

dr inż. J. Winiecki

Przemysłowy Instytut
Automatyki i Pomiarów "MERA-PIAP"
Warszawa

METODA I URZĄDZENIE DO POMIARU WSPÓŁCZYNNIKA TŁUMIENIA W WYCHYŁOWYCH MIERNIKACH TACHOMETRYCZNYCH

Omówiono metodę i techniczny sposób realizacji pomiaru współczynnika tłumienia na podstawie pomiaru amplitudy przy wymuszeniu rezonansowym. Opisana metoda służy do szybkiego określania współczynnika tłumienia mierników całkowicie zmontowanych, w związku z tym, znajduje zastosowanie do pomiarów przy kontroli ostatecznej w produkcji wielkoseryjnej.

1. Wstęp

Ogólny rozwój techniki wskazuje na konieczność doskonalenia narzędzi pomiarowych, w których istotną rolę odgrywają różnego rodzaju przyrządy wychyłowe. Problemem do rozwiązania jest stworzenie dla tej grupy przyrządów możliwości dokonywania prawidłowego odczytu wskazań przyrządu, na co między innymi ma istotny wpływ tłumienie oscylacji wskazówek.

Ograniczenie oscylacji wskazówek w miernikach wychyłowych stanowi ważne zagadnienie techniczne i metrologiczne. Zagadnienia te z dużą wyrazistością występują w tych przypadkach, gdy miernik jest narażony na dynamiczne oddziaływanie otoczenia. Dość reprezentatywna jest tutaj grupa magnetooddziaływanych mierników tachometrycznych, na które istnieje duże zapotrzebowanie z racji chociażby niemal wyłącznego stosowania tego typu mierników w pojazdach samochodowych i obrotomierzach lotniczych.

Nie oznacza to jednak, aby w innych typach mierników wychyłowych problemy te nie miały istotnego znaczenia technicznego. Oczywiście zależy to, ogólnie rzecz traktując, od charakteru pracy przyrządu.

Charakter pracy mierników tachometrycznych, wynikający zarówno ze sposobu przenoszenia napędu, jak również z warunków pracy (intensywne na ogół, dynamiczne oddziaływanie otoczenia), powoduje powstawanie oscylacji wskazówki, która utrudnia lub niekiedy wręcz uniemożliwia dokonanie prawidłowego odczytu wskazań.

Wprowadzony do ustroju pomiarowego tłumik pochłania energię jego ruchu, natomiast bezpośredni skutek tego działania jest określany w technice jako współczynnik tłumienia układu. Względny metrologiczny nakazuje, aby współczynnik tłumienia był funkcją prędkości ruchu układu tłumionego

$$l = f(\dot{\varphi}^n) \quad /1/$$

gdzie:

- l - współczynnik tłumienia,
- φ - uogólnione przemieszczenie układu drgającego,
- n - wykładnik potęgi określający stopień tłumienia.

Tłumiki ruchu ustroju pomiarowego miernika stosowane w najczęściej spotykanych rzeczywistych warunkach pracy, realizują liniową zależność współczynnika tłumienia od prędkości ($n = 1$), którą zwykle się określać jako tłumienie wiskotyczne.

Skuteczność działania stosowanego w mierniku układu tłumiącego oscylację wskazań powinna być w procesie wytwarzania sprawdzana. Znane metody i urządzenia pomiarowe stosowane do tego celu opisano w przytoczonej literaturze [2], [3], [4] . [6].

W niniejszej pracy przedstawiona zostanie metoda i techniczny sposób realizacji pomiaru współczynnika tłumienia na podstawie pomiaru amplitudy przy wymuszeniu rezonansowym.

2. Metoda pomiaru amplitudy przy wymuszeniu rezonansowym

Metoda ta polega na pomiarze amplitudy oscylacji drgań wskazówki przyrządu, podczas gdy na jego układ pomiarowy jest zadawany oscylujący sygnał pomiarowy, zgodny z częstotliwością własną drgań układu pomiarowego. A więc przy określonym, ustalonym przebiegu i amplitudzie sygnału zadawanego, poziom amplitudy drgań wskazówek będzie miarą jego współczynnika tłumienia.

Zakładając, że przebieg sygnału zadawanego będzie sinusoidalny (co praktycznie można zrealizować), w dalszych rozważaniach można się posłużyć modelem matematycznym ruchu, opisanym znanym równaniem różniczkowym, a mianowicie

$$J\ddot{\theta} + l\dot{\theta} + k\theta = M_0 \sin(\omega t) \quad /2/$$

Rozwiązanie tego równania ma ogólnie znaną postać

$$\theta = \frac{\varphi}{b^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + 4\gamma^2 \eta^2}} \cdot \sin(\omega t - \delta) \quad /3/$$

gdzie $\eta = \frac{\omega}{b}$, co charakteryzuje stosunek częstotliwości drgań wymuszonych do własnych, natomiast $\varphi = \frac{M_0}{J}$ określa stosunek momentu wymuszającego do momentu bezwładności układu.

