezależnie przepływ cieczy, wpływając na względne ruchy tłoka w lewo lub w prawo.

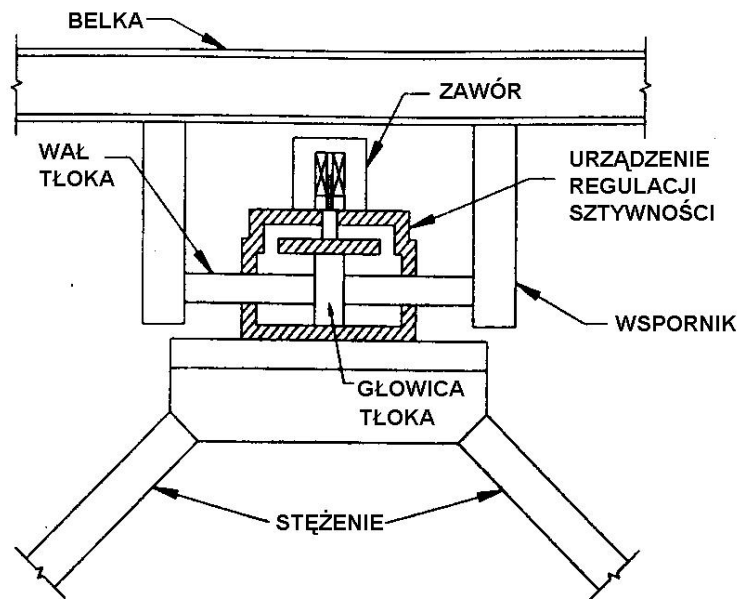
Zawory te są zaworami zwalniającymi, reagującymi na zmianę ciśnienia cieczy. Otwierają się, gdy ciśnienie to przekroczy określoną wartość progową.

Siła tłumienia powstaje na skutek różnicy ciśnień przed i za głowicą tłoka. Wzrasta ona do momentu, w którym ciśnienie na serwozaworze osiąga poziom progowy, otwierający serwozawór. Po zadziałaniu serwozaworu, siła tłumienia dalej już nie wzrasta.

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (6)

↳ Urządzenie zmieniające sztywność konstrukcji – Kabori (1)

⊕ Opis urządzenia i jego sposobu działania (1)



Schemat urządzenia półaktywnej regulacji sztywności

Są wykorzystywane do wywołania zmian sztywności, a tym samym częstości i postaci drgań konstrukcji, do której są przymocowane.

Mają za zadanie zmieniać sztywność budynku w sposób umożliwiający stworzenie warunków pracy pozarezonansowej podczas trwania wzbudzenia.

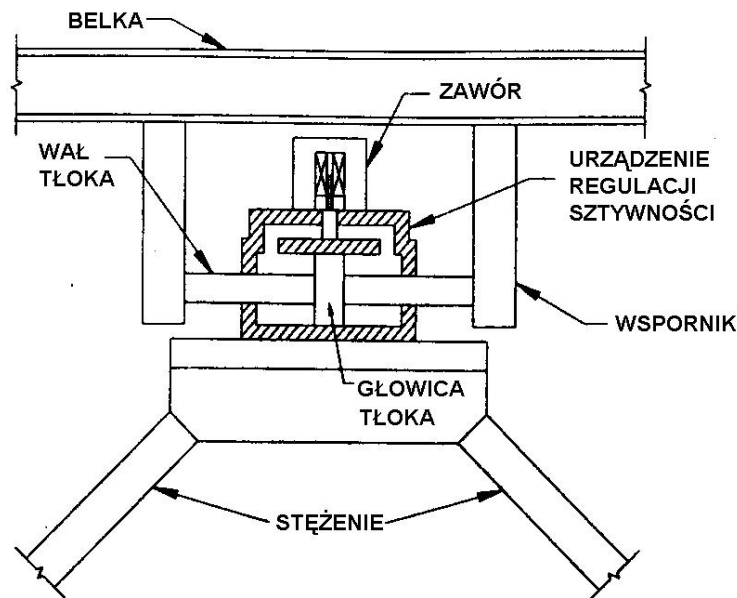
System półaktywnej regulacji załącza lub odłącza ten typ urządzeń tak, aby odpowiednio: dołączyć do lub odłączyć od konstrukcji system stężeń, zmieniając w ten sposób jej sztywność.

