

Maria BOJARSKA

Instytut Metrologii Elektrycznej i Elektronicznej  
Politechniki Śląskiej

#### PARAMETRY CHARAKTERYSTYCZNE PRZETWORNIKÓW POMIAROWYCH

Streszczenie. W artykule podano zależności pomiędzy parametrami charakteryzującymi właściwości dynamiczne przetwornika pomiarowego oraz zdefiniowano parametr nazwany czasem charakterystycznym przetwornika.

W celu scharakteryzowania właściwości dynamicznych przetwornika pomiarowego często określa się tylko pewne jego parametry charakterystyczne, rezygnując z podawania pełnych charakterystyk dynamicznych. Znajomość tych samych parametrów przetworników pomiarowych umożliwia porównanie ich właściwości dynamicznych. Ze względu na spotykane w praktyce określanie tych samych właściwości przetworników za pomocą różnych parametrów zachodzi konieczność wyznaczenia pomiędzy nimi zależności. Z przeprowadzonych w artykule rozważań wynika, że pomiędzy parametrami zdefiniowanymi w dziedzinie czasu i parametrami zdefiniowanymi w dziedzinie częstotliwości istnieją ścisłe związki. Dlatego też wystarcza podanie parametrów w jednej z tych dziedzin.

W dziedzinie czasu przetworniki opisuje się równaniami różniczkowymi, w których zmienną niezależną jest czas. W praktycznych zastosowaniach równania różniczkowe mają jednak tę wadę, że ich współczynniki są trudne do wyznaczenia eksperymentalnego. Charakterystyki czasowe przetworników otrzymuje się poprzez określenie odpowiedzi przetworników na pobudzenie sygnałami standardowymi, takimi jak np. skok jednostkowy, impuls jednostkowy i skok prędkości.

W dziedzinie częstotliwości właściwości przetworników pomiarowych przedstawia się w postaci charakterystyk częstotliwościowych (amplitudowej i fazowej), które otrzymuje się, pobudzając przetworniki wymuszeniami sinusoidalnie zmiennymi o różnych częstotliwościach. W ujęciu analitycznym charakterystyki te opisane są wyrażeniem matematycznym, w którym zmienną niezależną jest częstotliwość. Wyrażenie to nosi nazwę transmitancji widmowej przetwornika  $G(j\omega)$ .

Pomiędzy charakterystyką częstotliwościową i odpowiedzią impulsową przetwornika istnieją związki wyrażające się równaniami

$$G(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) e^{-j\omega t} dt, \quad (1)$$

$$g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} G(j\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (2)$$

przy czym

$G(j\omega)$  - transmitancja widmowa przetwornika,

$g(t)$  - odpowiedź przetwornika na pobudzenie impulsem jednostkowym - odpowiedź impulsowa.

Jak wynika ze wzoru (1) transmitancja widmowa przetwornika, czyli jego charakterystyka amplitudowo-fazowa, jest jednocześnie transformatą Fouriera odpowiedzi impulsowej przetwornika.

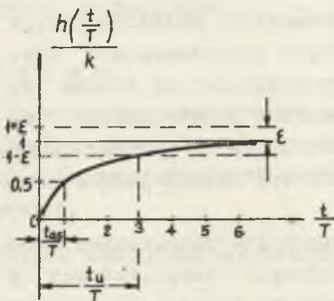
## 1. Parametry stosowane do określania właściwości dynamicznych przetworników pomiarowych

### 1.1. Przetworniki I rzędu

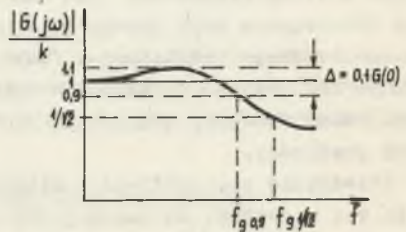
Istotne cechy przetwornika pomiarowego I rzędu określają parametry  $T$  i  $k$ , przy czym:

$T$  - stała czasowa,

$k$  - współczynnik wzmocnienia statycznego, czułość.