Ponieważ pomiar ma się odbywać, jak założono, w warunkach rezonansu (zgodność drgań wymuszających z własnymi $\omega = b$, $\eta = 1$), zatem dla tych warunków zależność /3/ można napisać w postaci

$$\theta = \frac{\varphi}{b^2} \cdot \frac{1}{2\gamma} \cdot \sin(\omega t - \delta) \quad /4/$$

Pomiarami będą objęte maksymalne wychylenia $\Theta_{\max} = \Phi$, co nastąpi dla $\omega t - \delta = \left(\frac{1}{2} + n\right)\pi$ (dla n przybierającego wartości liczb całkowitych), wobec tego amplituda drgań wyniesie

$$\Phi = \frac{\varphi}{2\delta b^2} \quad /5/$$

Podstawiając pod symbole φ , δ i b przyjęte zależności, a mianowicie

$$\varphi = \frac{M_0}{J}; \quad \delta = \frac{h}{b}; \quad b = \sqrt{\frac{k}{J}} \quad \text{oraz} \quad h = \frac{1}{2J}$$

otrzymamy

$$l = \frac{M_0}{\Phi} \sqrt{\frac{J}{k}} = \frac{M_0}{\Phi \cdot \omega_0} \quad /6/$$

Jak widać z /6/, ustalenie współczynnika tłumienia wiąże się z pomiarem amplitudy i momentu wymuszającego, przy czym pomiar tego ostatniego w warunkach praktycznej realizacji jest dość trudny. Uwzględniając ponadto potrzebę maksymalnego uproszczenia operacji pomiaru, jest rzeczą pożądaną, aby czynność związaną z dokonaniem pomiaru ograniczyć wyłącznie do odczytu samej oscylacji drgań i na tej podstawie oceniać skuteczność tłumienia.

Wychodząc z tego założenia, poniżej przedstawiono zależność występującą w drganiach sinusoidalnych między amplitudą tych drgań a momentem wymuszenia dla układu o określonym momencie bezwładności

$$M_0 \sin(\omega_0 t) = J \Phi_w \omega_0^2 \sin(\omega_0 t) \quad /7/$$

gdzie Φ_w - amplituda wymuszenia

$$\text{stąd} \quad M_0 = J \Phi_w \omega_0^2 \quad /8/$$

Wstawiając /8/ do /6/ otrzymamy

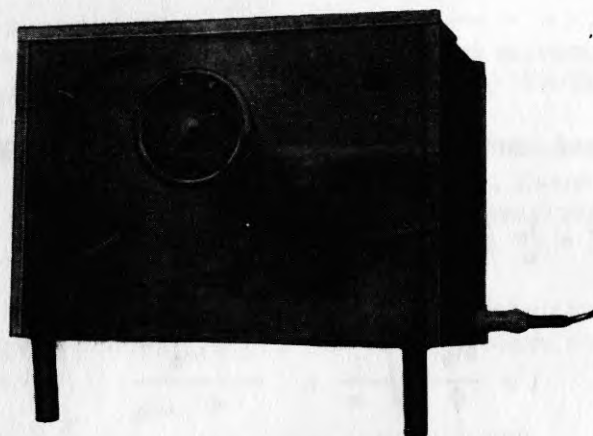
$$l = \frac{\Phi_w}{\Phi} J \omega_0 \quad /9/$$

Z zależności /9/ widać, że pomiar współczynnika tłumienia można w łatwy sposób sprowadzić do pomiaru amplitudy oscylacji drgań wskazówki przy drganiach rezonansowych, ponieważ Φ_w może być przy pomiarze znaną wartością stałą lub łatwą do ustalenia, a moment bezwładności ruchomego układu pomiarowego miernika jest również znany.

