

POMIARY WIELKOŚCI NIEELEKTRYCZNYCH

Dr inż. Eligiusz PAWŁOWSKI
Politechnika Lubelska
Wydział Elektrotechniki i Informatyki

Prezentacja do wykładu dla EMST

Semestr letni

Wykład nr 3



Prawo autorskie

Niniejsze materiały podlegają ochronie zgodnie z **Ustawą o prawie autorskim i prawach pokrewnych** (Dz.U. 1994 nr 24 poz. 83 z późniejszymi zmianami).

Materiał ten udostępniam **do celów dydaktycznych** jako materiały pomocnicze do wykładu z przedmiotu Pomiar Wielkości Nielektrycznych prowadzonego dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Mogą z nich również korzystać inne osoby zainteresowane tą tematyką. Do tego celu materiały te można **bez ograniczeń przeglądać, drukować i kopiować wyłącznie w całości**.

Wykorzystywanie tych materiałów bez zgody autora w inny sposób i do innych celów niż te, do których zostały udostępnione, **jest zabronione**.

W szczególności **niedopuszczalne jest**: usuwanie nazwiska autora, edytowanie treści, kopiowanie fragmentów i wykorzystywanie w całości lub w części do własnych publikacji.

Eligiusz Pawłowski

Uwagi dydaktyczne

Niniejsza prezentacja stanowi **tylko i wyłącznie materiały pomocnicze** do wykładu z przedmiotu Pomiary Wielkości Nielektrycznych prowadzonego dla studentów Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Lubelskiej. Udostępnienie studentom tej prezentacji nie zwalnia ich z konieczności sporządzania **własnych notatek z wykładów** ani też nie zastępuje **samodzielnego studiowania** obowiązujących podręczników.

Tym samym zawartość niniejszej prezentacji w szczególności **nie może być** traktowana jako zakres materiału obowiązujący na kolokwium.

Na kolokwium obowiązujący jest **zakres materiału faktycznie wyłożony podczas wykładu** oraz zawarty w odpowiadających mu fragmentach **podręczników** podanych w wykazie literatury do wykładu.

Eligiusz Pawłowski

Tematyka wykładu

Wymagania dynamiczne stawiane czujnikom

Przetworniki inercyjne pierwszego rzędu

Charakterystyki czasowe

Charakterystyki częstotliwościowe

Przetworniki oscylacyjne drugiego rzędu

Przetworniki inercyjne drugiego rzędu

Wymagania dynamiczne stawiane czujnikom

1. Szybkie osiągnięcie stanu ustalonego, krótki czas trwania stanu przejściowego
2. Płaska charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa, małe zniekształcenia amplitudowe
3. Liniowa charakterystyka fazowo-częstotliwościowa, małe zniekształcenia fazowe
4. Szerokie pasmo przenoszenia, wysoka częstotliwość graniczna
5. Małe błędy dynamiczne

Elementy określające dynamikę czujników

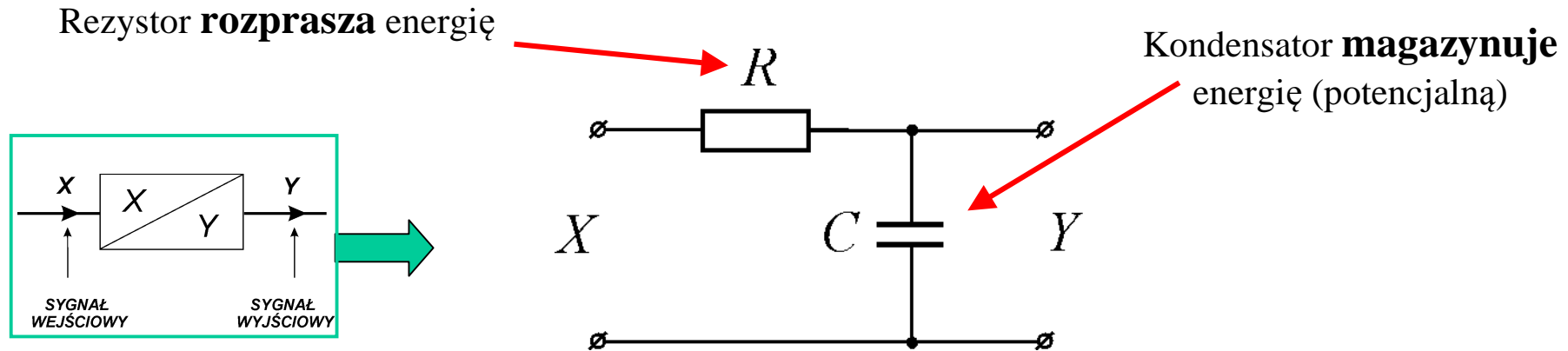
Właściwości dynamiczne czujników zależą od zachodzących w nim przemian energetycznych, o przebiegu których decydują trzy rodzaje elementów:

1. Elementy **rozpraszające energię** (dysypacyjne): rezystancja w obwodach elektrycznych, tarcie mechaniczne, lepkość płynów,
2. Elementy **akumulujące energię potencjalną** (w stanie statycznym): kondensatory, sprężyny, zbiorniki ciśnieniowe, masa w polu grawitacyjnym,
3. Elementy **akumulujące energię kinetyczną** (w stanie dynamicznym): cewki indukcyjne, masa znajdująca się w ruchu.

Przetwornik inercyjny pierwszego rzędu - ogólnie

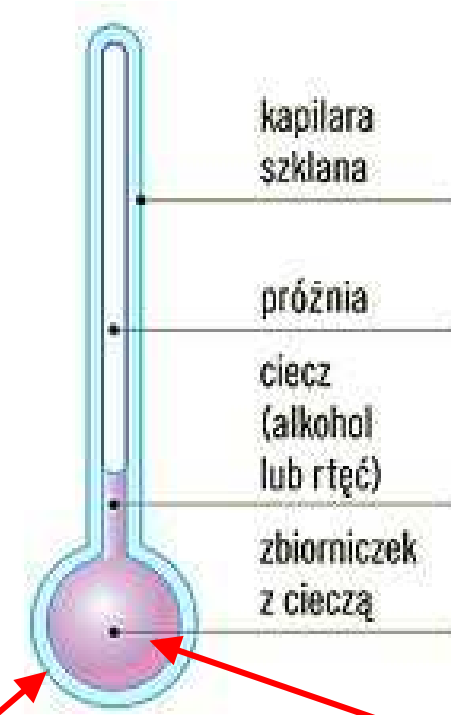
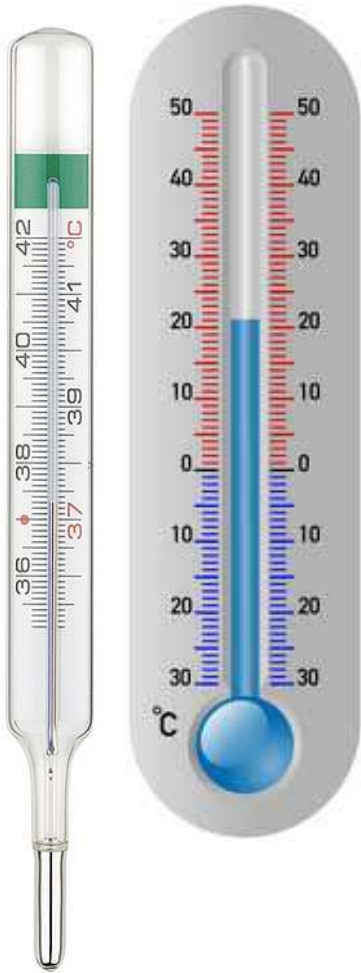
Przetwornik inercyjny pierwszego rzędu składa się z **dwóch** elementów:

1. Elementu **rozpraszającego energię**,
2. Elementu **akumulującego energię** (potencjalną lub kinetyczną).



Przykład przetwornika 1-rzędu, układ RC

Przetwornik inercyjny pierwszego rzędu - termometr

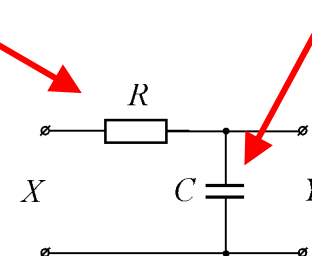


$$R_{th} = \frac{1}{S \cdot \alpha}$$

$$C_{th} = m \cdot c_p$$

Obudowa termometru charakteryzuje się pewną rezystancją termiczną R_{th} zależną od powierzchni S i współczynnika przejmowania ciepła α

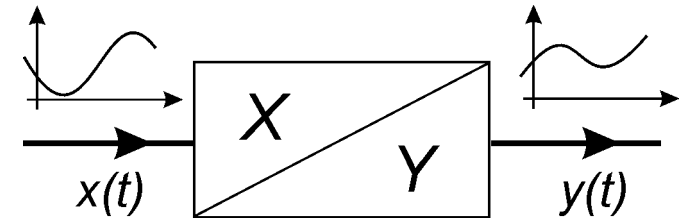
Ciecz termometryczna charakteryzuje się pewną pojemnością cieplną C_{th} zależną od masy m i ciepła właściwego c_p



Równanie różniczkowe opisujące stan dynamiczny

Ogólna postać równania różniczkowego opisującego stan dynamiczny przetwornika :

$$\sum_{i=0}^n A_i \frac{d^i y}{dt^i} = \sum_{j=0}^m B_j \frac{d^j x}{dt^j}$$



W układach rzeczywistych zawsze $n \geq m$

W stanie statycznym wszystkie pochodne są równe zero:

$$\forall_{i \geq 1} \frac{d^i y}{dt^i} = 0$$

$$\Rightarrow A_0 y = B_0 x$$

$$\Rightarrow y = \frac{B_0}{A_0} x$$

$$\forall_{j \geq 1} \frac{d^j x}{dt^j} = 0$$

Otrzymujemy równanie opisujące **stan statyczny** 9

Równanie przetwornika inercyjnego pierwszego rzędu

Ogólna postać równania różniczkowego pierwszego rzędu :

$$A_1 \frac{dy}{dt} + A_0 y(t) = B_0 x(t) \quad \leftarrow \text{Postać równania wygodna dla analizy matematycznej}$$

Dzielimy obustronnie przez A_0 i wprowadzamy oznaczenia:

