

Określanie liniowości przetworników pomiarowych

KD:621.317.6
IA:4.2

W artykule omówiono zagadnienie określania i wyznaczania nieliniowości charakterystyk przetwarzania przetworników pomiarowych. Przedstawiono zastosowanie metody graficznej i nieliniowej, przewidziane warunki i przypadki ich stosowalności. Artykuł zawiera wzory analityczne dla obliczania nieliniowości na podstawie wyników pomiarów laboratoryjnych.

W rozwiniętej obecnie technice pomiarowej, a szczególnie w technice pomiarów elektrycznych, jednym z coraz szerzej stosowanych elementów są przetworniki pomiarowe.

Przetwornikiem pomiarowym, w najszerszym pojęciu nazywa się element zamieniający mierzoną /wejściową/ wielkość fizyczną na wielkość elektryczną /wyjściową/, która można prosto i stosunkowo dokładnie mierzyć przy pomocy metod konwencjonalnych. Przetwornik można zwykle przedstawić w postaci czwórnik, dla którego parametry wielkości wyjściowej są znaną funkcją parametrów wielkości wejściowej. Funkcja /charakterystyka/ przetwarzania powinna być jednoznaczna, niezmienna w czasie oraz niezależna od zmian czynników zewnętrznych, nie będących przedmiotem pomiaru.

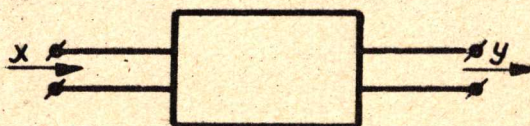
Spośród wielu możliwych postaci funkcji przetwarzania najkorzystniejsza jest ta, którą można zapisać przy pomocy równania pierwszego stopnia:

$$y = kx + b;$$

/1/

Taką charakterystykę nazywa się liniową.

Ze znajomości funkcji przetwarzania można praktycznie wyznaczyć wartość y dla wszystkich wartości x na drodze rachunkowej lub w sposób graficzny. Szczególnym przypadkiem metody graficznej jest sposób polegający na skalowaniu wskaźnika wielkości wyjściowej y w jednostkach wielkości wejściowej x . W przypadku charakterystyki liniowej przetwornika podziałka wskaźnika jest również liniowa. Podziałka liniowa ma szereg zalet, a między innymi:



Rys. 1.

- odznacza się prostotą wykonania, szczególnie ważną przy masowej produkcji,
- znacznie ułatwia skalowanie,
- pozwala na proste wyznaczenie wartości wielkości mierzonej,
- pozwala ocenić wartość mierzoną sąsiednimi kreskami podziałki.

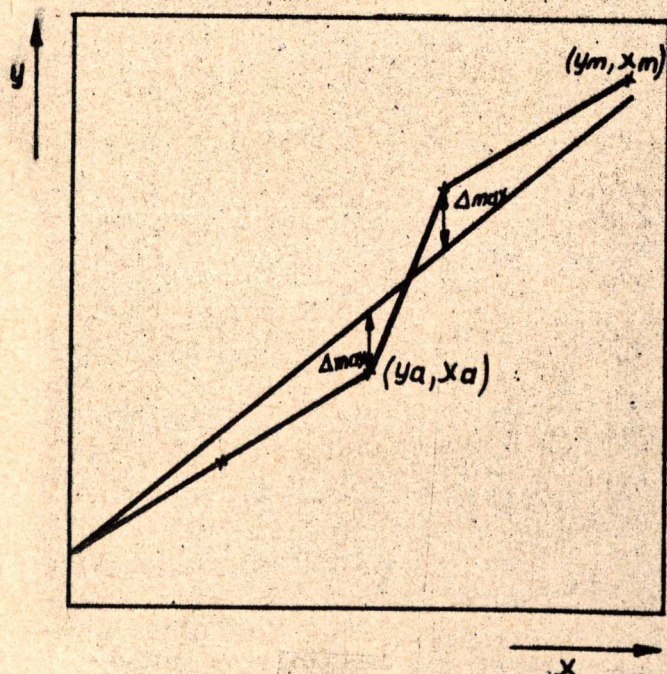
Czynniki te sprawiają, że charakterystyka liniowa jest rzeczywiście najkorzystniejszą formą funkcji przetwarzania. Na ogół w praktyce uzyskuje się funkcję

$$y = f/x/$$

tylko w przybliżeniu liniową.

Jako nieliniowość charakterystyki przyjmuje się maksymalne odchylenie od najkorzystniejszej z linii prostych, jakie można przeprowadzić pomiędzy rzeczywistymi punktami pomiarowymi y w funkcji x .

Za najkorzystniejszą linię prostą uważa się taką linię, w stosunku do której maksymalne odchylenie rzeczywistej charakterystyki jest najmniejsze. Nieliniowość można wyrazić jako różnicę rzędnych najkorzystniejszej linii prostej oraz rzeczywistej charakterystyki dla danego x /rys.2./. Nieliniowość wyraża się zwykle w procentach wartości maksymalnej $/l_1/$ lub wartości aktualnej $/l_2/$.



