

Aleksander ŁATKA

Politechnika Śląska
Instytut Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej

Kurt ŻMUDA

Politechnika Śląska
Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów

WŁAŚCIWOŚCI DYNAMICZNE PRZYRZĄDU
DO POMIARU MAKSYMALNEJ WARTOŚCI SKŁADOWEJ
NORMALNEJ PRĘDKOŚCI WIATRU

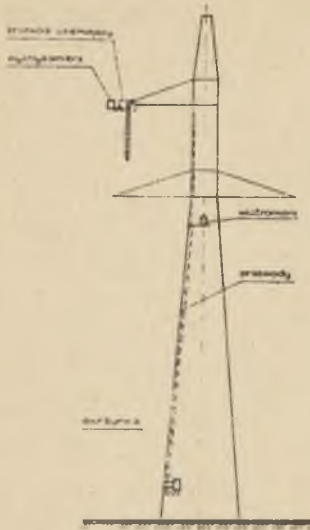
Streszczenie. W artykule przedstawiono budowę prototypowego przyrządu do pomiaru maksymalnej wartości składowej normalnej prędkości wiatru. Stosując metody dynamiki statystycznej rozpatrzono wpływ właściwości dynamicznych przyrządu na wartość rejestrowanej prędkości.

1. Wstęp

Potrzeba konstrukcji prostego przyrządu do pomiaru i zapamiętywania maksymalnej wartości składowej normalnej prędkości wiatru wynika z związków z planowanymi badaniami rzeczywistych obciążeń wiatrowych przewodów linii elektroenergetycznych o napięciu od 110 kV wzwyż. Badania, prowadzone przez Biuro Studiów i Projektów Energetycznych "Energoprojekt" w Krakowie, mają objąć kilkadziesiąt linii rozmieszczonych w różnych rejonach kraju. Na pojedynczym stanowisku pomiarowym, zamontowanym na słupie przelotowym danej linii (rys. 1), mierzony będzie maksymalny - za pewien okres czasu (od tygodnia do miesiąca) - kąt wychyłu łańcucha izolatorowego przelotowego oraz składowa normalna (w stosunku do osi linii) prędkość wiatru.

Na podstawie powyższych wielkości można m.in. określić wpływ właściwości dynamicznych przewodu oraz rozkładu prędkości wiatru wzdłuż przęsła linii na wypadkowe obciążenie słupa przez przewody linii, co ma bardzo istotne znaczenie w projektowaniu słupów.

W związku ze specyficznymi warunkami pomiarów oraz dążeniem do maksymalnego obniżenia kosztu przyrządów, wykonywanych w wielu egzemplarzach, przy ich konstruowaniu przyjęto następujące główne zasady: praca przyrządu bez zasilania, możliwość dokonywania odczytu i kasowania bez wyłącza-



Rys. 1. Sposób zamocowania przyrządów na słupie

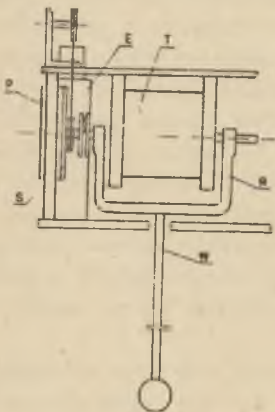
nia linii i wchodzenia na szkup oraz odporność na działanie różnorodnych czynników atmosferycznych. Prototypy obu przyrządów wykonano w Instytucie Metrologii elektrycznej i Elektronicznej, przy konsultacji pracowników Instytutu Elektroenergetyki i Sterowania Układów. Przyrząd do pomiaru prędkości wiatru został zbadany i wyskalowany w tunelu aerodynamicznym Zakładu Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie. Obecnie oba przyrządy przechodzą badania w warunkach naturalnych, prowadzone przez BSiPE "Energoprojekt" w Krakowie.

Badania obciążeń wiatrowych były wykonywane w kraju po raz pierwszy w latach 1958-62 [3]. Istotnym nowym elementem planowanych badań jest pomiar prędkości wiatru bezpośrednio na słupie linii. W badaniach z lat 1958-62 wykorzystywano wyniki pomiarów prędkości wiatru na najbliższych położonych stacjach metrologicznych.

W artykule przeanalizowano wpływ właściwości dynamicznych prototypowego przyrządu do pomiaru składowej normalnej względem linii prędkości wiatru na wartość rejestrowanej prędkości.

2. Opis konstrukcji przyrządu

Na skutek siły parcia wiatru następuje wychylenie kuli zawieszanej na wahadle W od pionu o kąt α . Wychylenie wahadła W , które jest połączone z osią tłumika ramieniem R , przenoszone jest przez sprzęgło S na potencjometry pomiarowe P -prawy lub lewy w zależności od kierunku wiatru (rys. 2).