Współczynnik przetwarzania statycznego k :

$$\frac{B_0}{A_0} = k$$

Stała czasowa T :

$$\frac{A_1}{A_0} = T$$

Postać równania posiadająca interpretację fizyczną

Po podstawieniu otrzymamy:

$$T \frac{dy}{dt} + y(t) = k x(t)$$

Stan statyczny przetwornika inercyjnego pierwszego rzędu

Równanie przetwarzania
w stanie dynamicznym:

$$T \frac{dy}{dt} + y(t) = k x(t)$$

W stanie statycznym pochodna
po czasie jest równa zero:

$$\frac{dy}{dt} = 0$$

Otrzymujemy równanie
opisujące **stan statyczny**:

$$y(t) = k x(t)$$

Współczynnik przetwarzania statycznego

Odpowiedź jednostkowa przetwornika pierwszego rzędu

Równanie przetwarzania
w stanie dynamicznym:

$$T \frac{dy}{dt} + y(t) = k x(t)$$

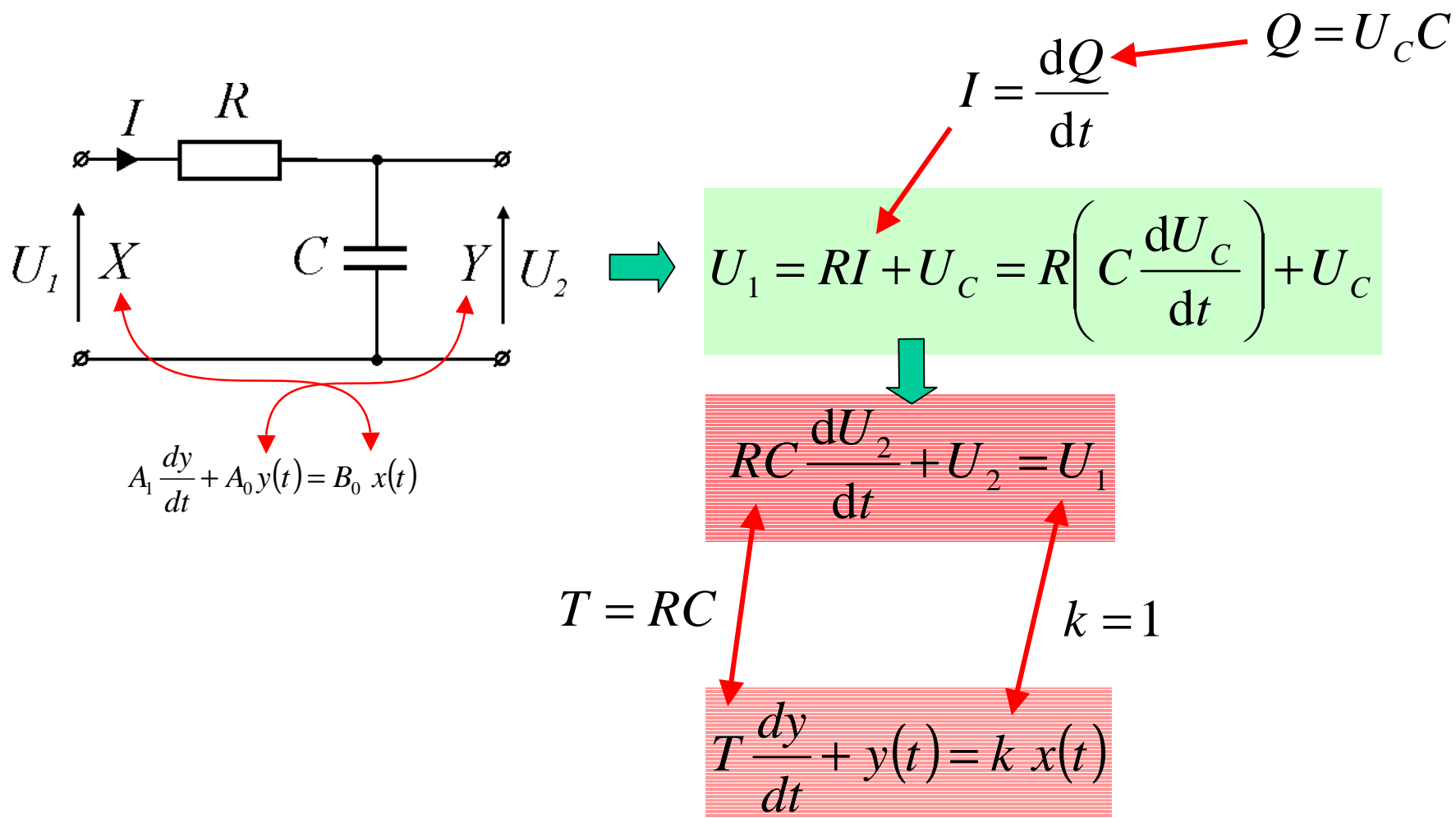
Sygnał wejściowy w postaci
skoku jednostkowego:

$$x(t) = 1(t)$$

Odpowiedź na skok
jednostkowy przetwornika
inercyjnego pierwszego rzędu:

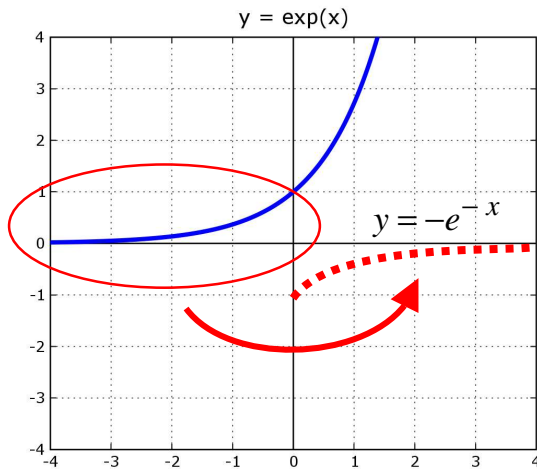
$$y(t) = k \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