Urządzenie składa się z cylindra napełnionego cieczą i z zaworem elektromagnetycznym umieszczonym w rurce łączącej dwie komory cylindra.

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (7)

↳ Urządzenie zmieniające sztywność konstrukcji – Kabori (2)

⊕ Opis urządzenia i jego sposobu działania (2)



Schemat urządzenia półaktywnej regulacji sztywności

Zawór może być włączony lub wyłączony, odpowiednio pozwalając lub nie na przepływ cieczy przez rurkę. Zamknięcie zaworu powoduje, że belka ze stężeniami zachowują się tak, jakby były one sztywno połączone. Gdy zawór jest otwarty, ciecz przepływa swobodnie i następuje rozłączenie połączenia belka-stężenie.

Działanie urządzenia wymaga dostarczenia mocy ok. 20 W.

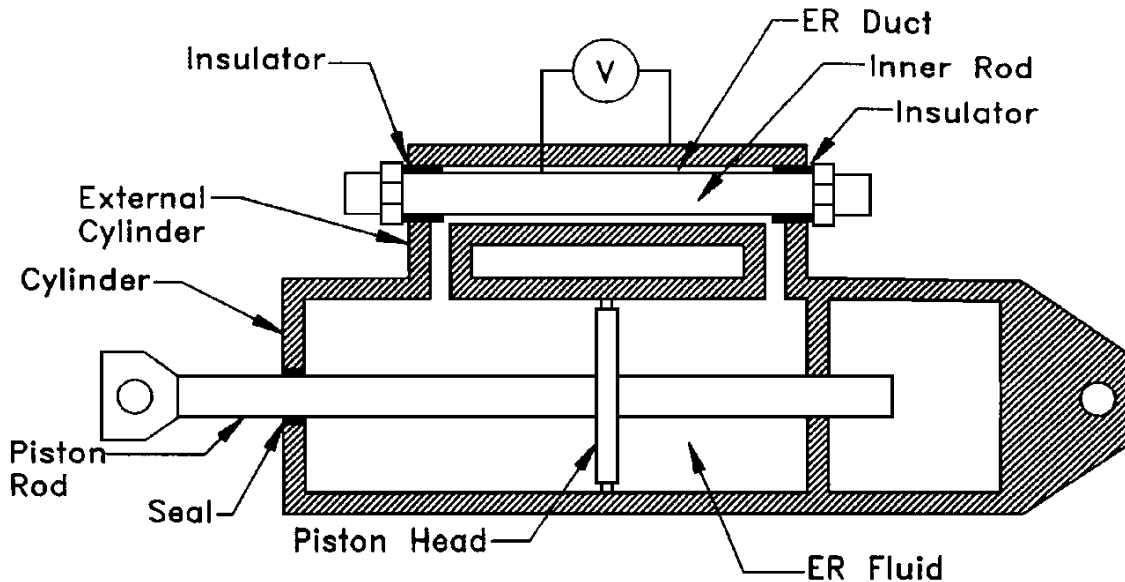
Czas wymagany do przystosowania się zaworu elektromagnetycznego do nowych warunków pracy wynosi ok. 30 ms.

System może być uważany za niezawodny w tym sensie, że przerwa w dopływie mocy powoduje automatyczne załączenie urządzeń regulacji, zwiększając tym samym sztywność konstrukcji.

Algorytm regulacji wykorzystuje informacje o zmierzonym przyspieszeniu wybranych punktów konstrukcji.

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (8)