Rys. 1. Ilustracja czasu odpowiedzi przetwornika I rzędu



Rys. 2. Ilustracja definicji częstotliwości granicznej przetwornika

Oprócz nich wprowadza się również inne parametry charakteryzujące właściwości dynamiczne przetwornika w dziedzinie czasu, a mianowicie czas odpowiedzi i czas połówkowy.

Czas odpowiedzi  $t_u$  jest to czas, po upływie którego wartość wielkości

wyjściowej odpowiedzi skokowej różni się od wartości końcowej mniej niż o zadaną wartość  $\epsilon$  (rys. 1).

Czas połówkowy  $t_{0,5}$  jest to czas, po upływie którego odpowiedź skokowa osiąga po raz pierwszy połowę swej wartości ustalonej. Wyznaczono zależność między  $t_u$  i  $t_{0,5}$ , która ma postać

$$t_{0,5} = 0,6932 \frac{t_u}{-\ln \frac{\epsilon}{k}} \approx 0,7 \frac{t_u}{-\ln \frac{\epsilon}{k}} \quad (3)$$

W dziedzinie częstotliwości właściwości dynamiczne przetwornika, charakteryzuje najczęściej częstotliwość graniczna przetwornika. Określa się ją przeważnie na podstawie charakterystyki amplitudowej. Jest to częstotliwość, poniżej której wartości tej charakterystyki nie odchylają się od wartości przy  $f=0$  więcej niż o zadaną wartość  $\Delta$  (rys. 2). Najbardziej typowe wartości  $\Delta$  to  $[1-1/\sqrt{2}]G(0) \approx 0,3G(0)$  i  $0,1G(0)$ . Wartościom tym przyporządkowane są odpowiednio częstotliwości graniczne  $f_{g1/\sqrt{2}}$  i  $f_{g0,9}$ . Zachodzi zależność

$$f_{g0,9} = 0,485 f_{g1/\sqrt{2}} \quad (4)$$

1

$$f_{g1/\sqrt{2}} = \frac{1}{2\pi T} \quad (5)$$

Według pracy [5] związek między czasem odpowiedzi przy  $\epsilon = 4,3\%$  oraz częstotliwością graniczną  $f_{g1/\sqrt{2}}$  ma postać

$$t_u = \frac{1}{2\pi f_{g1/\sqrt{2}}} \quad (6)$$

Definiując dowolną pulsację graniczną  $\omega_{gA}$

$$\frac{|G(j\omega_{gA})|}{G(0)} = A$$

i obliczając

$$T = \frac{\sqrt{\frac{1}{A^2} - 1}}{2\pi f_{gA}} \quad (7)$$

wyznaczono ogólną postać zależności  $t_u$  od  $\omega_{gA}$

$$t_u = (-\ln \frac{\epsilon}{k}) \frac{\sqrt{\frac{1}{A^2} - 1}}{2\pi f_{gA}} \quad (8)$$

Jak wynika z (8) pomiędzy parametrami charakteryzującymi właściwości dynamiczne przetwornika I rzędu w dziedzinie czasu i w dziedzinie częstotliwości istnieje ścisła zależność funkcyjna. Dla określenia właściwości dynamicznych przetwornika za pomocą tych parametrów wystarcza więc znajomość jednego z nich.

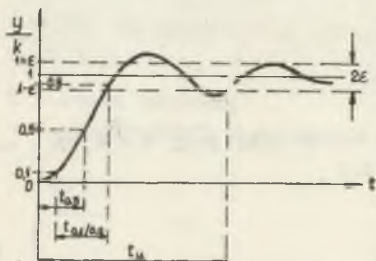
## 1.2. Przetworniki II rzędu

Parametrami określającymi istotne cechy przetworników II rzędu są:

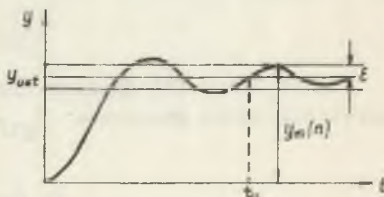
- $k$  - współczynnik wzmocnienia statycznego,
- $\xi$  - tłumienie względne,
- $\omega_0$  - pulsacja drgań swobodnych nietłumionych.