Przetwornik inercyjny pierwszego rzędu – przykład RC

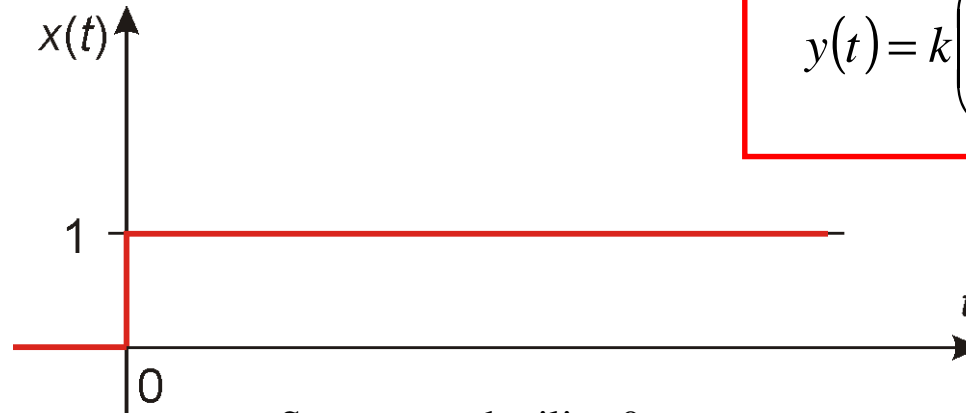


Przykład elektryczny przetwornika inercyjnego pierwszego rzędu

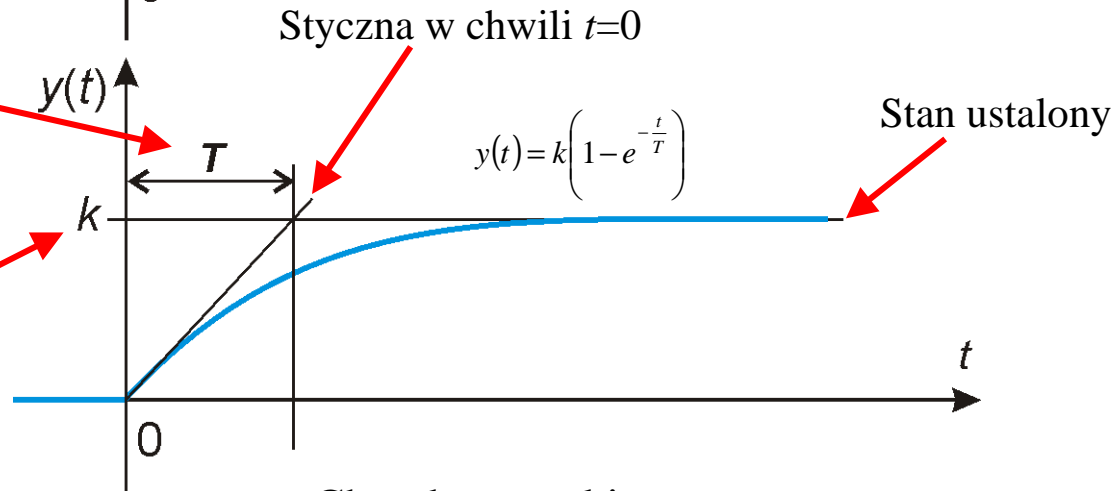
Przetwornik inercyjny pierwszego rzędu



$$y(t) = k \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$



Stała czasowa

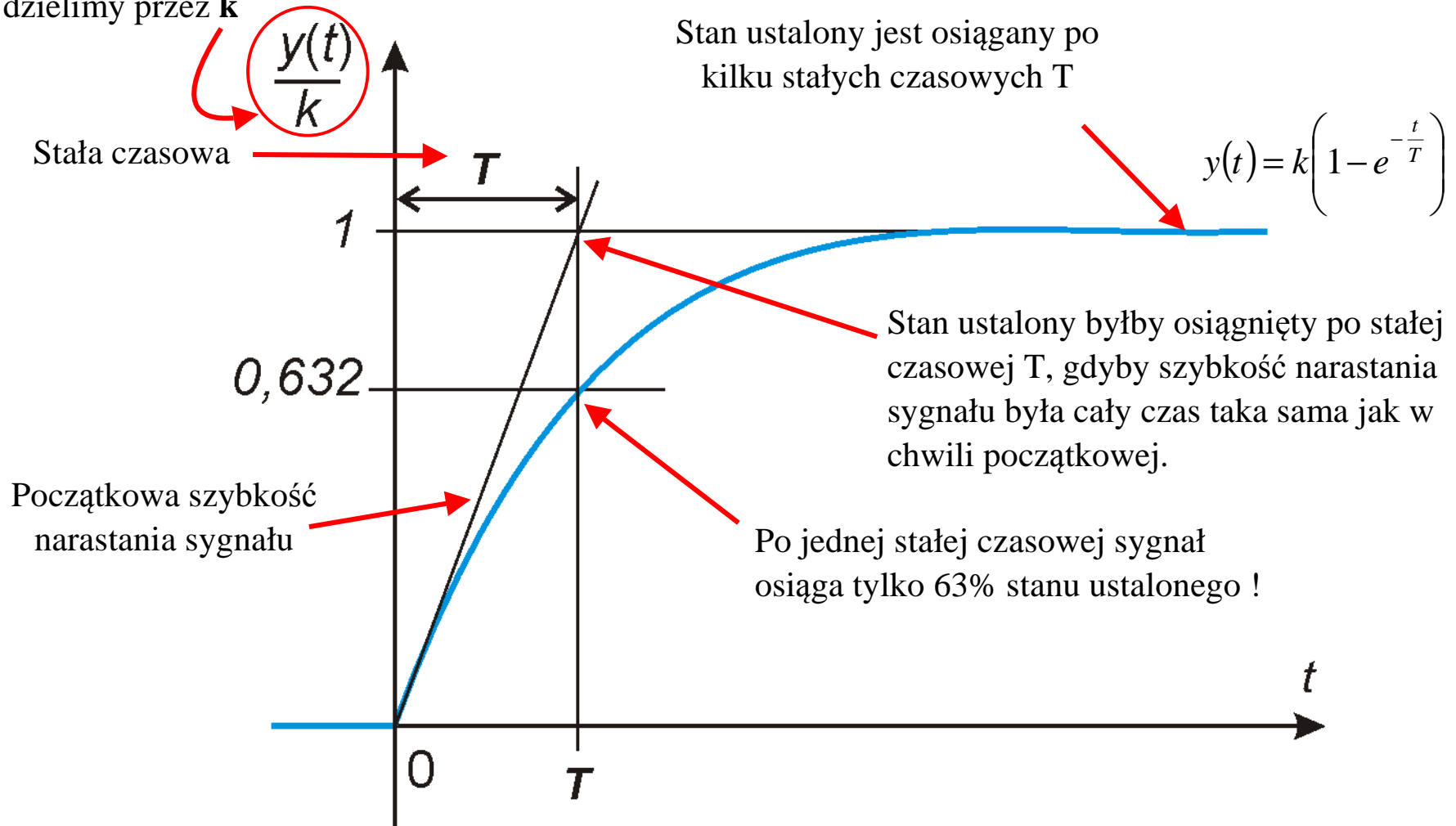


Współczynnik przetwarzania statycznego

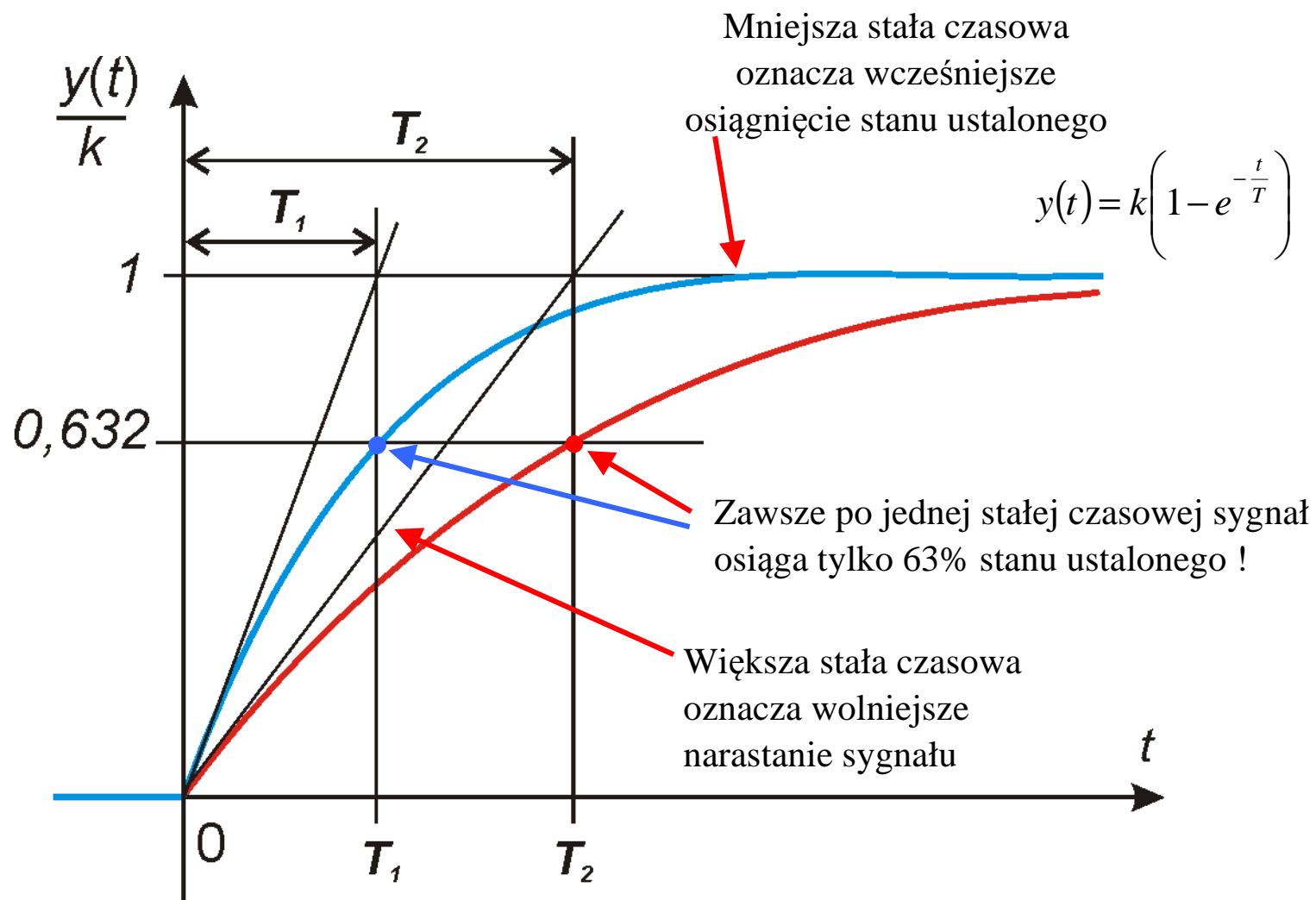
Charakterystyki czasowe, odpowiedź na skok jednostkowy

Stała czasowa przetwornika inercyjnego pierwszego rzędu

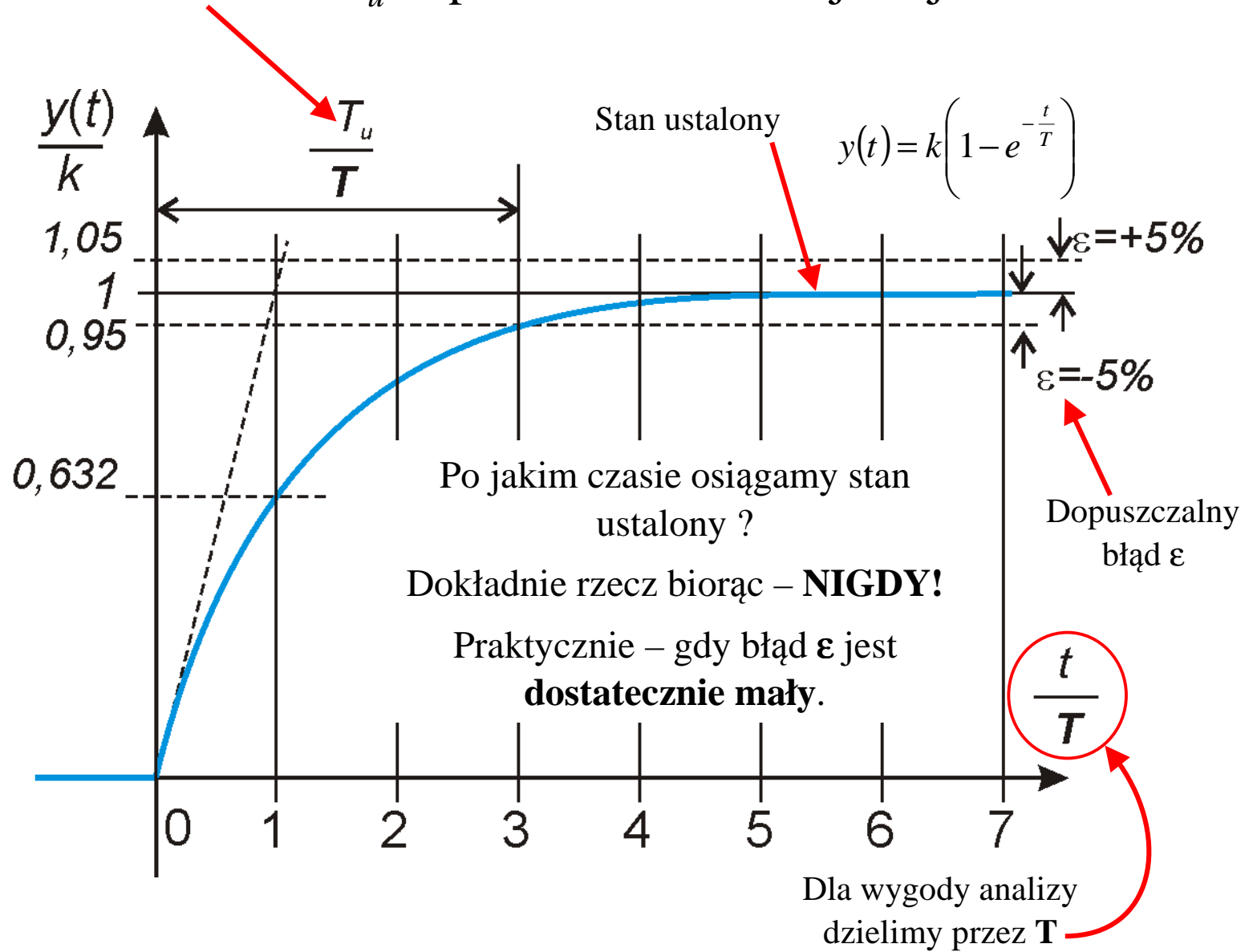
Dla wygody analizy
dzielimy przez k



Wpływ stałej czasowej na postać odpowiedzi skokowej



Czas ustalania T_u odpowiedzi skokowej czujnika



Czasy ustalania T_u odpowiedzi skokowej czujnika

Dopuszczalny błąd ε

Przeciętnie przyjmuje się stan ustalony po 3 ... 5 .. 7 stałych czasowych T (5% , 1% i 0,1% błęd)

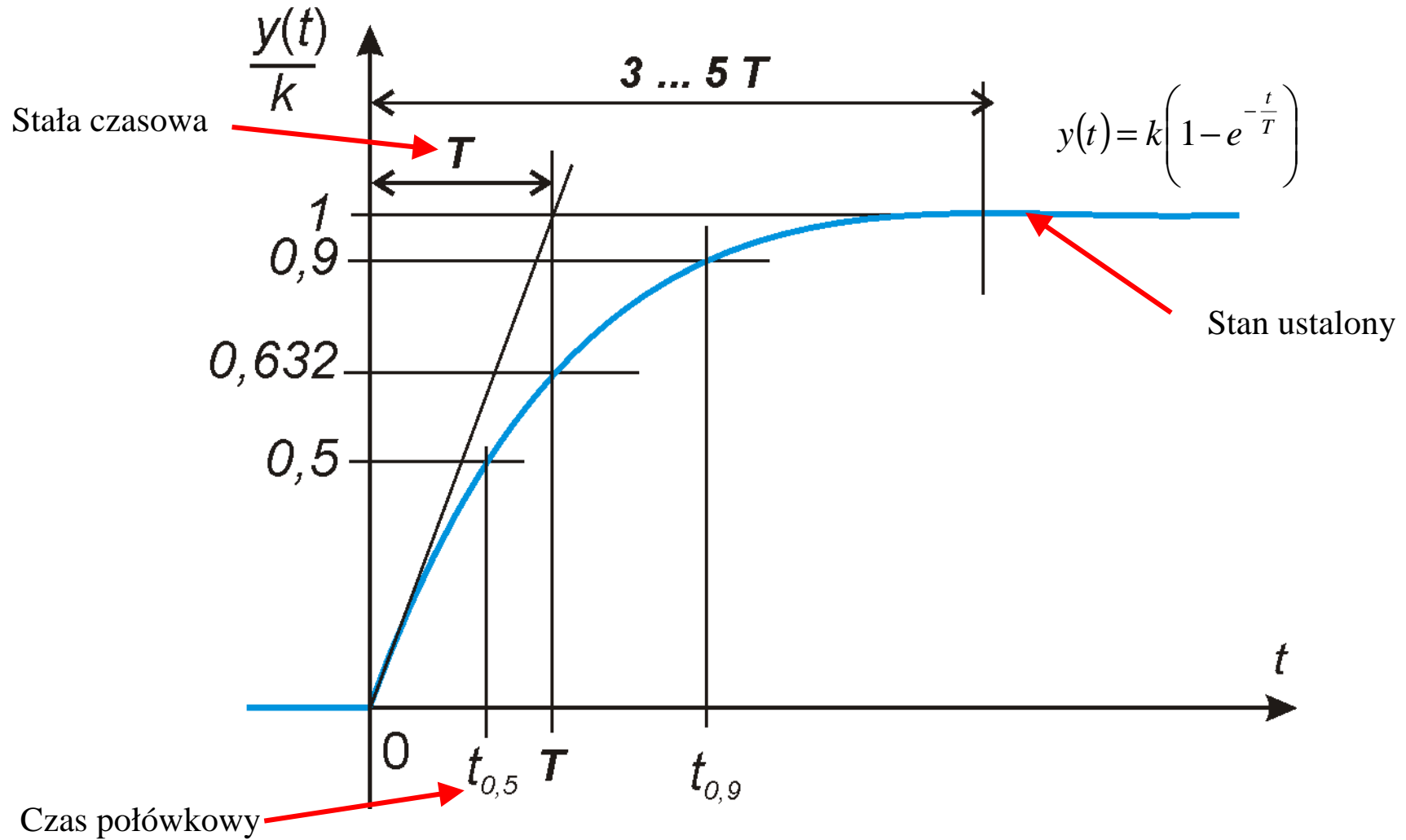
Wartości T_u i $T_{0,5}$ przetwornika pierwszego rzędu

ε [%]	36,8	5,0	2,5	1,8	1,5	1,0	0,5	0,2	0,1
Czas odpowiedzi T_u	T	$3T$	$3,7T$	$4T$	$4,2T$	$4,6T$	$5,3T$	$6,2T$	$6,9T$
Czas połówkowy $T_{0,5}$	0,693T								

Sprawdzić na rysunku stronę wcześniej

Producenci czujników często podają czas połówkowy $T_{0,5}$ (50% błęd)

Parametry czasowe odpowiedzi skokowej czujnika

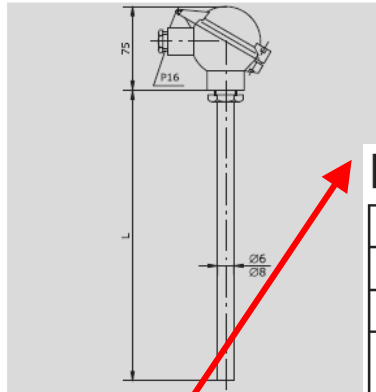


Przykład przetwornika inercyjnego pierwszego rzędu



CZUJNIK TEMPERATURY TT...I...