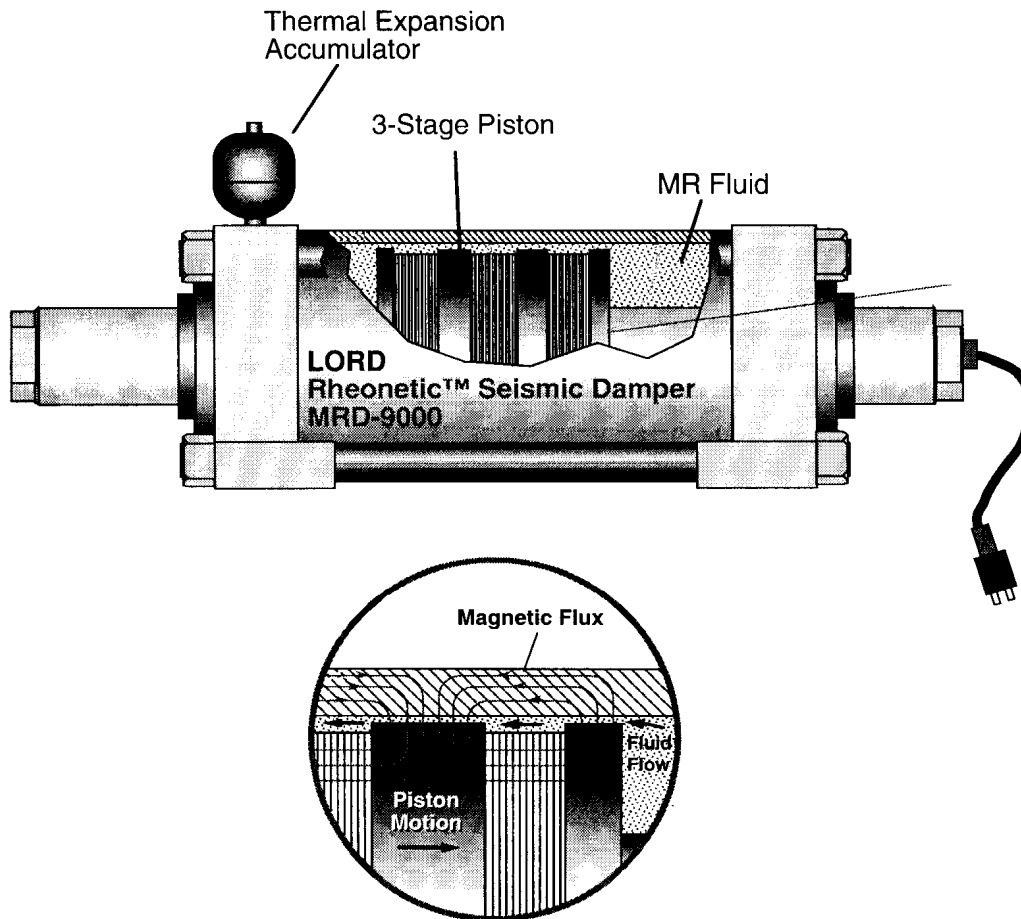
☞ Budowa i działanie półaktywnego wzbudnika ER



- cylinder mocowany do konstrukcji, tłok do dodatkowej masy lub konstrukcji,
- cylinder jest wypełniony:
 - ⇒olejem (mineralnym, syntetycznym) z zawiesiną cząstek dielektryka (cząstki np. aluminiowo-krzemowe) o mikronowych wymiarach (tłumik elektoreologiczny ER),
 - ⇒olej z zawiesiną cząstek o mikronowych wymiarach które mogą być polaryzowane polem magnetycznym (tłumik magneto-reologiczny MR),
 - ⇒ciecz wiskotyczna (olej silikonowy, mineralny, syntetyczny, glikol) przepływająca z dużą prędkością przez małe otwory w tłoku
- dynamiczna zmiana własności tłumiących poprzez:
 - ⇒zmniejszanie średnicy otworu przez który przepływa olej,
 - ⇒zmiana własności zawiesiny (pod wpływem pola magnetycznego lub elektrycznego powstaje żel zachowujący się jak ciało plastyczne

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (9)

↳ Magnetoreologiczny tłumik drgań firmy Lord Corporation



↳ Główne zalety półaktywnych eliminatorów drgań

- stopień redukcji drgań podobny jak w przypadku aktywnych eliminatorów drgań,
- dużo mniejsze zapotrzebowanie na energię (rzędu 20 W); możliwe jest zasilanie układu półaktywnej regulacji z baterii,
- możliwe jest generowanie dużych sił półaktywnego tłumienia (do 200 kN),
- półaktywne układy regulacji nie mogą destabilizować konstrukcji ponieważ tylko rozpraszają energię układu, nie mogą doprowadzać energii do układu.