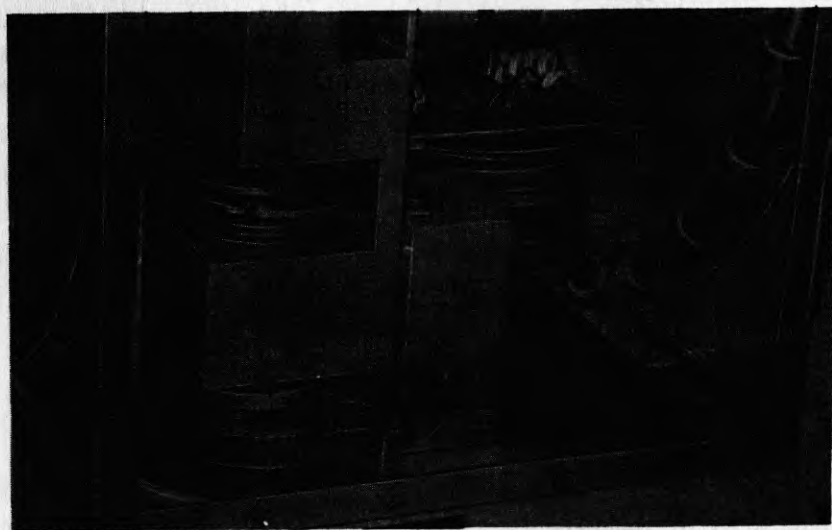
Metoda ta, której zasadę opisuje wyprowadzone równanie /9/ jest bardzo wygodna. Przede wszystkim nadaje się do szybkiego określania współczynnika tłumienia przy kontroli ostatecznej mierników całkowicie zmontowanych, gdzie na ogół nie ma praktycznej możliwości stosowania innych metod.

3. Urządzenie do pomiaru współczynnika tłumienia

W Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów opracowano i wykonano urządzenie umożliwiające dokonywanie pomiarów omawianą metodą w odniesieniu do mierników tachometrycznych (fot.1,2)



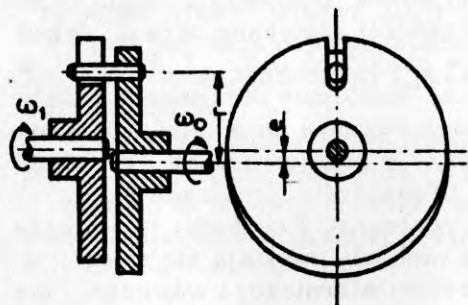
Fot.1. Widok ogólny stanowiska do pomiaru współczynnika tłumienia metodą pomiaru amplitudy przy wymuszeniu rezonansowym



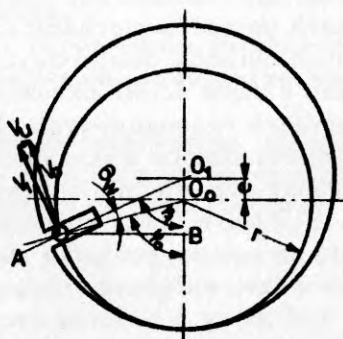
Fot.2. Fragment stanowiska do pomiaru współczynnika tłumienia realizujący wymuszenie rezonansowe

W celu uzyskania sinusoidalnego przebiegu sygnału zadawanego na badany miernik, który w analizowanym przypadku jest prędkością kątową, wykorzysta-

no układ kinematyczny, stosowany w tzw. "sprzęgłach kłowych", co przedstawiono na rys.1 i 2.



Rys.1. Sprzęgło kłowe z równoległym przesunięciem osi jako przetwornik ruchu jednostajnego na wymuszony ruch oscylacyjny



Rys.2. Układ kinematyczny sprzęgła tarczowego z równoległym przesunięciem osi

Rozpatrując rys.2 można napisać

$$r \cdot \sin \theta_w = e \cdot \sin \varphi_1 = e \cdot \sin (\varphi_0 - \theta_w) \quad /10/$$

Po przekształceniach trygonometrycznych otrzymamy

$$\operatorname{tg} \theta_w = \frac{e \cdot \sin \varphi_0}{r + e \cdot \cos \varphi_0} \quad /11/$$

Dla $e \ll r$ nie popełniając większego błędu można przyjąć, że

$$\operatorname{tg} \theta_w \approx \frac{e}{r} \sin \varphi_0 \approx \theta_w \quad /12/$$

Ponieważ amplituda oscylacji ruchu wymuszonego odpowiada maksymalnym wartościom $\theta_{w \max} = \phi_{w1}$, które występują dla kątów φ_0 , odpowiadających wartościom $\left(\frac{1}{2} + n\right)\pi$ dla n przybierającego wartości liczb całkowitych, zatem dla tego układu kinematycznego amplituda oscylacji wyniesie

$$\phi_{w1} = \frac{e}{r} [Rd] \quad /13/$$

Należy pamiętać, zgodnie z założeniami tej metody pomiaru, że częstotliwość wymuszenia musi odpowiadać częstotliwości drgań własnych układu. Przy tym założeniu $\varphi_0 = \omega_0 t$, a więc różniczkując względem czasu zależność /12/ otrzymamy składową prędkości oscylacji

$$\dot{\theta}_w = \omega_0 \frac{e}{r} \cos (\omega_0 t) \quad /14/$$

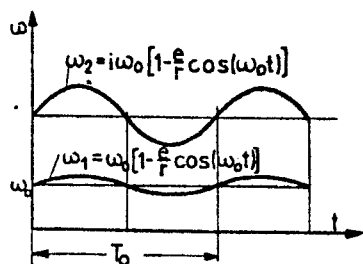
Ponieważ wypadkowa prędkość wyjściowa w realizowanym układzie jest sumą prędkości zadanej ω_0 i składowej oscylacji $\dot{\theta}_w$, można napisać, że

$$\dot{\varphi}_1 = \omega_0 \left[1 - \frac{e}{r} \cos(\omega_0 t) \right] = \omega_1 \quad /15/$$