- Zakres pomiarowy: -200...600°C
- Element pomiarowy: J, K, inny
- Klasa dokładności: 1, 2
- Materiał osłony: 1H18N9T
- Stopień ochrony: IP65
- Wykonanie z przetwornikiem 4...20mA (AP-TT...I...)
- Wykonanie iskrobezpieczne EExialICT6 wg ATEX



Zasilanie	8...35VDC
Minimalny zakres temperatury	50°C
Dokładność przetwornika	wg danych przetwornika
Temperatura pracy przetwornika	-40...85°C

ZAMAWIANIE

Czujnik	<input type="checkbox"/> TT	<input type="checkbox"/> I	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> -	<input type="checkbox"/> -
Krotność czujnika						
Pojedynczy (bezozn.)	-					
Powojny	2					
Rodzaj termoelementu						
Fe-CuNi		J				
NiCr-Ni		K				
Średnica osłony zewnętrznej						
Ø6mm			6			
Ø8mm			8			
Rodzaj głowicy						
B			1			
NA - zamknięcie wkrętem			2			
NA - zamknięcie szybkie			3			
NS			4			
Rodzaj spłyny pomiarowej						
Odizolowana od osłony					O	
Odizolowana od osłony lecz zwarte między sobą					P	
Uziemiona					Z	
Długość montażowa L						
Wg danych technicznych [mm]						
Klasa dokładności						
Wg danych technicznych						
Wykonanie iskrobezpieczne						
Wykonanie EExialICT6						

PRZYKŁAD ZAMAWIANIA
 Czujnik termoelektryczny typu K, średnica osłony 6mm, głowica NA, spłyna pomiarowa odizolowana, długość L=525mm, klasa 2.
 Czujnik typu TTK162-O-525-KL2

W przypadku zamawiania czujnika z przetwornikiem, należy dopisać przed tytułem czujnika symbol AP i na końcu zakres temperatury oraz typ przetwornika (przetwornik ma być inny niż standardowy).

Czujnik typu AP-TTK162-O-525-KL20...600°C

Możliwość wykonania wersji niestandardowych po uzgodnieniu.

DANE TECHNICZNE

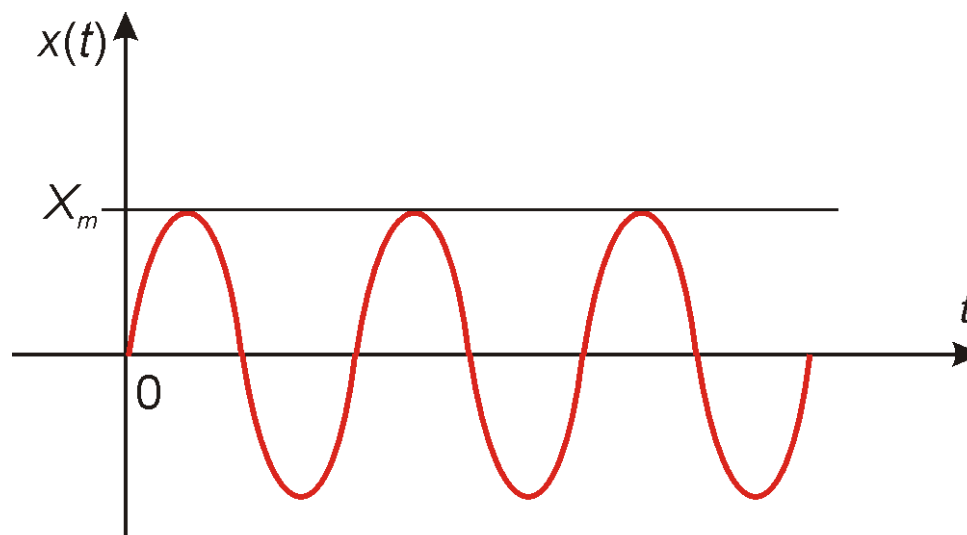
Typ	TT...I...
Zakres pomiaru temperatury	-200...600°C
Max. ciśnienie stosowania	0,1MPa
Element pomiarowy	1 lub 2 Fe-CuNi lub NiCr-NiAl wg PN-EN 60584:1997 Kl. 1 lub 2
Średnica osłony	Ø6mm; Ø8mm; inna
Długość montażowa L	
- dla Ø6mm: TT...I6...	285; 375; 525mm; inna
- dla Ø8mm: TT...I8...	495; 705; 995; 1395; 1995mm; inna
Materiał osłony zewnętrznej	stal kwasoodporna 1H18N9T
Dopuszczalna temp. głowicy:	
- B, NA	100°C
- NS	80°C
Stopień ochrony IP	
- NA	IP 65
- B, NS	IP 54
Czasy odpow. (w miesz. wodzie)	
- dla Ø6mm: TT...I6...	T _{0,5} ≤7s; T _{0,9} ≤18s spoina odizolowana T _{0,5} ≤1s; T _{0,9} ≤5s spoina uziemiona
- dla Ø8mm: TT...I8...	T _{0,5} ≤10s; T _{0,9} ≤25s spoina odizolowana T _{0,5} ≤1,5s; T _{0,9} ≤7s spoina uziemiona
Wykonanie z przetwornikiem	AP-TT...I...
Sygnal wyjściowy	4...20mA

Czas odpowiedzi zależy od konstrukcji czujnika

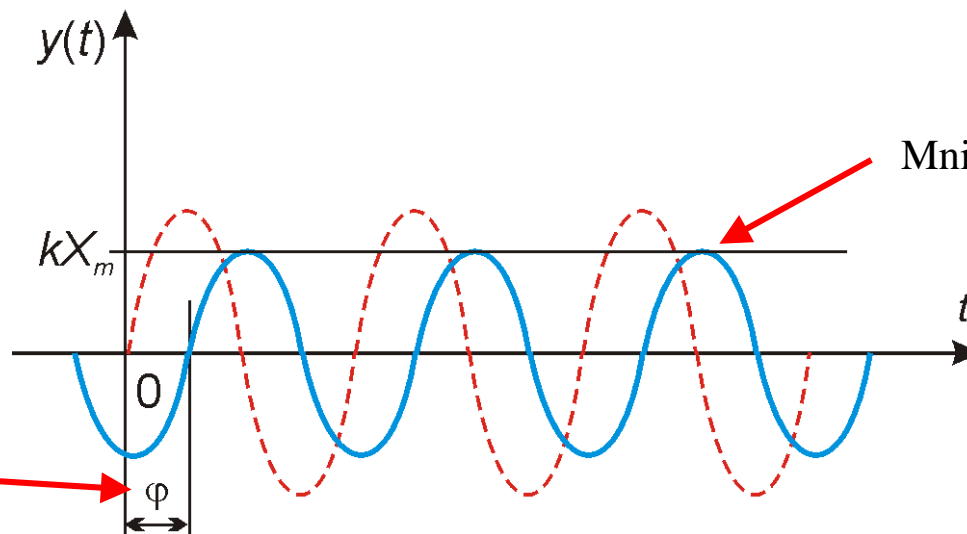
DANE TECHNICZNE

Typ	TT...I...
Zakres pomiaru temperatury	-200...600°C
Max. ciśnienie stosowania	0,1MPa
Element pomiarowy	1 lub 2 Fe-CuNi lub NiCr-NiAl wg PN-EN 60584:1997 Kl. 1 lub 2
Średnica osłony	Ø6mm; Ø8mm; inna
Długość montażowa L	
- dla Ø6mm: TT...I6...	285; 375; 525mm; inna
- dla Ø8mm: TT...I8...	495; 705; 995; 1395; 1995mm; inna
Materiał osłony zewnętrznej	stal kwasoodporna 1H18N9T
Dopuszczalna temp. głowicy:	
- B, NA	100°C
- NS	80°C
Stopień ochrony IP	
- NA	IP 65
- B, NS	IP 54
Czasy odpow. (w miesz. wodzie)	
- dla Ø6mm: TT...I6...	T _{0,5} ≤7s; T _{0,9} ≤18s spoina odizolowana T _{0,5} ≤1s; T _{0,9} ≤5s spoina uziemiona
- dla Ø8mm: TT...I8...	T _{0,5} ≤10s; T _{0,9} ≤25s spoina odizolowana T _{0,5} ≤1,5s; T _{0,9} ≤7s spoina uziemiona
Wykonanie z przetwornikiem	AP-TT...I...
Sygnal wyjściowy	4...20mA