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (10)

℘ Projektowanie półaktywnego regulatora drgań (1)

Projektowanie jest 2 etapowe. W 1 etapie projektujemy układ półaktywnej regulacji tak jak układ aktywny. W 2 etapie uwzględniamy ograniczenia wynikające z konstrukcji półaktywnego siłownika

⊕ Zastosowanie metody LQR – 1 etap projektowania

Definiujemy wskaźnik jakości sterowania

$$J = \int_0^{t_k} [\mathbf{z}^T(t)\mathbf{Q}\mathbf{z}(t) + \mathbf{u}^T(t)\mathbf{R}\mathbf{u}(t)]dt$$

Rozwiązujemy równanie Riccati'ego

$$\mathbf{P}\mathbf{A} + \mathbf{A}^T\mathbf{P} - \frac{1}{2}\mathbf{P}\mathbf{B}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{P} + 2\mathbf{Q} = \mathbf{0}$$

Wzór na pożądaną siłę regulacji

$$\mathbf{u}^*(t) = -\frac{1}{2}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{P}\mathbf{z}(t) = \mathbf{G}\mathbf{z}(t), \quad \mathbf{G} = -\frac{1}{2}\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{P}$$

⊕ Zastosowanie metody LQR – 2 etap projektowania – tłumik hydrauliczny (uwzględnia się możliwość zmian współczynnika tłumienia i sztywności)

Siłę półaktywnego tłumienia wyznacza się w sposób następujący

$$u_i(t) = u_{\max} \text{sign}(v_i) \quad \text{jeżeli} \quad u_i^*(t)v_i(t) > 0 \quad \text{oraz} \quad |u_i^*(t)| > u_{\max}$$

$$u_i(t) = c_{\max} v_i \quad \text{jeżeli} \quad u_i^*(t)v_i(t) > 0, \quad |u_i^*(t)/v_i(t)| > c_{\max}, \quad |u_i^*(t)| \leq u_{\max}$$

$$u_i(t) = u_i^*(t) \quad \text{jeżeli} \quad u_i^*(t)v_i(t) > 0, \quad |u_i^*(t)/v_i(t)| \leq c_{\max}, \quad |u_i^*(t)| \leq u_{\max}$$

$$u_i(t) = 0 \quad \text{jeżeli} \quad u_i^*(t)v_i(t) \leq 0,$$

$v_i(t)$ - prędkość tłoka względem obudowy tłumika.

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (11)

℘ Projektowanie półaktywnego regulatora drgań (2)

- ⊕ Zastosowanie metody wykorzystującej twierdzenie Lapunowa – 1 etap projektowania

Definiujemy funkcję Lapunowa

$$V(\mathbf{z}) = \mathbf{z}^T(t)\mathbf{Q}\mathbf{z}(t) ,$$

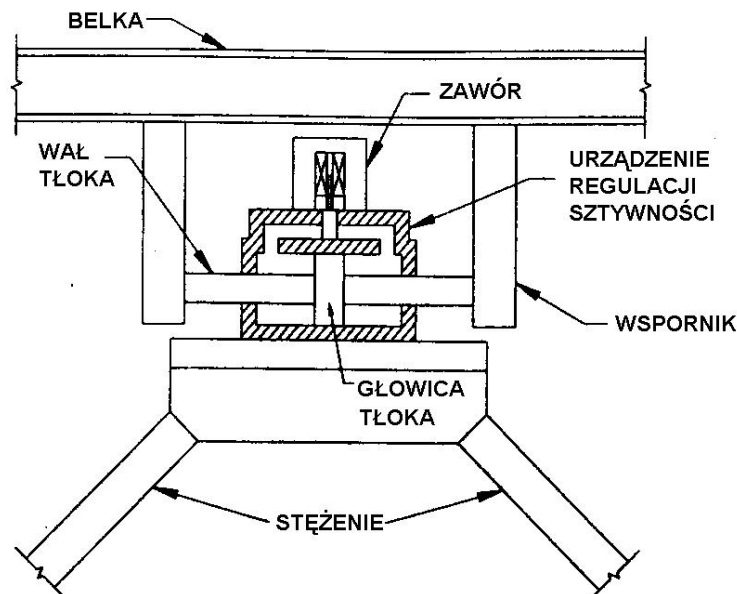
Przyjmujemy dodatnio określoną macierz \mathbf{P} i rozwiązujemy równanie Lapunowa

$$\mathbf{A}^T\mathbf{Q} + \mathbf{Q}\mathbf{A} = -\mathbf{P} .$$

Obliczamy pożądaną siłę regulacji $\mathbf{u}(t)$

$$\mathbf{u}^*(t) = -\mathbf{u}_{\max} \operatorname{sgn}[\mathbf{B}^T\mathbf{Q}\mathbf{z}(t)] .$$