Definicja czasu odpowiedzi i czasu poławkowego dla przetworników II rzędu pozostaje taka sama jak dla przetworników I rzędu. Wielkości te można uzupełnić o czas narastania  $t_{0,1/0,9}$  - czas potrzebny do wzrostu odpowiedzi skokowej od wartości wynoszącej 10% do wartości 90% odpowiedzi ustalonej (rys. 3).

Wyznaczenie związku między parametrami charakteryzującymi właściwości dynamiczne przetworników II rzędu jest o wiele bardziej skomplikowane niż dla przetworników rzędu I. Dlatego też konieczne jest wprowadzenie pewnych przybliżeń.



Rys. 3. Niektóre parametry charakteryzujące odpowiedź skokową przetwornika II rzędu



Rys. 4. Wyznaczenie czasu odpowiedzi przetwornika II rzędu według definicji przybliżonej

Według pracy [4] celowe jest dokonanie następującego przybliżenia w definicji czasu odpowiedzi:

Czas odpowiedzi równy jest czasowi, dla którego funkcja  $h(t)$  przyjmuje wartość równą wartości końcowej przed  $n$ -tą wartością ekstremalną, począwszy od której wartości odpowiedzi skokowej  $h(t)$  różni się od wartości końcowej mniej niż o zadaną wartość  $\epsilon$  (rys. 4). Tak zdefiniowany czas odpowiedzi opisany jest równaniami [4]

dla  $0 \leq \xi < 1$

$$t_u = \frac{n\pi + (-\ln \frac{\epsilon}{k}) \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}}{2\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} - \frac{\arccos \xi}{\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} \quad (9a)$$

przy czym  $n \geq (-\ln \frac{\epsilon}{k}) \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \frac{1}{\pi}$  zaokrąglone do liczby całkowitej

dla  $\xi \geq 1,04$

$$t_u = -\frac{1}{\omega_0} e^{\lambda} \left[ \ln \left( 2 \frac{\epsilon}{k} \sinh \lambda \right) - \lambda \right] \quad (9b)$$

przy czym  $\lambda = \operatorname{arc} \cosh \xi$

Związek pomiędzy czasem odpowiedzi  $t_u$  a dowolną pulsacją graniczną  $\omega_{gA}$  wyznaczono, oznaczając jak dla przetworników I rzędu, stosunek

$$\frac{|G(j\omega)_{gA}|}{G(0)} = A$$

i obliczając

$$\xi = \frac{\sqrt{\frac{1}{A} - (1 - \nu_A^2)^2}}{2\nu_A} \quad (10)$$

przy czym  $\nu_A = \frac{\omega_{FA}}{\omega_0}$

Otrzymano następujące zależności

dla  $0 \leq \xi < 1$

$$t_u = \frac{\nu_A}{\omega_0} \left[ \frac{n\pi - 2\arccos \frac{\sqrt{\frac{1}{A} - (1 - \nu_A^2)^2}}{2\nu_A}}{\sqrt{(1 + \nu_A^2)^2 - \frac{1}{A}}} + \frac{(-\ln \frac{\epsilon}{k})}{\sqrt{\frac{1}{A} - (1 - \nu_A^2)^2}} \right] \quad (11a)$$

przy czym

$$n \geq (-\ln \frac{\epsilon}{k}) \sqrt{\frac{(1 + \nu_A^2)^2 - \frac{1}{A}}{\frac{1}{A} - (1 - \nu_A^2)^2}} \frac{1}{\pi} \text{ zaokrąglone do liczby całkowitej}$$

dla  $\xi \geq 1,04$

$$t_u = -\frac{1}{\omega_0} e^{\lambda_A} \left[ \ln \left( 2 \frac{\epsilon}{k} \sinh \lambda_A \right) - \lambda_A \right], \quad (11b)$$

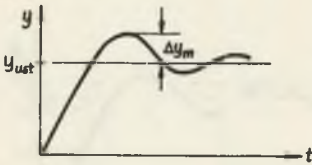
przy czym

$$\lambda_A = \operatorname{arc} \cosh \frac{\sqrt{\frac{1}{A} - (1 - \nu_A^2)^2}}{2\nu_A}$$