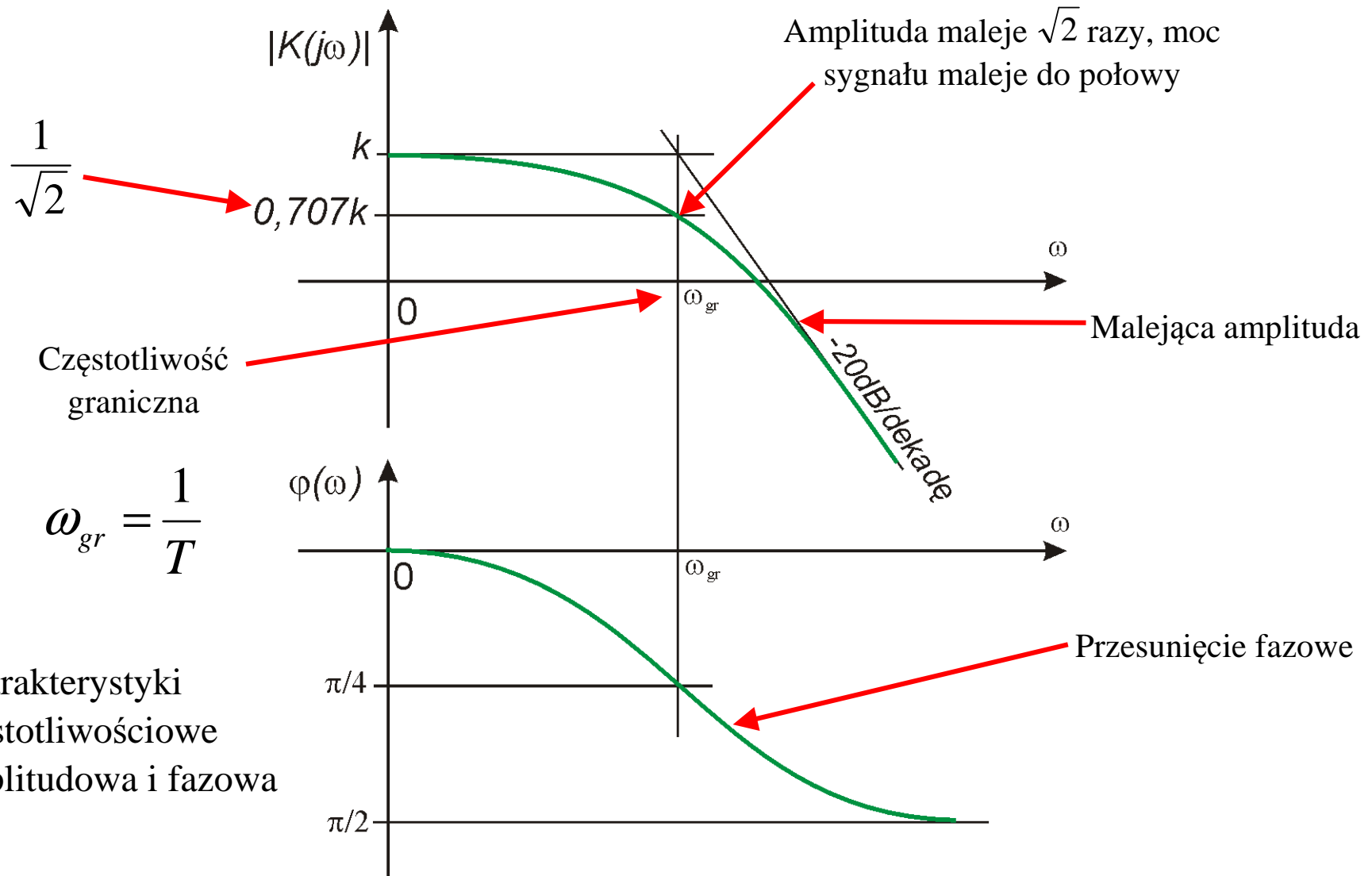
Odpowiedź na sygnał harmoniczny



Charakterystyki czasowe,
odpowiedź na sygnał
harmoniczny

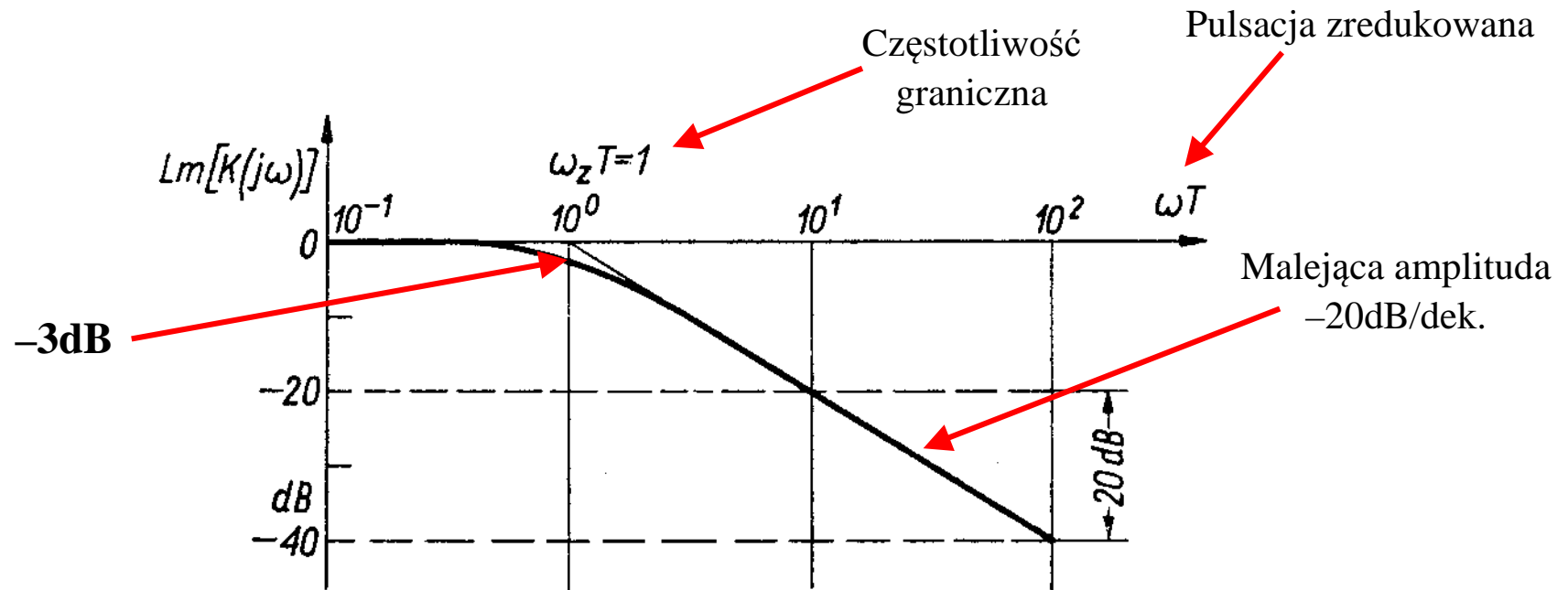


Charakterystyki częstotliwościowe pierwszego rzędu



Charakterystyki częstotliwościowe amplitudowa i fazowa

Charakterystyka amplitudowa unormowana



Asymptotyczna logarytmiczna charakterystyka amplitudowa

Wniosek: Przetwornik inercyjny pierwszego rzędu ma charakterystykę filtra dolnoprzepustowego.

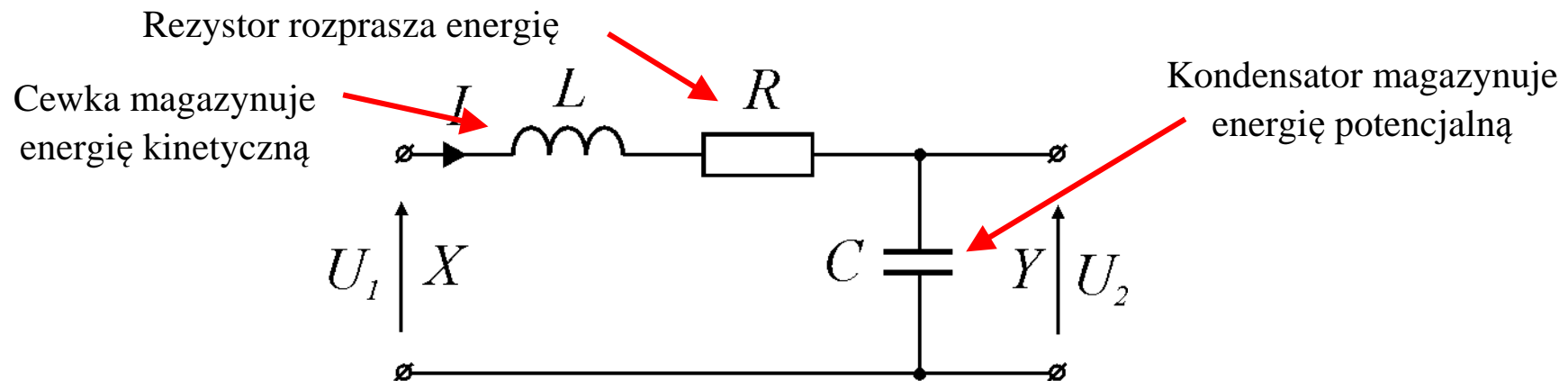
Przetwornik drugiego rzędu - ogólnie

Przetwornik drugiego rzędu składa się z **trzech** elementów:

1. Elementu **rozpraszającego energię,**

2. Elementu **akumulującego energię potencjalną,**

3. Elementu **akumulującego energię kinetyczną.**



Przykład przetwornika 2-rzędu, układ RLC

Równanie różniczkowe drugiego rzędu

Ogólna postać równania różniczkowego drugiego rzędu :

$$A_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + A_1 \frac{dy}{dt} + A_0 y(t) = B_0 x(t)$$

Dzielimy obustronnie przez A_0 i wprowadzamy oznaczenia:

Współczynnik przetwarzania statycznego k : $\frac{B_0}{A_0} = k$

Pulsacja rezonansowa ω_0 :

$$\sqrt{\frac{A_0}{A_2}} = \omega_0$$

Współczynnik tłumienia b :

$$\frac{A_1}{2\sqrt{A_0 A_2}} = b$$

Równanie przetwornika drugiego rzędu

Otrzymujemy równanie różniczkowe przetwornika drugiego rzędu :

$$\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{2b}{\omega_0} \frac{dy}{dt} + y(t) = k x(t)$$

W stanie statycznym pochodne po czasie są równe zero:

$$\frac{dy}{dt} = 0 \quad \frac{d^2 y}{dt^2} = 0$$

Otrzymujemy równanie opisujące stan statyczny:

$$y(t) = k x(t)$$

Współczynnik przetwarzania statycznego

Odpowiedź jednostkowa przetwornika drugiego rzędu

Równanie przetwarzania
w stanie dynamicznym:

$$\frac{1}{\omega_0^2} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{2b}{\omega_0} \frac{dy}{dt} + y(t) = k x(t)$$

Sygnał wejściowy w postaci
skoku jednostkowego:

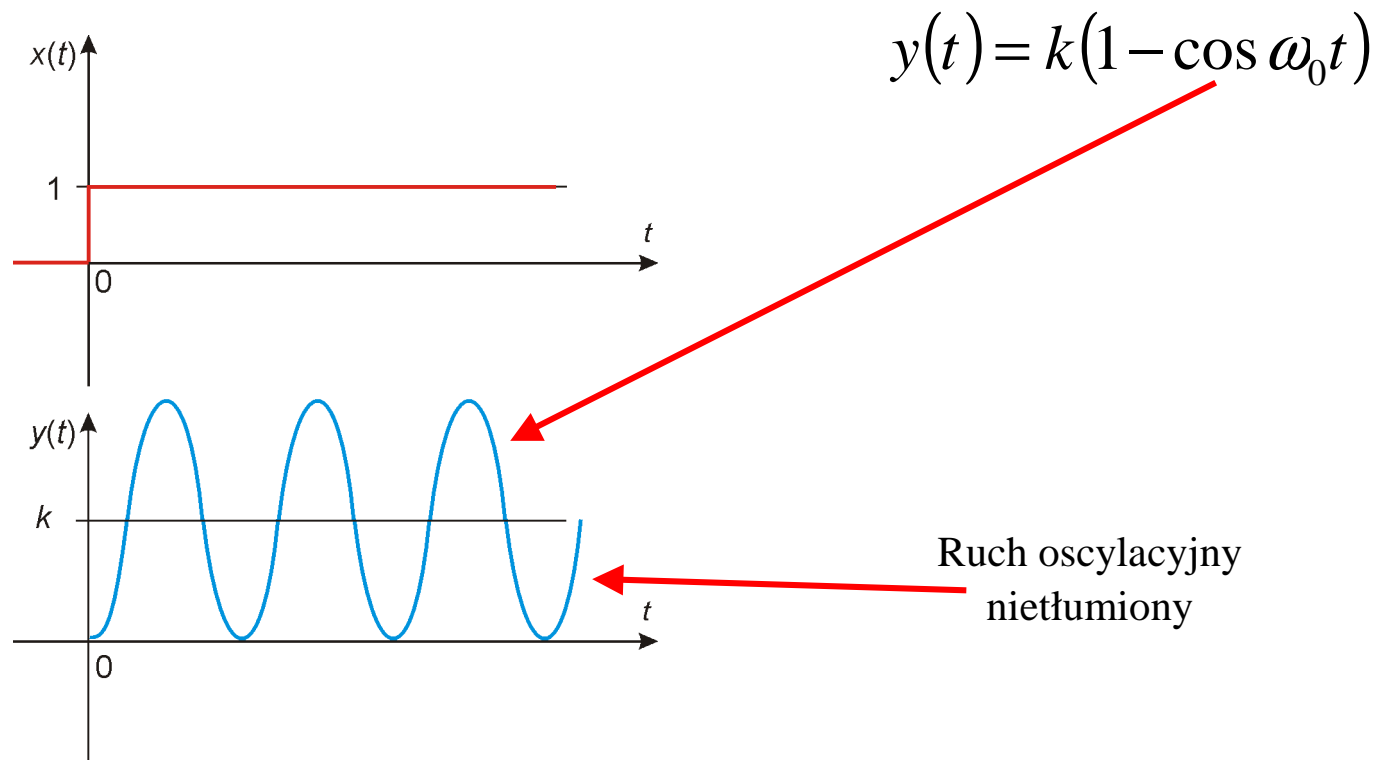
$$x(t) = 1(t)$$

Odpowiedź na skok jednostkowy przetwornika drugiego rzędu:

1. dla $b=0$ ma charakter oscylacyjny nietłumiony,
2. dla $0 < b < 1$ ma charakter oscylacyjny tłumiony,
3. dla $b=1$ ma charakter tłumiony aperiodyczny krytyczny,
4. dla $b > 1$ ma charakter tłumiony aperiodyczny.