Rys. 2. Schemat przyrządu do pomiaru prędkości wiatru

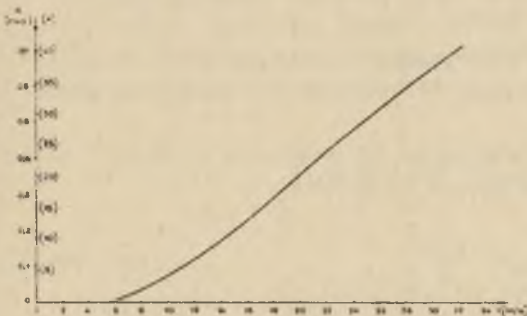
Przyrząd pracuje bez stałego zasilania dzięki zastosowaniu potencjometrycznych elementów biernych, na których są zapamiętywane maksymalne wartości składowej normalnej prędkości wiatru w postaci określonej wartości rezystancji. Po interesującym użytkownika okresie czasu można przy pomocy zewnętrznego przyrządu pomierzyć wartości rezystancji z obu potencjometrów.

Kasowanie wskazania potencjometrów odbywa się na zasadzie wciągania przez cewkę elektromagnesu E metalowego rdzenia zawieszzonego na osi potencjometru.

Tłumik powietrzny T służy do wytłumienia drgań mechanicznych przyrządu.

3. Charakterystyka statyczna i dynamiczna przyrządu

Przyrząd do pomiaru wartości maksymalnej składowej normalnej prędkości wiatru poddano próbom doświadczalnym w tunelu aerodynamicznym. Pomierzono charakterystykę statyczną i dynamiczną przyrządu. Na rysunku 3 przedstawiono charakterystykę statyczną jako kąt α wychylenia wahadła w funkcji prędkości wiatru, a w tabelicy 1 - lokalny współczynnik wzmocnienia statycznego k w określonych punktach prędkości V . Współczynnik k definiuje się jako:



$$k = \frac{d\alpha}{dV} \quad (1)$$

Rys. 3. Wykres charakterystyki statycznej przyrządu

Tablica 1

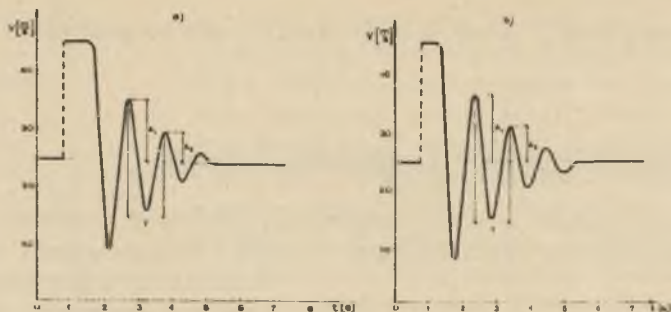
V [m/s]	10	15	20	25	30
k [rad/m/s]	0,0122	0,0131	0,0131	0,0131	0,0131
[°/m/s]	(0,7)	(0,75)	(0,75)	(0,75)	(0,75)

Na rysunku 4 przedstawiono zarejestrowaną odpowiedź przyrządu na skok jednostkowy prędkości wiatru. Pomiary wykonano dla przyrządu z tłumikiem powietrzny i olejowym. Z rysunku 4 wynika, że przyrząd wykazuje własności dynamiczne elementu drugiego rzędu periodycznego, którego transmitancja operatorowa ma postać [2]:

$$G(p) = \frac{\alpha(p)}{V(p)} = k \frac{\omega_0^2}{p^2 + 2pb + \omega_0^2} \quad (2)$$

przy czym:

- k - współczynnik wzmocnienia statycznego,
- ω_0 - pulsacja drgań swobodnych,
- b - współczynnik tłumienia.



Rys. 4. Odpowiedź na skok jednostkowy prędkości:

a) przyrząd z tłumikiem powietrznym, b) przyrząd z tłumikiem olejowym

Parametry charakterystyczne określające jednoznacznie dynamikę przyrządu, ω_0 i b , można wyznaczyć z rys. 4 wg wzorów:

$$\omega_0 \cong \frac{2\pi}{T}, \quad (3)$$

$$b = \frac{1}{T\omega_0} \ln \frac{A_1}{A_2}, \quad (4)$$

przy czym:

T - okres drgań swobodnych,

A_1, A_2 - kolejne amplitudy drgań swobodnych.