Układ był realizowany dla kontroli współczynników tłumienia w szybkościomierzach pojazdów mechanicznych, gdzie najczęściej spotykane okresy drgań własnych układów pomiarowych zawierają się w granicach 0,7...1,3 s, w związku z czym ściśle określony był zakres ω_0 limitujący utrzymanie układu w drganiach rezonansowych. Przechodząc z tego warunku na wartości liczbowe, odpowiadające wskazaniom szybkościomierzy w kilometrach na godzinę otrzymamy odpowiednio zakres wskazywanych prędkości w granicach 2,8...5,2 km/h, przy których może wystąpić rezonans. Prędkości te mieszczą się na samym początku skali przyrządu, a niekiedy znajdują się nawet w zakresie tzw. wstępnego naciągu sprężyny zwrotnej mierniczej i wówczas nie może być mowy o badaniu oscylacji wokół tych wskazań ze względu na element ograniczający ruch wskazówki, który jest umieszczony na ogół nieco powyżej wskazania "zero".

W tej sytuacji wynikała potrzeba "przeniesienia" punktu oscylacji w inne położenie skali miernika, oczywiście z zachowaniem częstotliwości oscylacji odpowiadającej częstotliwości drgań własnych układu. Uzyskano to przez dodanie odpowiedniego stopnia przełożenia między oscylującą prędkością ω_1 i prędkością wyjściową ω_2 .

Powyższe ilustruje wykres na rys.3 i schematyczny rys.4.

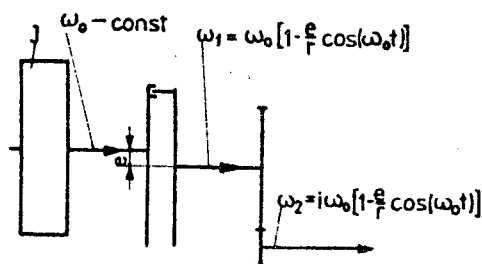


Rys.3. Przebieg ruchu wymuszonego, realizowanego w opracowanym stanowisku wg układu kinematycznego z rys.4

Wprowadzenie przełożenia i już na prędkości pulsacyjnej, nie zmienia częstotliwości pulsacji odpowiadającej ω_0 , zmienia natomiast jej amplitudę. Dlatego też w odniesieniu do opracowanego i wykonanego stanowiska (fot. 1 i 2), amplituda wymuszenia zastosowanego całego układu kinematycznego wyniesie:

$$\Phi_w = i \frac{e}{r} [Rd] \quad /16/$$

Rys.4. Układ kinematyczny stanowiska do pomiaru współczynnika tłumienia metodą pomiaru amplitudy przy wymuszeniu rezonansowym



W wykonanym stanowisku zastosowano przełożenie $i = 5$, zatem pełny cykl pulsacji odbywa się w ciągu pięciu obrotów wałka wyjściowego napędzającego przyrząd. Wynika to stąd, że pełny cykl pulsacji, realizowany przez samo "sprzęgło kłowe" odbywa się w ciągu jednego obrotu.

Przy zastosowanym przełożeniu, zmieniły się odpowiednio punkty oscylacji na skali szybkościomierzy i praktycznie mieszczą się one w obszarze wskazań 14...26 km/h.

Pomiary współczynnika tłumienia, dokonywane na opisywanym stanowisku, potwierdzają przewidywania co do łatwości i szybkości ich przeprowadzania.

Metoda ta znajduje zastosowanie przede wszystkim do pomiarów przy kontroli ostatecznej w produkcji wielkoseryjnej.

Literatura

- [1] Ball M.: The ballistics of moving coil panel meters. Control Instrument. 1969, nr 1-3.
- [2] Kennel R.: The measurements and control of viscosity and related flow properties. 1960.
- [3] Osiecki I.: Podstawy pomiarów drgań mechanicznych. PWN Warszawa, 1968.
- [4] Spink L.: Principles and practice of flow meter engineering. Katalog Foxboro Company 1967.
- [5] Winiecki J.: O niektórych metodach tłumienia drgań elementów wskaźnikowych mierników. Automatyka Przemysłowa 1966, nr 17.
- [6] Winiecki J.: Zagadnienia pomiaru wiskotycznych układów tłumiących w magnetycznych miernikach tachometrycznych. Biuletyn PIAP 1966, nr 4-6.
- [7] Ziemia S.: Analiza drgań. PWN Warszawa, 1957.