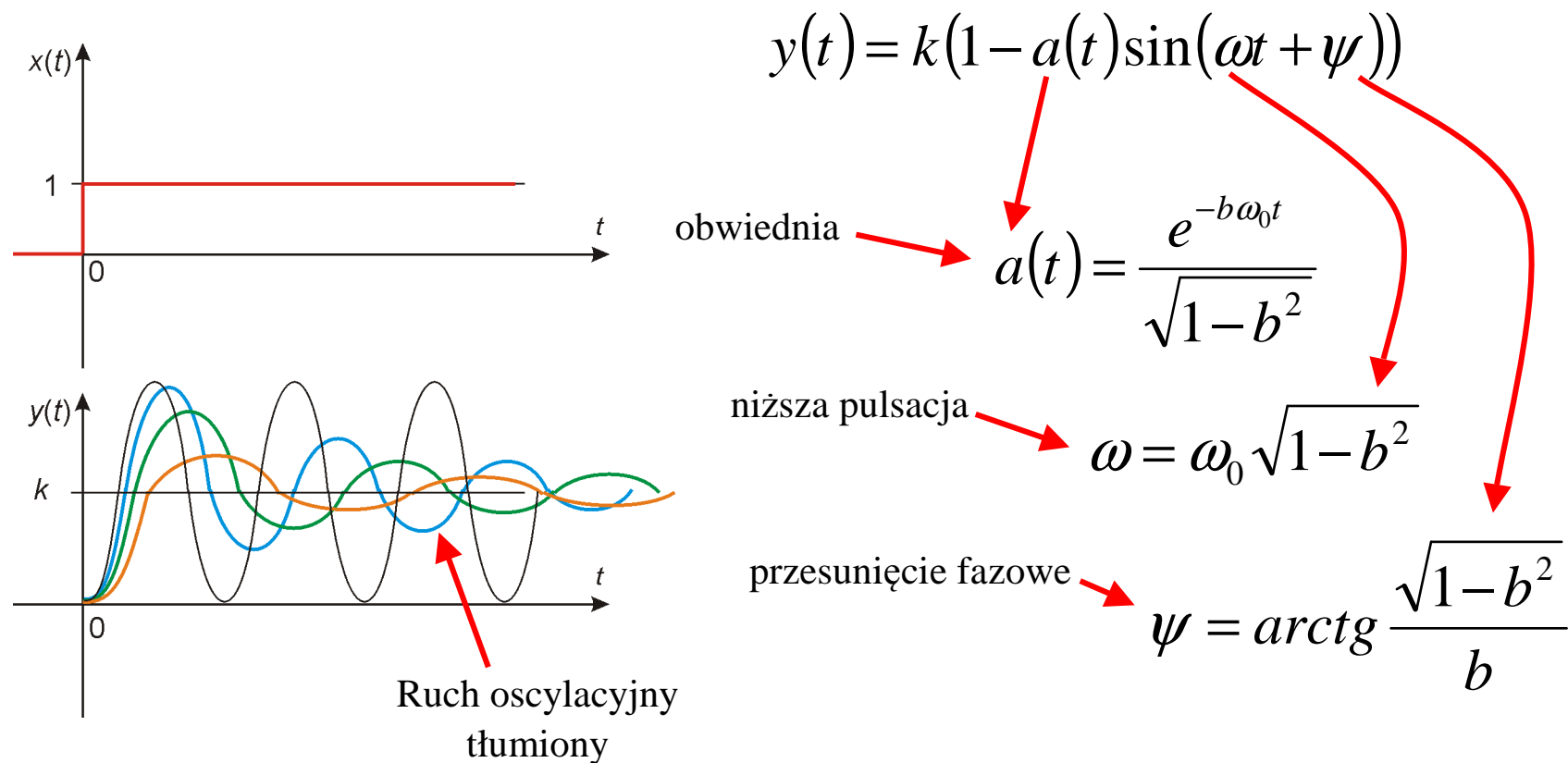
Odpowiedź przetwornika drugiego rzędu dla $b=0$

Odpowiedź na skok jednostkowy przetwornika drugiego rzędu dla $b=0$ ma charakter **oscylacyjny nietłumiony**:



Odpowiedź przetwornika drugiego rzędu dla $0 < b < 1$

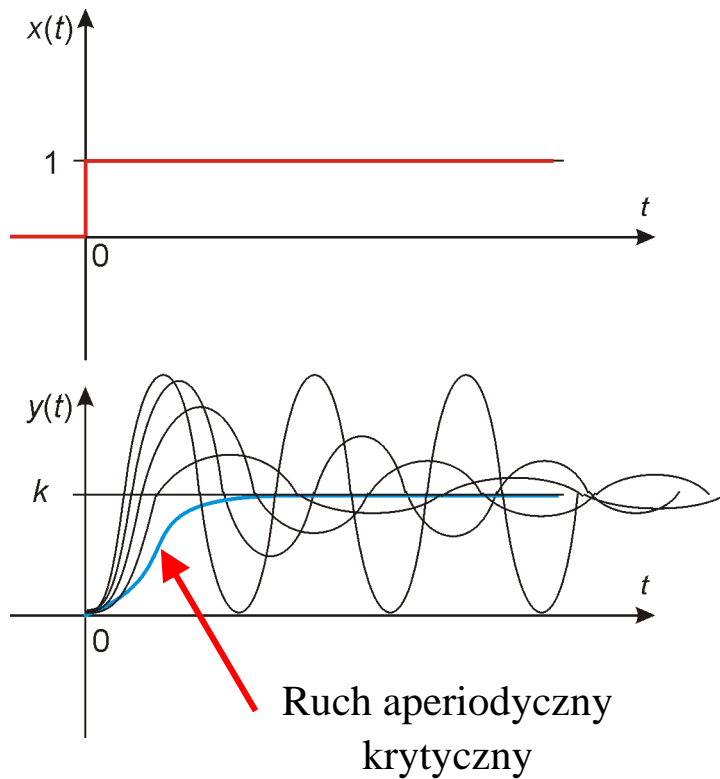
Odpowiedź na skok jednostkowy przetwornika drugiego rzędu 2. dla $0 < b < 1$ ma charakter **oscylacyjny tłumiony**:



Odpowiedź przetwornika drugiego rzędu dla $b=1$

Odpowiedź na skok jednostkowy przetwornika drugiego rzędu 2. dla $b=1$ ma charakter **łumiony aperiodyczny krytyczny** :

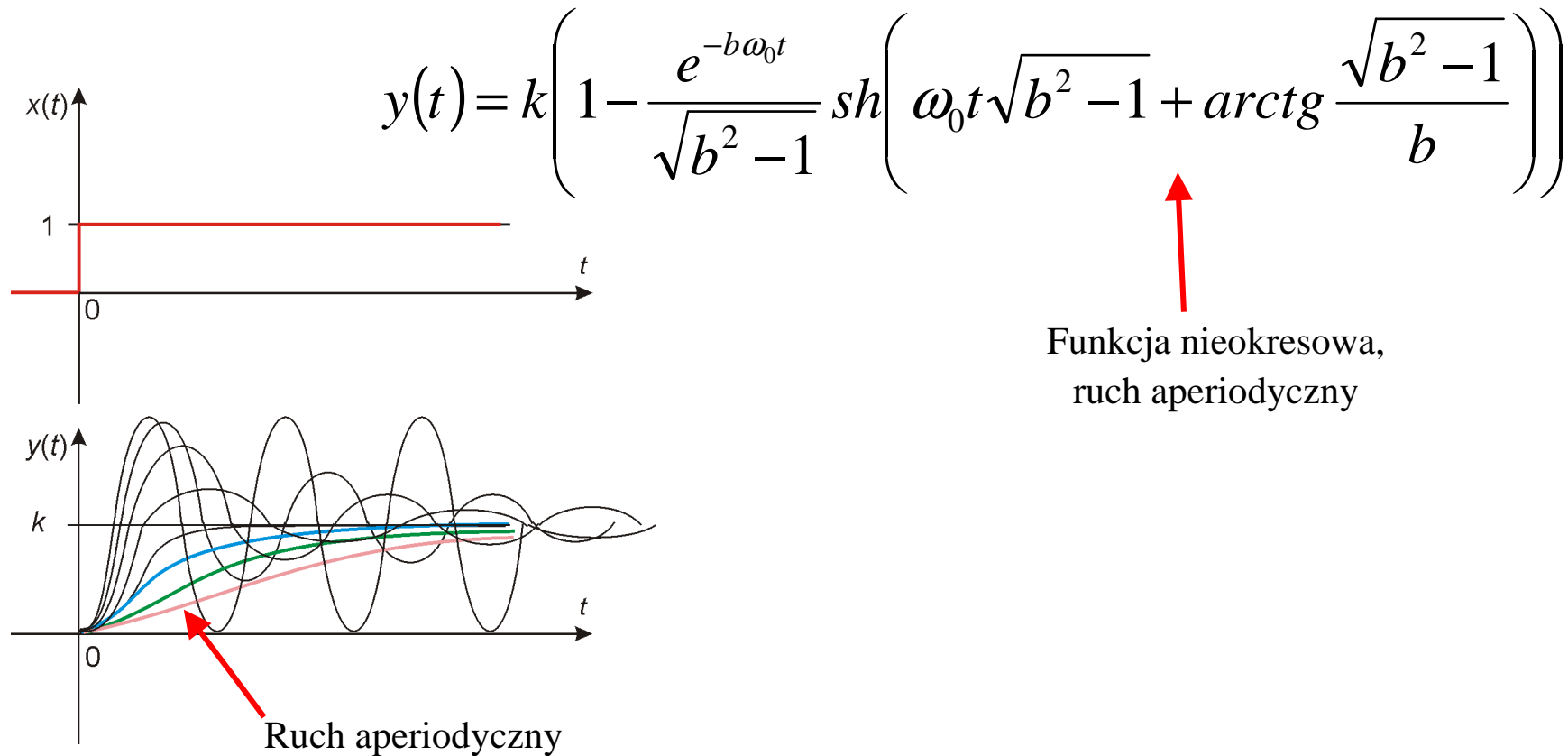
$$y(t) = k(1 - (1 + \omega_0 t)e^{-\omega_0 t})$$



Funkcja nieokresowa,
ruch aperiodyczny

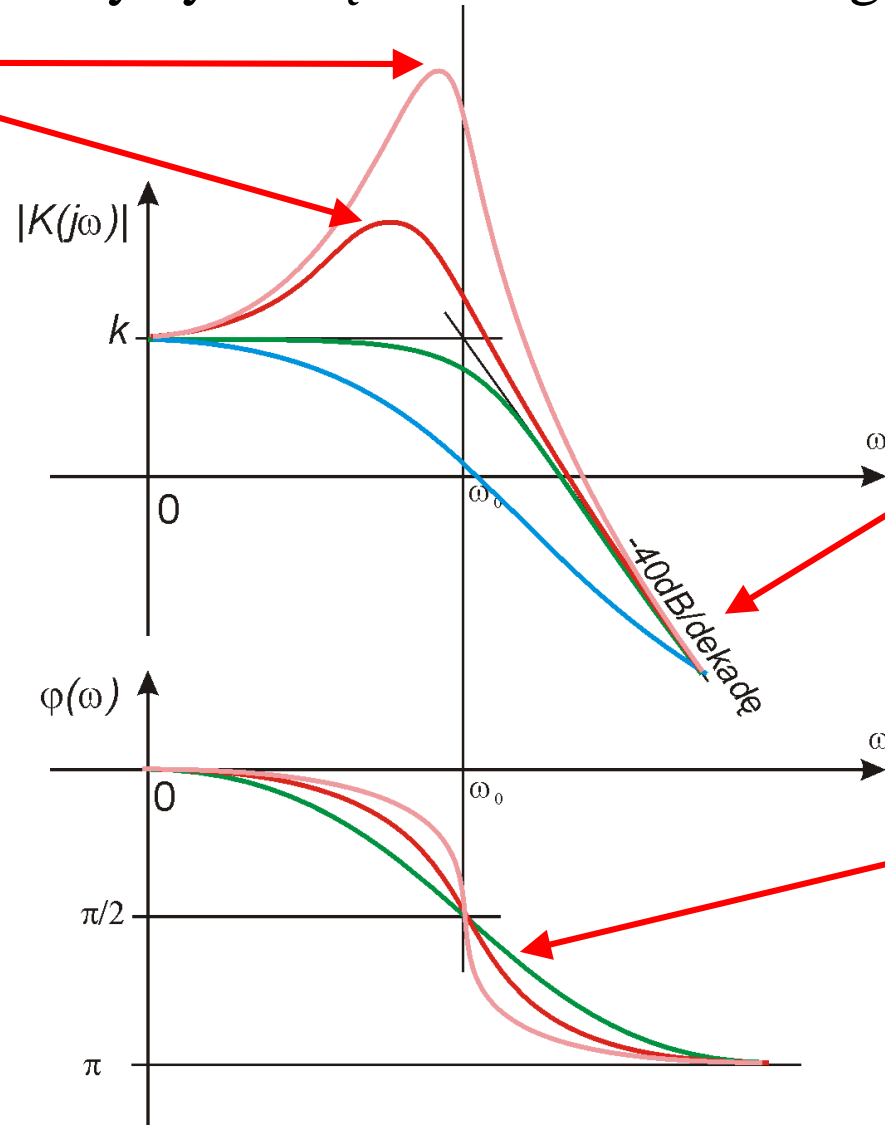
Odpowiedź przetwornika drugiego rzędu dla $b > 1$