Z rysunku 4a dla przyrządu z tłumikiem powietrznym oraz z rys. 4b dla przyrządu z tłumikiem olejowym obliczono parametry ω_0 i b . Wynoszą one:

a) dla przyrządu z tłumikiem powietrznym:

$$\omega_0 = 5,764 \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

$$b = 0,110,$$

b) dla przyrządów z tłumikiem olejowym:

$$\omega_0 = 5,560 \frac{\text{rad}}{\text{s}},$$

$$b = 0,095.$$

Z obliczeń wynika, że lepszym tłumieniem charakteryzuje się przyrząd z tłumikiem powietrznym. Biorąc pod uwagę obliczenia i względy konstrukcyjne (odpada problem oleju) w ostatecznej formie zrealizowano przyrząd z tłumikiem powietrznym.

4. Wpływ właściwości dynamicznych przyrządu na wartość rejestrowanej prędkości

W celu właściwej interpretacji wyników pomiarów konieczne jest określenie wpływu właściwości dynamicznych przyrządu na wartość rejestrowanej maksymalnej prędkości wiatru. Zagadnienie to rozpatrzono metodami dynamiki statystycznej zakładając, że prędkość wiatru w ograniczonym przedziale czasowym stanowi stacjonarny normalny proces stochastyczny $V(t)$.

Funkcja gęstości widmowej $S_V(\omega)$ scentralizowanego procesu $v(t) = V(t) - \bar{V}$, gdzie \bar{V} jest prędkością średnią wiatru w danym przedziale czasowym, była badana wielokrotnie, przy czym powszechną akceptację uzyskała zależność wyznaczona przez A.G. Davenporta [1]:

$$S_V(\omega) = 4 K \bar{V}_{10}^2 \frac{x^2}{(1+x^2)^{4/3}}, \quad (5)$$

przy czym:

\bar{V}_{10} - prędkość średnia wiatru na wysokości 10 m nad poziomem terenu, w m/s,

K - tzw. współczynnik tarcia zależny od pokrycia terenu, przyjmujący wartości od 0,003 (płaskie niezalesione tereny nadmorskie) do 0,050 (tereny gęsto pokryte wysokimi obiektami, np. centra dużych miast),

x - zmienna standaryzowana określona jako:

$$x = \frac{600\omega}{\pi \bar{V}_{10}}.$$

Maksymalna wartość chwilowa prędkości wiatru w danym przedziale czasowym może być wyznaczona z zależności:

$$V_{\max} = \bar{V} + v_{\max}, \quad (6)$$

przy czym v_{\max} jest wielkością zależną od funkcji $S_V(\omega)$ oraz długości rozpatrywanego przedziału czasowego T . Pewną komplikację stwarza tutaj fakt, że v_{\max} stanowi zmienną losową, jednak o niezbyt dużym rozrzucie [4]. Dla tego w przybliżeniu jako wartość v_{\max} można do zależności (6) podstawiać wartość oczekiwaną $E(v_{\max})$, która jest określona następująco:

$$E(v_{\max}) = \bar{v}_{\max} + v'_{\max}, \quad (7)$$

przy czym:

$$\dot{v}_{\max} = \sigma_v \sqrt{2 \ln \frac{T}{T_e}}, \quad v_{\max} = \sqrt{2\pi} \sigma_v \frac{T}{T_e} \left[\frac{1}{2} - \phi(t) \right],$$

gdzie:

$T_e = 2\pi \frac{\sigma_v}{\sigma_{\dot{v}}}$ - okres efektywny, równy podwójnej wartości przeciętnego odstępu czasu między kolejnymi przejściami scentralizowanego procesu $v(t)$ przez zero,

$$\sigma_v = \sqrt{\int_0^{\infty} S_v(\omega) d\omega} \quad - \text{odchylenie standardowe procesu } v(t),$$

$$\sigma_{\dot{v}} = \sqrt{\int_0^{\infty} \omega^2 S_v(\omega) d\omega} \quad - \text{odchylenie standardowe procesu } \dot{v}(t) = \frac{dv}{dt},$$

$$\phi(t) \text{ - funkcja Laplace'a } (\phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{z^2}{2}} dz) \text{ dla } t = \frac{\dot{v}_{\max}}{\sigma_{\dot{v}}}.$$