- ⊕ Zastosowanie metody wykorzystującej twierdzenie Lapunowa – 2 etap projektowania – półaktywny siłownik sztywnościowy



□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (12)

℘ Projektowanie półaktywnego regulatora drgań (2)

Rzeczywista siła półaktywnej regulacja w siłowniku i jest obliczana ze wzoru

$$u_i(t) = k_i x_i(t) h_i(t)$$

k_i - zastępcza sztywność stężenia i zaworu

$x_i(t)$ - różnica przemieszczeń stropów kondygnacji na której jest zainstalowany siłownik

$h_i(t)$ - funkcja zdefiniowana w następujący sposób:

$$\begin{aligned} h_i(t) &= 1 && \text{jeżeli} && x_i(t)\dot{x}_i(t) \geq 0 \\ h_i(t) &= 0 && \text{jeżeli} && x_i(t)\dot{x}_i(t) < 0 \end{aligned}$$

⊕ Zastosowanie metody wykorzystującej twierdzenie Lapunowa – 2 etap projektowania – półaktywny siłownik wiskotyczny

Równanie opisujące zachowanie siłownika wiskotycznego

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{C}(t)\dot{\mathbf{x}}(t), \quad u_i(t) = c_i(t)\dot{x}_i(t),$$

Rzeczywista siła półaktywnej regulacji ma być równa lub zbliżona do pożądanej siły regulacji

Obliczenie pożadanego współczynnika tłumienia

$$c_i^*(t) = \frac{u_i^*(t)}{\dot{x}_i(t)},$$

Możliwości fizycznej realizacji

$$c_{\min} \leq c_i(t) \leq c_{\max}, \quad c_{\min} > 0, \quad c_{\max} > 0$$

□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (13)

℘ Projektowanie półaktywnego regulatora drgań (2)

- ⊕ Zastosowanie metody wykorzystującej twierdzenie Lapunowa – 2 etap projektowania – półaktywny siłownik wiskotyczny

Sposób określania rzeczywistego współczynnika tłumienia

$$\begin{aligned}
 c_i(t) &= c_{\min} \quad , \quad \text{jeżeli} \quad c_i^*(t) \leq c_{\max} \quad , \\
 c_i(t) &= c_i^*(t) \quad , \quad \text{jeżeli} \quad c_{\min} \leq c_i^*(t) \leq c_{\max} \quad , \\
 c_i(t) &= c_{\max} \quad , \quad \text{jeżeli} \quad c_i^*(t) \geq c_{\max} \quad .
 \end{aligned}$$

Rzeczywista siła półaktywnej regulacji generowana przez tłumik

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{C}(t)\dot{\mathbf{x}}(t) \quad , \quad u_i(t) = c_i(t)\dot{x}_i(t) \quad ,$$

℘ Przykład ilustrujący efekty półaktywnej regulacji (1)