Odpowiedź na skok jednostkowy przetwornika drugiego rzędu 2. dla $b > 1$ ma charakter **tłumiony aperiodyczny**:



Charakterystyki częstotliwościowe drugiego rzędu

Częstotliwość rezonansowa



Malejąca amplituda

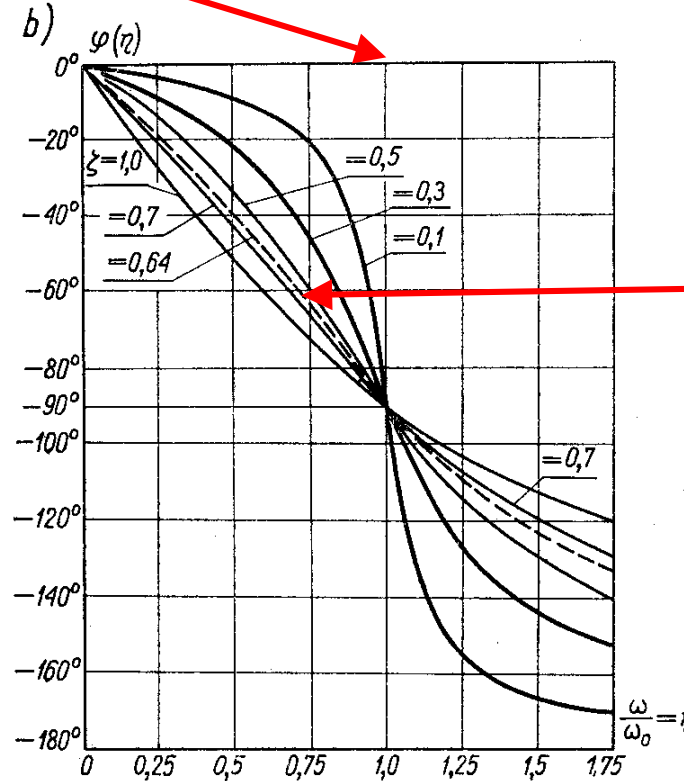
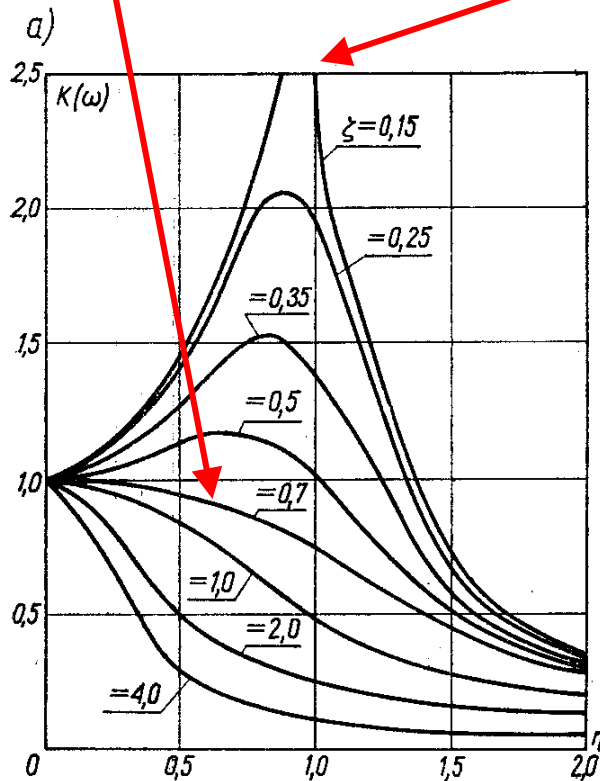
Charakterystyki częstotliwościowe amplitudowa i fazowa

Liniowa ch-ka fazowa

Charakterystyki częstotliwościowe drugiego rzędu

Malejąca amplituda

Częstotliwość rezonansowa

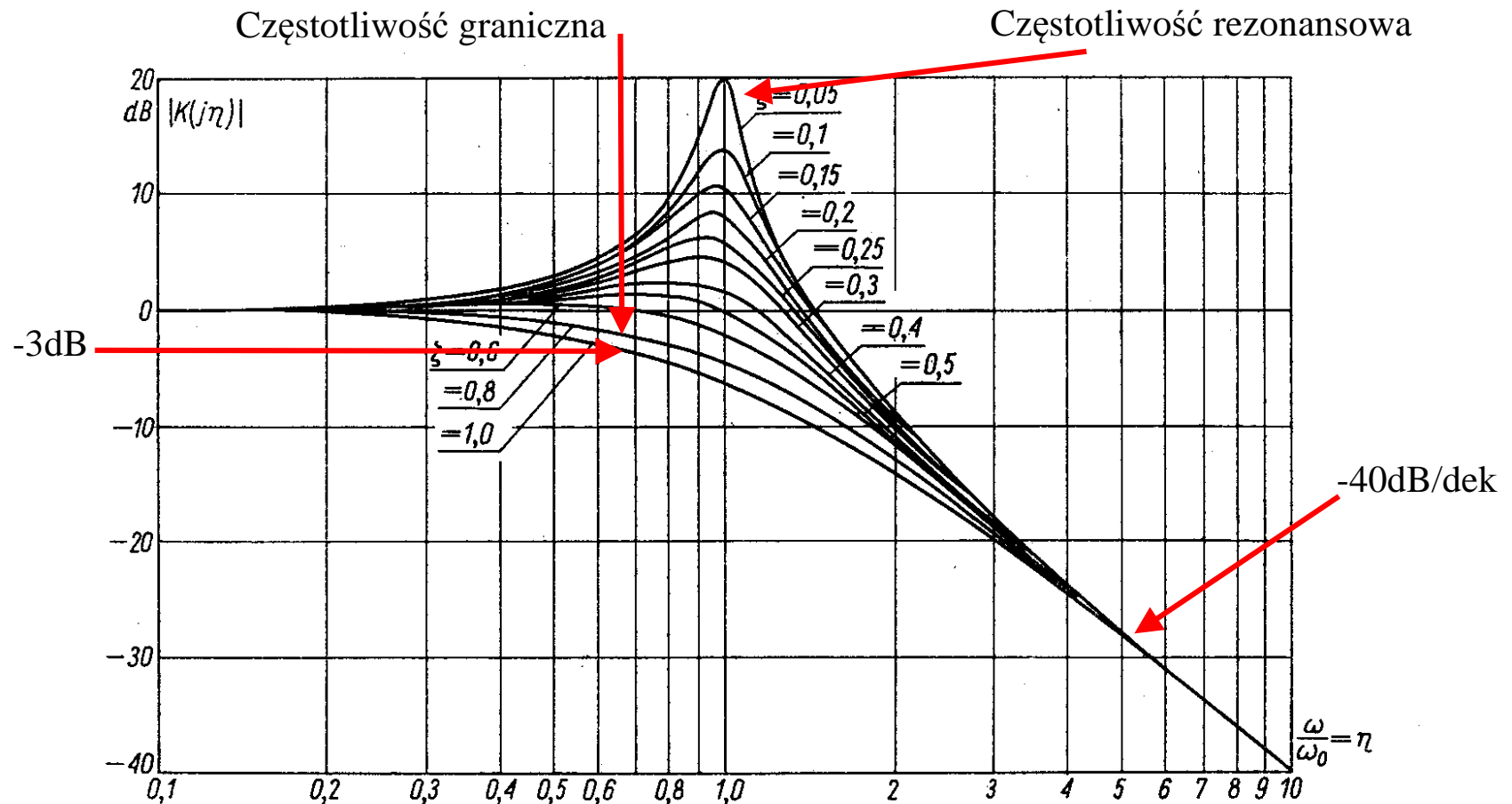


Liniowa ch-ka fazowa

Charakterystyki częstotliwościowe przetwornika drugiego rzędu: a) amplitudowa; b) fazowa

Charakterystyki częstotliwościowe amplitudowa i fazowa, liniowa skala na osiach!

Charakterystyki częstotliwościowe drugiego rzędu



Charakterystyka częstotliwościowa amplitudowa w logarytmicznym układzie współrzędnych

Charakterystyki częstotliwościowe amplitudowa i fazowa, logarytmiczna skala na osiach!

Przykład przetwornika oscylacyjnego drugiego rzędu



PRODUCT DATA

Piezoelectric Accelerometer
Charge Accelerometer — Type 4370, 4370 S and 4370 V

FEATURES

- General purpose
- High sensitivity
- Low-level, low-frequency measurements



Description

Type 4370 is a piezoelectric, DeltaShear[®], Unigain[®] accelerometer with top connector. Type 4370 features 10–32 UNF receptacle for output connection and can be mounted on the object by means of a 10–32 UNF threaded steel stud.

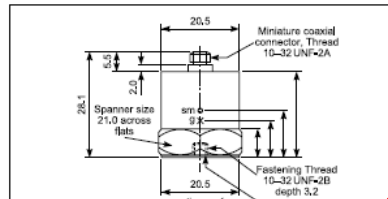
Calibration

The sensitivity given in the calibration chart has been measured at 159.2 Hz and an acceleration of 10 g. For 99.9% confidence level, the accuracy of the factory calibration is $\pm 2\%$.

Characteristics

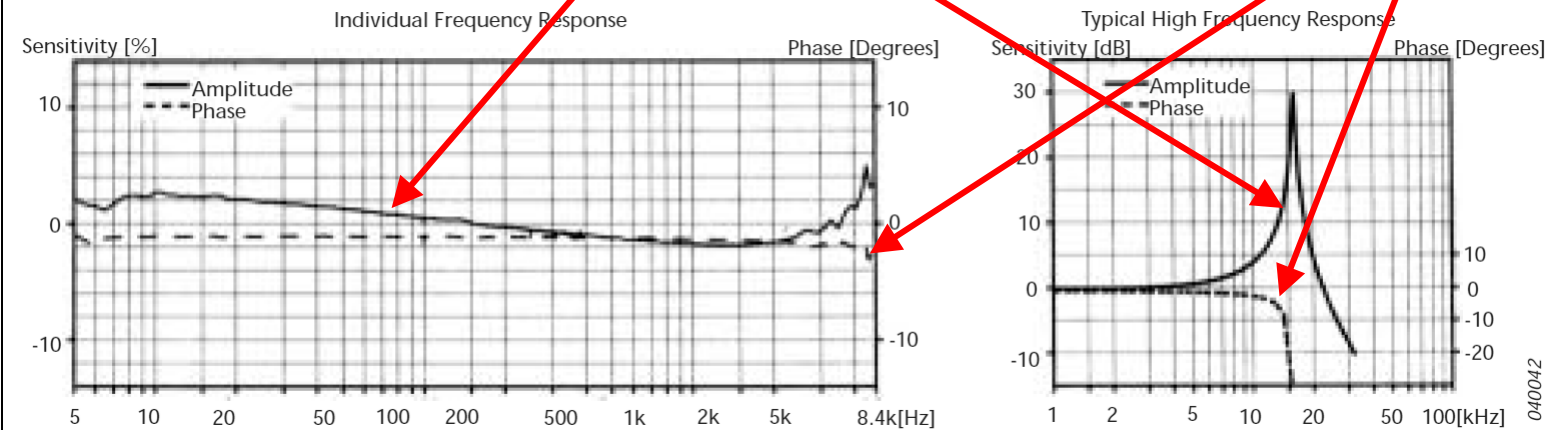
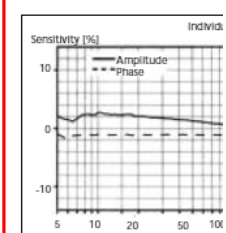
This piezoelectric accelerometer may be treated as a charge source. Its sensitivity is expressed in terms of charge per unit acceleration (pC/g).