Maksymalna wartość chwilowa prędkości wiatru $v_{p\max}$, rejestrowana przez omawiany przyrząd, może odbiegać od wartości rzeczywistej z uwagi na fakt, że przyrząd jest elementem dynamicznym drugiego rzędu. Przy założeniu przybliżonej liniowości charakterystyki statycznej $\alpha = f(v)$ w otoczeniu punktu odpowiadającego średniej prędkości \bar{v} funkcja gęstości widmowej scentralizowanego kąta wychylenia wahadła przyrządu jest określona zależnością:

$$S_x(\omega) = S_v(\omega) |G(j\omega)|^2, \quad (8)$$

gdzie: $G(j\omega)$ jest transmitancją widmową przyrządu, określoną wzorem (2) (dla $s = j\omega$). Pomijając w wyrażeniu na $G(j\omega)$ współczynnik wzmocnienia k z zależności (8) otrzymuje się bezpośrednio funkcję gęstości widmowej scentralizowanej prędkości $v_p(t)$ mierzonej przez przyrząd. Sposób wyznaczenia prędkości $v_{p\max}$ jest oczywiście identyczny jak prędkości v_{\max} .

Podstawę do porównań dla prędkości rejestrowanej przez omawiany przyrząd może stanowić prędkość wiatru mierzona aparaturą stosowaną na krajowych stacjach meteorologicznych. Aparatura ta mierzy tzw. prędkości w porowach, z czasem uśrednienia ok. 2 s. Funkcja gęstości widmowej prędkości wiatru uśrednionej z czasem Δt jest określona następująco [4]:

$$S_{v_{\Delta t}}(\omega) = S_v(\omega) \left[\frac{2 \sin \omega \frac{\Delta t}{2}}{\omega \Delta t} \right]^2. \quad (9)$$

Na jej podstawie można znaleźć maksymalną wartość chwilową V_{stmax} prędkości wiatru uśrednionej z czasem Δt .

Tablica 2

Porównanie prognozowanych wskazań omawianego przyrządu z prędkościami wiatru w porywach, przy ustalonej prędkości średniej wiatru

Wersja przyrządu	$\bar{V} = 10 \text{ m/s}$			$\bar{V} = 15 \text{ m/s}$		
	V_{pmax}	V_{2smax}	$\frac{V_{pmax}}{V_{2smax}}$	V_{pmax}	V_{2smax}	$\frac{V_{pmax}}{V_{2smax}}$
Z tłumikiem powietrznym	20,7	18,2	1,14	31,5	27,1	1,16
Z tłumikiem olejowym	20,9		1,15	31,9		1,18

Porównanie wyników obliczeń V_{pmax} i V_{2smax} (tablica 2) wykonanych przedstawioną metodą wykazuje, że omawiany przyrząd ze względu na posiadane małe tłumienie powoduje kilkunastoprocentowe zawyżenie prędkości. W związku z tym wskazania przyrządu należy korygować, dzieląc je przez współczynnik V_{pmax}/V_{2smax} określony w tablicy 2.

5. Wnioski

Uogólniając przedstawione rozważania i wyniki analizy można stwierdzić, że:

1. W przypadku pomiaru wartości ekstremalnej wielkości stanowiącej proces stochastyczny istotne znaczenie mają właściwości dynamiczne przyrządu pomiarowego. Zachodzi to zwłaszcza wtedy, gdy pulsacja drgań swobodnych przyrządu leży w zakresie widma energetycznego badanego procesu.
2. Przedstawiona w p. 4 metoda pozwala określić wpływ właściwości dynamicznych dowolnego przyrządu na pomiar ekstremalnej wartości stacjonarnego i normalnego procesu stochastycznego.

LITERATURA

- [1] Davenport A.G.: Spectrum of horizontal gustiness near the ground in strong winds. Quart. J. R. met. Soc., vol. 87, april 1961.
- [2] Hagel R.: Miernictwo dynamiczne, WNT, Warszawa 1975.
- [3] Szymik F., Geppart A.: Wyniki badań obciążeń wiatrowych przewodów linii napowietrznych na terenie kraju. Energetyka 1962, nr 11/12.

- [4] Żmuda K.: Obciążenia wiatrowe elektroenergetycznych linii napowietrznych i ich wpływ na niezawodność konstrukcji wsporczych. Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów, Politechnika Śląska, Gliwice 1975 (praca doktorska).

ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
МАКСИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
СКОРОСТИ ВЕТРА

Резюме

В статье представляется конструкция первообразного прибора для измерения максимального значения нормальной составляющей скорости ветра. С применением методов статистической динамики рассматривается влияние динамических свойств прибора на регистрируемые значения скорости.

DYNAMIC PROPERTIES OF AN INSTRUMENT FOR MEASURING THE
MAXIMUM COMPONENT VALUE OF NORMAL WIND SPEED

Summary

A prototype instrument for measuring the maximum component value of normal wind speed has been presented in the paper. By the use of the dynamic statistical method the influence of dynamic properties of the instrument upon the registered speed value has been considered.