Rys.2

matu A4 daje to w efekcie niepewność wyniku w granicach 0,1 - 0,5% ze względu na skończoną wielkość naniesionych na wykresie punktów

Nieliniowość

$$l_1 = \frac{\Delta_{\max}}{y_m} \cdot 100\% / 2/$$

$$l_2 = \frac{\Delta_{\max}}{y_a} \cdot 100\% / 3/$$

Ponieważ zazwyczaj błąd odnoszony jest do wartości maksymalnej, najczęściej może być stosowany wzór /2/. W przypadkach, gdy na wyjściu łączy się wskaźnik wychyłowy bardziej celowe jest określenie nieliniowości l_1 ze wzoru /2/. Metoda graficzna określania liniowości charakterystyki wg rys.2 zapewnia rozdzielność rzędu 0,5 mm. Przy sporządzaniu wykresu na papierze milimetrowym for-

pomiarowych oraz ze względu na grubość linii wykresów. Sposób ten jest więc nieprzydatny przy określaniu liniowości przebiegów z tolerancją rzędu $\pm 0,5\%$ lub poniżej, ponieważ niepewność wyniku jest tego samego rzędu co spodziewany wynik.

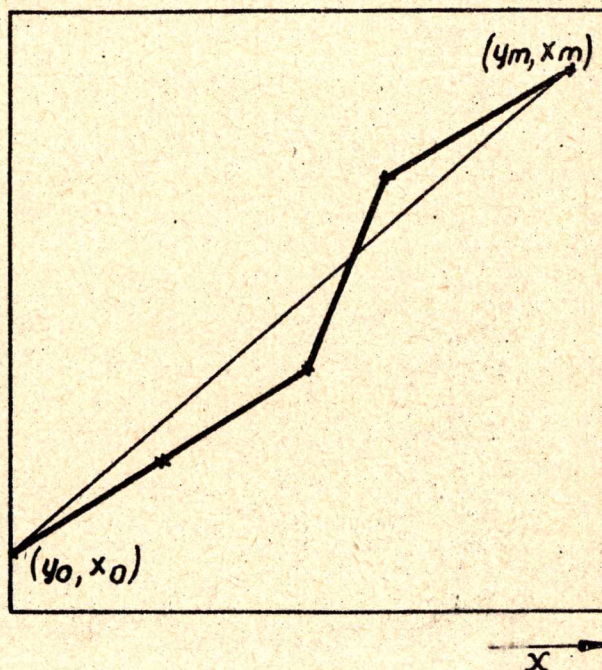
W tym przypadku nieliniowość można określić na drodze rachunkowej przy założeniu, że do pomiaru charakterystyki używa się przyrządów o odpowiedniej klasie dokładności. Ponieważ w oparciu o wyniki pomiarów nie można z góry określić najkorzystniejszej linii prostej, należy ją wyznaczyć metodą kolejnych przybliżeń. W pierwszej kolejności na podstawie wyników pomiarów oblicza się nieliniowość przebiegu w stosunku do linii prostej przechodzącej przez dowolnie wybrane punkty, np. o współrzędnych y_m, x_m i $y_0, 0$ wg rys. 3.

Równanie tej prostej ma postać:

$$y = \frac{y_m - y_0}{x_m} \cdot x + y_0 \quad /4/$$

Nieliniowość rzeczywistej charakterystyki w stosunku do tej prostej wyznacza się z zależności:

$$\begin{aligned} 1 &= \frac{y_n - y_n'}{y_m} = \frac{\frac{y_m - y_0}{x_m} \cdot x_n + y_0 - y_n'}{y_m} = \\ &= \frac{x_n}{x_m} /1 - \frac{y_0}{y_m} + \frac{1}{y_m} /y_0 - y_n'/ \end{aligned}$$



Rys. 3.

gdzie:

y_n - wartość y dla $x = x_n$ wyznaczona z równania /4/

y_n' - wartość mierzona y dla $x = x_n$

x_n - $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$

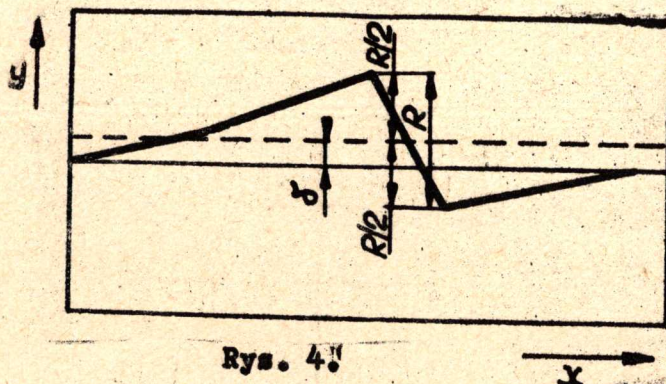
x_m - wartość x dla końca zakresu

y_m - wartość y dla $x = x_m$

Dla $y_0 = 0$, tzn. dla charakterystyki przebiegającej przez początek układu współrzędnych

$$1 = \frac{x_n}{x_m} - \frac{y_n'}{y_m} \quad /5/$$

Uzyskane wyniki stanowią dane wyjściowe dla wyznaczenia nielinowości w stosunku do najkorzystniejszej linii prostej. W tym celu wykreśla się zależność l w funkcji x /rys.4/. Maksymalny rozrzut wartości l oznaczono jako R .