The DeltaShear design involves three piezoelectric elements and three masses arranged in a triangular configuration around a triangular centre post. The ring prestresses the piezoelectric elements to give a high degree of linearity. The charge is collected by a clamping ring. The piezoelectric lead zirconate titanate element is made of stainless steel.



Charakterystyka
amplitudowa

Charakterystyka
fazowa

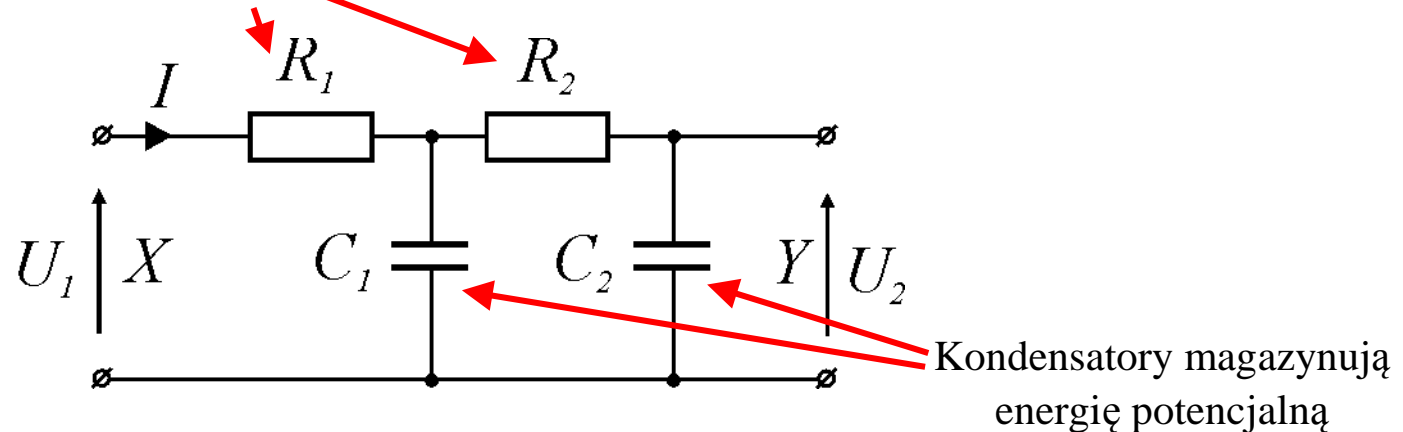


Przetwornik inercyjny drugiego rzędu (RC)

Przetwornik drugiego rzędu może być również połączeniem dwóch członów inercyjnych pierwszego rzędu, tzn:

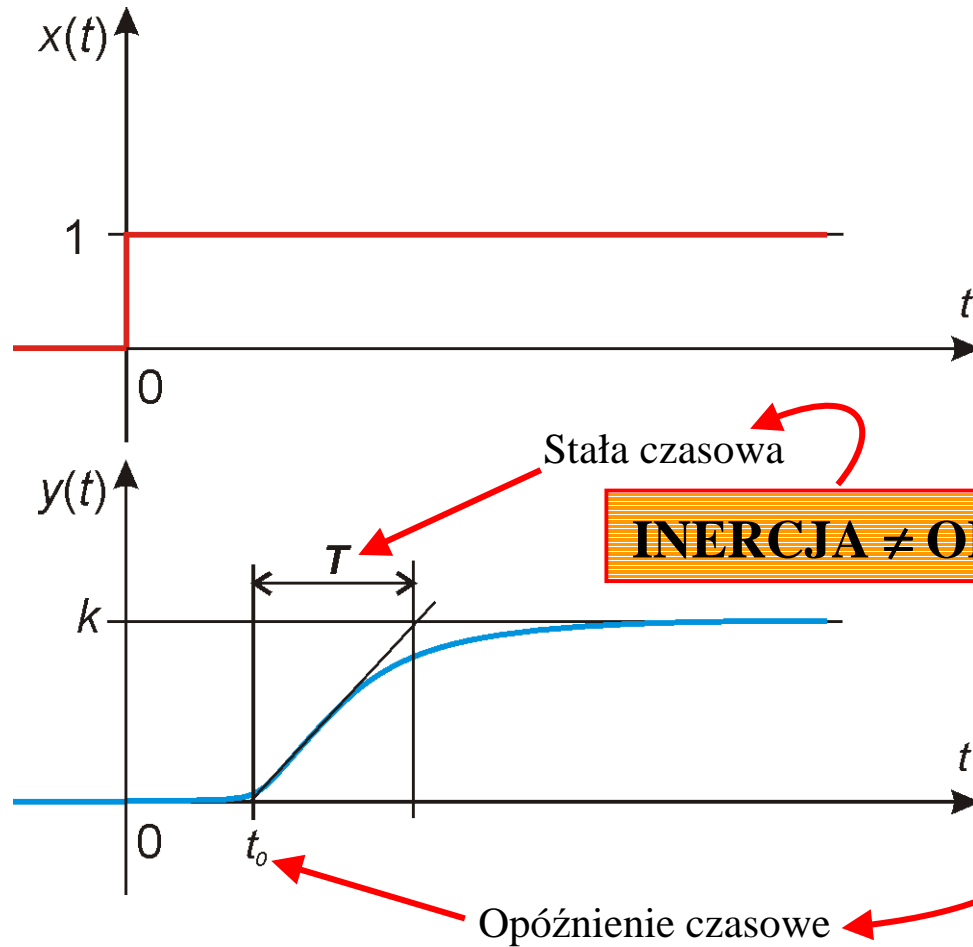
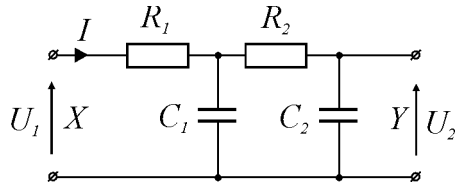
1. Dwóch elementów **rozpraszających energię,**
2. Dwóch elementów **akumulujących energię tego samego rodzaju** (potencjalną, lub kinetyczną).

Rezystory rozpraszają energię



Przykład przetwornika inercyjnego 2-rzędu, układ RC

Przetwornik inercyjny drugiego rzędu



Charakterystyki czasowe,
odpowiedź na skok
jednostkowy

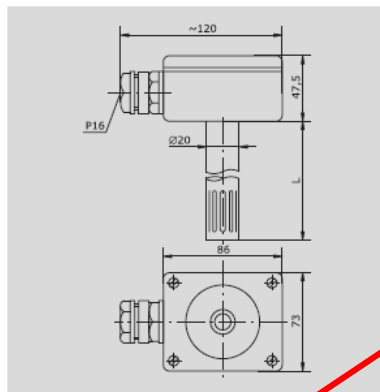
Przesunięcie fazowe

Przykład przetwornika inercyjnego drugiego rzędu



CZUJNIK TEMPERATURY TOPK5

- Zakres pomiarowy: -30...70°C
- Element pomiarowy: Pt100, inny
- Klasa dokładności: A, B, inna
- Kolor obudowy: kremowy
- Materiał obudowy: ABS
- Wykonanie z przetwornikiem 4...20mA (AP-TOPK6)



OPIS

Czujniki z serii TOPK5 przeznaczone są do pomiaru temperatury powietrza lub gazu przepływającego w kanale wentylacyjnym. Stosowane są głównie w układach klimatyzacji i wentylacji. Rezystor termometryczny znajduje się w azurowej części rury osłonowej z lekkiego stopu, połączony z puszką przyłączniową wykonaną z antystatycznego tworzywa. Opcjonalnie czujniki mogą być wyposażone w przetwornik, przetwarzający wartość mierzoną na prąd 4...20mA (wykonanie AP-TOPK6).

ZAMAWIANIE

Przy zamawianiu należy podać typ czujnika, długość montażową, klasę dokładności oraz w przypadku podwójnego elementu pomiarowego przed oznaczeniem cyfrę 2. W przypadku innego elementu pomiarowego niż Pt100, należy to zaznaczyć w zamówieniu.

PRZYKŁAD ZAMAWIANIA
 Pojedynczy czujnik rezystorowy Pt100, długość montażowa 140mm, klasa dokładności B.

Czujnik typu TOPK51-B

W przypadku zamawiania czujnika z przetwornikiem należy dopisać przed typem czujnika symbol AP i na końcu zakres temperatury oraz typ przetwornika (jeżeli zakres i przetwornik ma być inny niż standardowy).

Czujnik typu AP-TOPK61-BI-30...70°C

Istnieje możliwość wykonania wersji niestandardowych po uzgodnieniu.

DANE TECHNICZNE

Typ	TOPK5
Zakres pomiaru temperatury	-30...70°C
Element pomiarowy	1 lub 2 Pt100; Pt500; Pt1000 wg PN-EN 60751:1997 kl. A lub B
Długość montażowa	
TOPK50:	140mm
TOPK51:	280mm
Max przepływ powietrza	30m/s
Wilgotność otoczenia	max 80%RH
Materiał obudowy	ABS
Kolor obudowy	kremowy
Czas odpowiedzi (w powietrzu)	
Czas martwy	2s
T _{0.63} (0m/s)	ok. 95s
T _{0.63} (2m/s)	ok. 16s
Stopień ochrony	IP54
Wykonanie z przetwornikiem	AP-TOPK6
Standardowy zakres pomiarowy	-30...70°C
Sygnal wyjściowy	4...20mA
Zasilanie	8...35VDC
Minimalny zakres temperatury	25°C
Dokładność przetwornika	wg danych przetwornika
Temperatura pracy przetwornika	-40...85°C

DANE TECHNICZNE

Typ	TOPK5
Zakres pomiaru temperatury	-30...70°C
Element pomiarowy	1 lub 2 Pt100; Pt500; Pt1000 wg PN-EN 60751:1997 kl. A lub B
Długość montażowa	
TOPK50:	140mm
TOPK51:	280mm
Max przepływ powietrza	30m/s
Wilgotność otoczenia	max 80%RH
Materiał obudowy	ABS
Kolor obudowy	kremowy
Czas odpowiedzi (w powietrzu)	
Czas martwy	2s
T _{0.63} (0m/s)	ok. 95s
T _{0.63} (2m/s)	ok. 16s
Stopień ochrony	IP54
Wykonanie z przetwornikiem	AP-TOPK6
Standardowy zakres pomiarowy	-30...70°C
Sygnal wyjściowy	4...20mA
Zasilanie	8...35VDC
Minimalny zakres temperatury	25°C
Dokładność przetwornika	wg danych przetwornika
Temperatura pracy przetwornika	-40...85°C

Opóźnienie czasowe

Stała czasowa

Podsumowanie

1. Właściwości dynamiczne czujnika wynikają z elementów **rozpraszających** energię i **magazynujących** energię
2. Zachowanie się czujnika w stanie dynamicznym opisuje się równaniem **różniczkowym**.
3. Dynamiczne właściwości członu inercyjnego pierwszego rzędu są określone przez jego **stałą czasową**.
4. Dynamiczne właściwości członu drugiego rzędu są określone przez **stopień tłumienia** i **częstotliwość drgań własnych**.