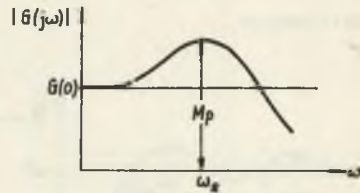
Równania (11a) i (11b) pozwalają na obliczenie czasu odpowiedzi przetwornika II rzędu, gdy znana jest dowolna pulsacja graniczna tego przetwornika. Wykorzystanie tych zależności jest celowe, gdyż praktyczne wyznaczenie pulsacji granicznej przetwornika (przede wszystkim przetworników wielkości elektrycznych i mechanicznych) jest z reguły łatwiejsze niż pomiar jego czasu odpowiedzi. Do wyznaczenia pulsacji granicznej wystarcza znajomość charakterystyki częstotliwościowej amplitudowej przetwornika  $|G(j\omega)|$ . Natomiast w celu określenia czasu odpowiedzi należy podać na wejście przetwornika wymuszenie skokowe i zarejestrować odpowiedź. W praktycznych pomiarach powstają tu często trudności w ocenie wyników spowodowane wprowadzaniem zniekształceń przez same rejestratory oraz rozbieżnością pomiędzy teoretycznym przebiegiem funkcji skokowej a jej praktycznym odpowiednikiem.

Dla przetwornika słabo tłumionego  $\zeta < 0,7$  można określić jeszcze jeden parametr charakterystyczny przetwornika w dziedzinie czasu, a w mianownicie przelot  $\Delta y_m$  (rys. 5).

W dziedzinie częstotliwości odpowiednikiem przelotu jest szczyt rezonansowy  $M_p$  (rys. 6).



Rys. 5. Ilustracja pojęcia przelotu



Rys. 6. Ilustracja szczytu rezonansowego

Równania wiążące te wielkości z tłumieniem przetwornika  $\zeta$  są następujące:

$$\Delta y_m = k \exp\left(-\frac{\pi \zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right), \quad (12)$$

$$M_p = G(\omega_R) = \frac{k}{2\zeta\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (13)$$

przy czym

$$\omega_R = \omega_0 \sqrt{1-2\zeta^2}$$

Zależności pomiędzy przelotem a szczytem rezonansowym mają postać

$$M_p = k \frac{(\pi + \ln \frac{k}{\Delta y_m})^2}{2\pi \ln \frac{k}{\Delta y_m}} - 1 \quad (14)$$

$$\Delta y_m = k \exp \left[ -\pi \left( Q_p - \sqrt{Q_p^2 - 1} \right) \right] \quad (15)$$

Wyznaczono również związek przelotu z dowolną częstotliwością graniczną

$$\Delta y_m = k \exp \left[ -\pi \sqrt{\frac{\frac{1}{A} - (1 - \varphi_A^2)^2}{(1 + \varphi_A^2)^2 - \frac{1}{A}}} \right] \quad (16)$$

Z podanych zależności wynika, że znajomość dowolnej pulsacji granicznej, pulsacji drgań swobodnych i czułości przetwornika oscylacyjnego II rzędu pozwala na obliczenie następujących parametrów charakterystycznych tego przetwornika:

- tłumienia względnego ze wzoru (10),
- czasu odpowiedzi ze wzoru (11a),
- przelotu ze wzoru (16),
- .. szczytu rezonansowego ze wzoru (14).

## 2. Czas charakterystyczny przetwornika pomiarowego

Do sygnałów standardowych, za pomocą których najczęściej przeprowadza się badania przetworników w ujęciu czasowym, oprócz skoku jednostkowego należą:

- skok prędkości  $x(t) = ct_1(t)$ ,
- impuls jednostkowy  $x(t) = \delta(t)$

Czas odpowiedzi określa reakcję przetwornika tylko na pobudzenie skokiem jednostkowym. Wygodne więc byłoby wprowadzenie parametru, który charakteryzowałby właściwości dynamiczne przetworników w ujęciu czasowym także dla innych pobudeń standardowych.

W związku z tym wprowadzono i zdefiniowano parametr nazwany czasem charakterystycznym przetwornika pomiarowego.