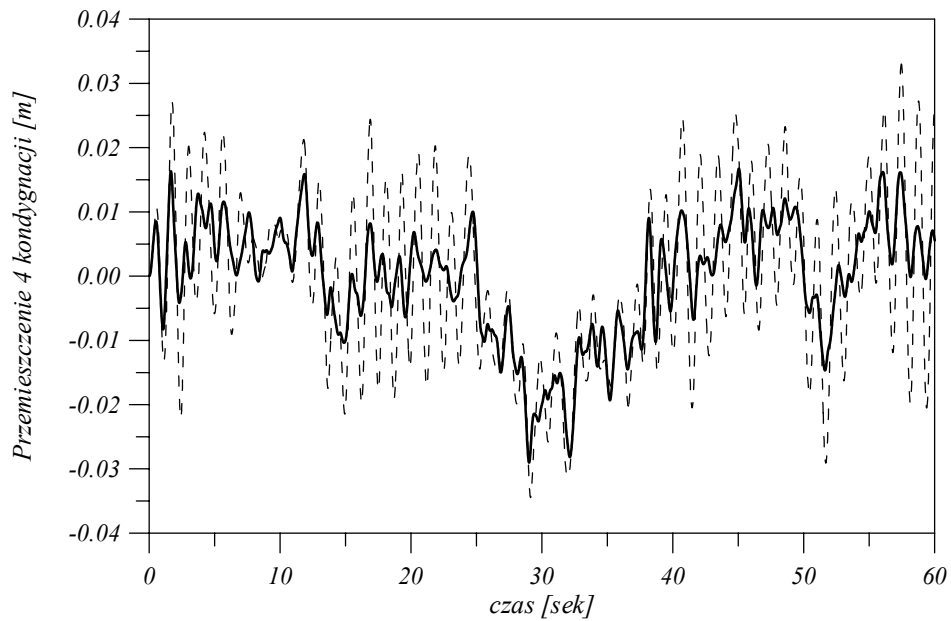
- ⊕ Opis konstrukcji i układu regulacji półaktywnej

- Budynek o konstrukcji szkieletowej, 4 kondygnacyjny,
- Schemat statyczny - rama płaska,
- Wysokość kondygnacji 3 m, masa stropu 22500,0 kg, sztywność słupa na zginanie 5,10 MNm², tłumienie modalne 1 i 2 postaci drgań 3% tłumienia krytycznego
- Siłownik układu półaktywnej regulacji wmontowany w zastrzał pod 1 kondygnacją.
- Zastosowano półaktywny tłumik typu wiskotycznego.
- Obciążeniem budynku jest parcie wiatru którego własności statystyczne są opisane widmem Davenporta.
- Macierz $\mathbf{P} = \mathbf{I}$

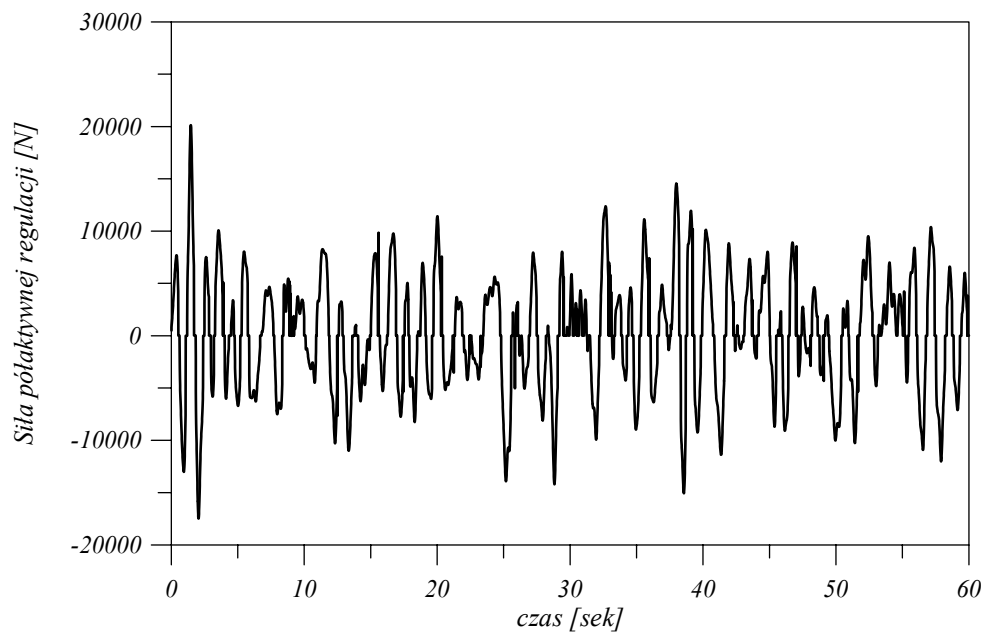
□ PÓŁAKTYWNE ELIMINATORY DRGAŃ (14)

℘ Przykład ilustrujący efekty półaktywnej regulacji (2)

⊕ Rezultaty półaktywnej regulacji



Porównanie przemieszczeń stropu 4 kondygnacji, linia ciągła – rama z układem regulacji, linia przerywana – rama bez układu regulacji



Przebieg siły półaktywnej regulacji