Rys. 4.

Nieliniowość w stosunku do najkorzystniejszej linii prostej wyznacza się z zależności

$$l' = 1 - \delta$$

16/

W przypadku gdy chodzi o maksymalną nielinowość

$$l'_{\max} = \frac{R}{2}$$

Opisana metoda określania liniowości na drodze rachunkowej ma sens wówczas, jeżeli do pomiaru charakterystyki używa się przyrządów o dokładności co najmniej o rząd lepszej od tolerancji założonej dla badanego przyrządu. Konieczność stosowania przyrządów tej klasy wyjaśnia poniższy przykład.

Należy określić nielinowość charakterystyki przetwornika częstotliwości na napięcie stałe. Założona nielinowość wynosi $\pm 0,1\%$, wielkość wejściowa – częstotliwość f , wielkość wyjściowa – napięcie U . Charakterystyka przebiega przez początek układu, czyli nielinowość można obliczyć ze wzoru /5/.

$$l = \left/ \frac{f_n}{f_m} - \frac{U_n}{U_m} \right/ \cdot 100 \text{ \%/}$$

Ze względu na to, że wynik stanowi różnicę zbliżonych wartości, niepewność wyniku jest nieporównywalnie większa w stosunku do dokładności użytych przyrządów. Niepewność wyniku można określić przy pomocy różniczki zupełnej. Po przejściu na przyrosty skończone oraz przedstawieniu w jednostkach względnych otrzymuje się zależność:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta l}{l} = & \frac{\Delta f_n}{f_n} \cdot \frac{f_n}{f_m} \cdot \frac{1}{1} + \frac{\Delta f_m}{f_m} \cdot \frac{f_n}{f_m} \cdot \frac{1}{1} + \frac{\Delta U_n}{U_n} \cdot \frac{U_n}{U_m} \cdot \frac{1}{1} + \\ & + \frac{\Delta U_m}{U_m} \cdot \frac{U_n}{U_m} \cdot \frac{1}{1} \end{aligned}$$

Jeżeli

$$\frac{\Delta f_n}{f_n} = \frac{\Delta f_m}{f_m} = \frac{\Delta f}{f}$$

$$\frac{\Delta U_n}{U_n} = \frac{\Delta U_m}{U_m} = \frac{\Delta U}{U}$$

$$\frac{\Delta l}{l} = 2 \frac{\Delta f}{f} \frac{f_n}{f_m} \frac{1}{1} + 2 \frac{\Delta U}{U} \frac{U_n}{U_m} \frac{1}{1}$$

Dla

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta U}{U} = 10^{-5}$$

$$l = 0,1\% \quad \text{ i } \quad \frac{f_n}{f_m} = \frac{U_n}{U_m} = 0,5$$

Otrzymujemy stąd wynik

$$\frac{\Delta l}{l} \cdot 100 = 2\%$$

Dla

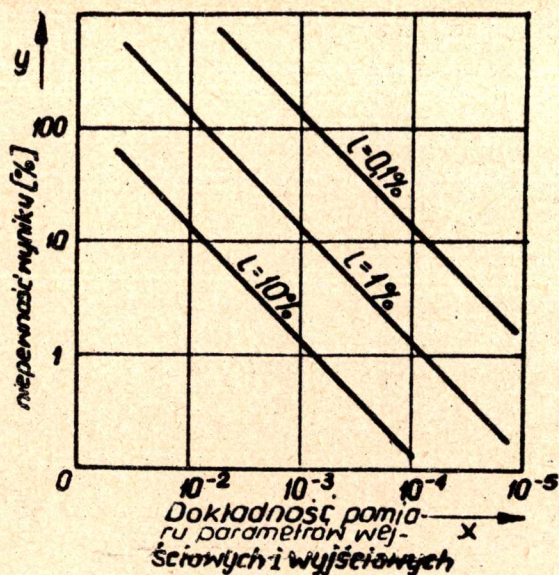
$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta U}{U} = 10^{-4}$$

$$\frac{\Delta l}{l} \cdot 100 = 20\%$$

Dla

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta U}{U} = 10^{-3}$$

$$\frac{\Delta l}{l} \cdot 100 = 200\%$$



Rys. 5.

Wynika stąd teza postawiona na początku, że dla skontrolowania nieliniowości rzędu $\pm a\%$ potrzeba przyrządów o dokładności $\frac{a}{10} \%$. Zależność niepewności wyniku od klasy przyrządów używanych do pomiaru charakterystyki przedstawiono na rys. 5. Liniowość przyjęto jako parametr.

W przypadku, gdy do pomiarów używa się przyrządów o różnej dokładności, o niepewności wyniku decyduje przyrząd o gorszej klasie.