Czas charakterystyczny przetwornika  $t_{ch}$  jest to czas, po upływie którego wartość składowej zanikającej błędu dynamicznego pojawiającego się w odpowiedzi przetwornika na dowolne pobudzenie standardowe osiąga wartość  $\varepsilon' \Delta y_{zm}$ . Przez  $\Delta y_{zm}$  oznaczono maksymalną wartość chwilową składowej zanikającej błędu dynamicznego.

Sygnałem błędem dynamicznym (krócej błędem dynamicznym) nazwano sygnał określony równaniem

$$\Delta y(t) = y(t) - y^*(t), \quad (17)$$

przy czym:

- $y(t)$  - sygnał na wyjściu przetwornika rzeczywistego,
- $y^*(t)$  - sygnał na wyjściu przetwornika niezniekształcającego.

## 2.1. Przetworniki I rzędu

W tabelicy 1 zestawiono kolejne etapy wyznaczania czasu charakterystycznego dla wymuszeń standardowych podanych na wejście przetwornika I rzędu.

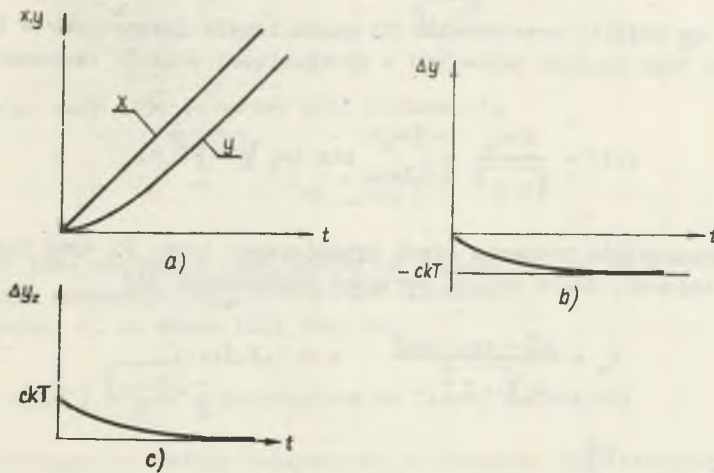
Tabela 1

| Pobudzenie standardowe $x(t)$       | Czasowe postać odpowiedzi przetwornika rzeczywistego I rzędu $y(t)$ | Sygnał błędem dynamicznym $\Delta y(t)$ | Składowa zanikająca błędem dynamicznym $\Delta y(t)_z$ | Wartość maksymalna składowej zanikającej $\Delta y_{zm}$ | Czas charakterystyczny $t_{ch}$ |
|-------------------------------------|---|---|--|--|---------------------------------|
| $1(t)$                              | $k(1 - e^{-\frac{t}{T}})$   | $-ke^{-\frac{t}{T}}$                    | $-ke^{-\frac{t}{T}}$                                   | $-k$   | $(-\ln \epsilon')T$             |
| $ct1(t)$                            | $ck(t - T + Te^{-\frac{t}{T}})$                                     | $ckT(e^{\frac{t}{T}} - 1)$              | $ckTe^{-\frac{t}{T}}$                                  | $ckT$  | $(-\ln \epsilon')T$             |
| $\delta(t)$                         | $\frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}}$                                      | $\frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}}$          | $\frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}}$                         | $\frac{k}{T}$  | $(-\ln \epsilon')T$             |
| $\frac{1}{a} \quad 0 \leq t \leq a$ | $k \frac{1}{a} (1 - e^{-\frac{t}{T}})$                              |   |  |  |                                 |
| $\delta \quad t \geq a$             | $y(a) e^{-\frac{t-a}{T}}$   | $y(a) e^{\frac{t-a}{T}}$                | $y(a) e^{\frac{t-a}{T}}$                               | $y(a)$   | $(-\ln \epsilon')T + a$         |

Jako dodatkowe pobudzenie rozważono impuls rzeczywisty o skończonym czasie trwania, ponieważ realizacja funkcji impulsowej o nieskończone krótkim czasie trwania jest praktycznie niemożliwa. Jak widać z tabelicy, im krótszy jest czas trwania impulsu rzeczywistego, tym bardziej czas charakterystyczny wyznaczony dla tego pobudzenia zbliża się do czasu charakterystycznego dla pobudzenia impulsem jednostkowym idealnym.

Przebiegi odpowiedzi przetwornika, błędem dynamicznym i jego składowej zanikającej dla pobudzenia skokiem prędkości przedstawione są na rys. 7.





Rys. 7. Dla pobudzenia skokiem prędkości przetwornika I rzędu przebiegi:  
 a) odpowiedzi,  
 b) błędu dynamicznego,  
 c) składowej zanikającej błędu dynamicznego

Przeprowadzone rozważania można podsumować następująco:  
 czas charakterystyczny przetwornika I rzędu dla wszystkich pobudzeń standardowych określony jest jedną, wspólną zależnością

$$t_{ch} = (-\ln \epsilon') T \tag{18}$$

Związek tego czasu z dowolną częstotliwością graniczną przetwornika wyraża się równaniem

$$t_{ch} = (-\ln \epsilon') \frac{\sqrt{\frac{1}{\Lambda^2} - 1}}{2\pi f_g A} \tag{19}$$

## 2.2. Przetworniki oscylacyjne II rzędu

Dla przetworników II rzędu o tłumieniu względnym  $0 < \xi < 1$  konieczna jest modyfikacja definicji czasu charakterystycznego.

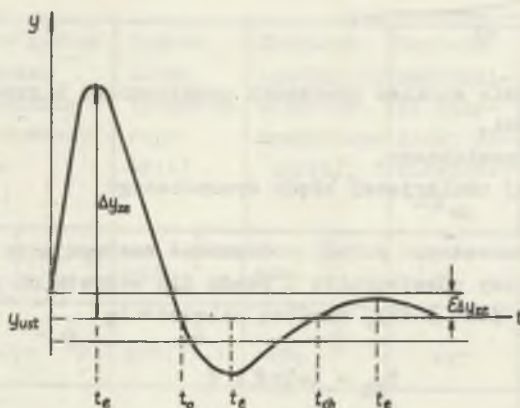
Czas charakterystyczny oscylacyjnego przetwornika II rzędu jest to czas, po upływie którego składowa zanikająca błędu dynamicznego, pojawiającego się w odpowiedzi przetwornika na dowolne pobudzenie standardowe przyjmuje wartość zerową przed n-tą wartością ekstremalną, począwszy od której wartości tej składowej zanikającej są mniejsze od  $\epsilon' \Delta y_{ze}$ . Przyjmuje się, że  $\Delta y_{ze}$  jest wartością pierwszego ekstremum składowej zanikającej błędu dynamicznego.

Podając na wejście przetwornika II rzędu impuls jednostkowy  $\delta(t)$  otrzymuje się na jego wyjściu odpowiedź o następującej postaci czasowej:

$$y(t) = \frac{k \omega_0}{\sqrt{1-\zeta^2}} e^{-\zeta \omega_0 t} \sin(\omega_0 \sqrt{1-\zeta^2} t) \quad (20)$$

Jest to równocześnie równanie błędu dynamicznego (rys. 8) oraz jego składowej zanikającej, która osiąga wartości ekstremalne dla

$$t_e = \frac{n\pi + \arccos \zeta}{\omega_0 \sqrt{1-\zeta^2}} \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (21)$$



Rys. 8. Wyznaczenie czasu charakterystycznego przetwornika II rzędu dla pobudzenia impulsem jednostkowym

przy czym pierwsze ekstremum ma wartość

$$\Delta y_{ze} = k \omega_0 \exp\left(-\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \arccos \zeta\right). \quad (22)$$

Składowa zanikająca błędu dynamicznego przyjmuje wartości zerowe, czyli wartość odpowiedzi przetwornika równa jest wartości końcowej, dla

$$t_0 = \frac{n\pi}{\omega_0 \sqrt{1-\zeta^2}} \quad (23)$$

wyliczając  $n\pi$  z warunku

$$\Delta y(t) = \pm \varepsilon' \Delta y_{ze}, \quad (24)$$

otrzymano

$$n\mathcal{N} = (-\ln \xi') \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \quad (25)$$

Wstawiając wzór (25) do wzoru (23) oblicza się

$$t_{ch} = \frac{(-\ln \xi')}{\omega_0 \xi} \quad (26)$$

Równanie (26) obarczone jest błędem ze względu na to, że  $n$  wyliczone ze wzoru (25) przyjmuje również wartości ułamkowe.

Wyznaczając  $n$  ze wzoru (25) tak, że

$$n > (-\ln \xi') \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi} \frac{1}{\frac{1}{2}} \text{ zaokrąglone do liczby całkowitej} \quad (27)$$

i podstawiając tę wartość każdorazowo do równania (23) otrzymuje się inną postać zależności dla obliczania czasu charakterystycznego. I ta metoda obarczona jest błędem wynikającym z przyjętego sposobu liczenia  $n$  (27). Tworząc średnią arytmetyczną z wyrażeń (26) (wynik nieco заниzony) i (23), przy uwzględnieniu wzoru (27) (wynik zawyżony), uzyskuje się rezultat najdokładniejszy, a więc:

$$t_{ch} = \frac{n\mathcal{N} + (-\ln \xi') \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}}{2\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} \quad (28)$$

przy czym dla  $n$  obowiązuje warunek (27).

Postępując jak dla impulsu jednostkowego, otrzymano następujące wyniki dla innych wymuszeń:

a) pobudzenie skokiem jednostkowym

$$t_{ch} = \frac{n\mathcal{N} + (-\ln \xi') \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}}{2\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} - \frac{\arccos \xi}{\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} \quad (29)$$

b) pobudzenie skokiem prędkości

$$t_{ch} = \frac{n\mathcal{N} + (-\ln \xi') \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}}{2\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} - 2 \frac{\arccos \xi}{\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} \quad (30)$$

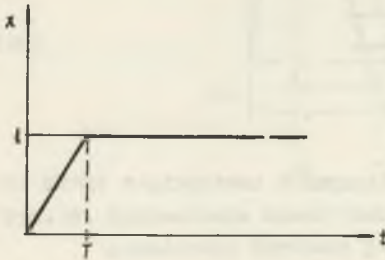
c) pobudzenie impulsem jednostkowym rzeczywistym o czasie trwania  $a$

$$t_{ch} = \frac{n\mathcal{N} + (-\ln \epsilon') \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}}{2\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} + \frac{-\arccos \xi + \arccotg \frac{\cos(\omega_0 \sqrt{1-\xi^2} a) - e^{-\xi \omega_0 a}}{\sin(\omega_0 \sqrt{1-\xi^2} a)}}{\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} \quad (31)$$

d) pobudzenie skokiem jednostkowym rzeczywistym (rys. 9) o stromości narastania  $1/T$

$$t_{ch} = \frac{n\mathcal{N} + (-\ln \epsilon') \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}}{2\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} - \frac{2\arccos \xi}{\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} + \frac{\arccotg \frac{\cos(\omega_0 \sqrt{1-\xi^2} T) - e^{-\xi \omega_0 T}}{\sin(\omega_0 \sqrt{1-\xi^2} T)}}{\omega_0 \sqrt{1-\xi^2}} \quad (32)$$

We wszystkich czterech przypadkach dla  $n$  obowiązuje warunek (27)



Rys. 9. Postać rzeczywistego skoku jednostkowego o stromości narastania  $1/T$

Równania wyrażające czas charakterystyczny przetwornika II rzędu mają różną postać. We wszystkich występuje jednak wspólny składnik, będący zależnością określającą czas charakterystyczny dla pobudzenia impulsem jednostkowym. Znając więc ten parametr,  $\xi$  i  $\omega_0$  przetwornika oraz parametry sygnału wejściowego (np. dla impulsu rzeczywistego jego czas trwania  $a$ ) można obliczyć czas charakterystyczny dla każdego z podanych wymuszeń.

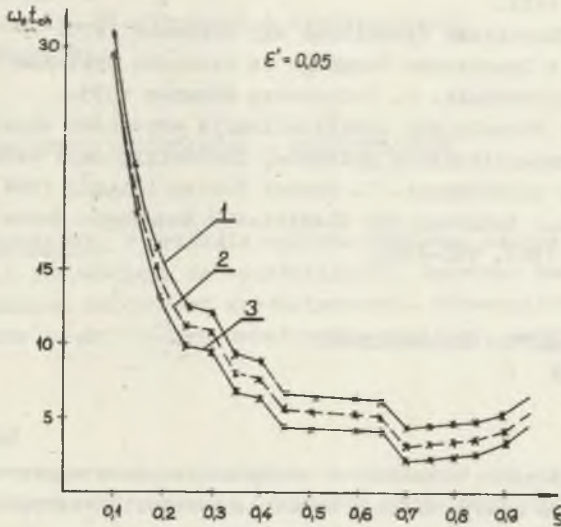
Także wyznaczenie związku między dowolną częstotliwością graniczną, a dowolnym czasem charakterystycznym jest możliwe, jeśli uwzględni się wzór (10):

Przykładowo dla pobudzenia impulsowego

$$t_{ch} = \frac{n\mathcal{N}}{\sqrt{(1+\nu_A^2)^2 - \frac{1}{\lambda}}} + \frac{(-\ln \epsilon')}{\sqrt{\frac{1}{\lambda} - (1-\nu_A^2)^2}} \quad (33)$$

Przebiegi zależności zredukowanego czasu charakterystycznego  $\omega_0 t_{ch}$  od tłumienia względnego przy  $0 \leq \xi < 1$  i  $\epsilon' = 0,05$  dla pobudzeń impulsem jedno-

stwowym, skokiem jednostkowym i skokiem prędkości wyznaczone według wzorów (28), (29) i (30) przedstawione są na rys. 10.



Rys. 10. Wykresy zależności zredukowanego czasu charakterystycznego przetwornika II rzędu od tłumienia względnego dla pobudzeń:

- 1 - impulsem jednostkowym;
- 2 - skokiem jednostkowym;
- 3 - skokiem prędkości

### 3. Podsumowanie

- 3.1. Wykazano, że zależności, które wiążą parametry charakteryzujące właściwości dynamiczne przetwornika pomiarowego w dziedzinie czasu i w dziedzinie częstotliwości można przedstawić w postaci analitycznej. Istnieje więc możliwość obliczania z wyznaczonych związków jednych parametrów na podstawie znajomości innych.
- 3.2. Zdefiniowano czas charakterystyczny przetwornika, który określa właściwości dynamiczne przetwornika dla różnych pobudzeń standardowych. Jest więc on parametrem bardziej uniwersalnym od czasu odpowiedzi opisującego reakcję przetwornika tylko na wymuszenie skokowe. Wyznaczono zależności pomiędzy czasem charakterystycznym i parametrami stosowanymi do określania właściwości dynamicznych przetwornika.

## LITERATURA

- [1] Fastowski I.A., Marker T.S.: Ustrojstwo dla izmierienija dynamiczeskich charakteristik magnitoelektriczeskich priborow, Izmieritielnaja tehnika 3/1974.
- [2] Hagel R.: Miernictwo dynamiczne WNT Warszawa 1975.
- [3] Kaufmann H.: Dynamische Vorgänge in linearen Systemen der Nachrichten und Regelungstechnik. R. Oldenbourg München 1959.
- [4] Popow I.N.: Formuły dla opriedielienija wriemieni uspokojenija inercjonnych izmeritielnych priborow, Izmieritielnaja tehnika 11/1966.
- [5] Woschni E.: Messdynamik. S. Hirzel Verlag Leipzig 1964.
- [6] Rohrbach Ch.: Handbuch für Elektrische Messungen Mechanischer Grössen Düsseldorf 1967, VDI-Verl.

ХАРАКТЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Р е з ю м е

В статье приводятся зависимости между параметрами характеризующими динамические свойства измерительного преобразователя. Вводится тоже параметр, называемый характерным временем преобразователя.

CHARACTERISTIC PARAMETERS OF MEASURING TRANSDUCERS

S u m m a r y

This article gives relations between parameters characterising dynamic properties of measuring transducers and a definition of a parameter called characteristic time of the measuring transducer.