



WSTĘP DO PRZETWARZANIA ANALOGOWO-CYFROWEGO.

Plan wykładu.

- Wzmacniacz operacyjny (WO).
- Wzmacniacz nieodwracający fazy.
- Wzmacniacz odwracający fazę.
- Komparator analogowy.
- Wtórnik napięcia.
- Układ całkujący.



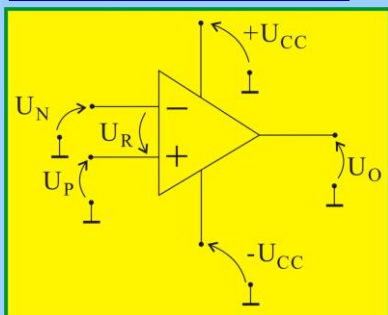
Metrologia



Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Wzmacniacz operacyjny (WO)



- wejście odwracające fazę napięcia
- + wejście nieodwracające fazy napięcia

$+U_{CC}, -U_{CC}$ - napięcia zasilania

U_N, U_P - napięcia wejściowe

U_O - napięcie wyjściowe

Definiujemy:

$$U_R = U_P - U_N \text{ - wejściowe napięcie różnicowe}$$

oraz

$$U_S = \frac{U_P + U_N}{2} \text{ - wejściowe napięcie sumacyjne}$$



Metrologia

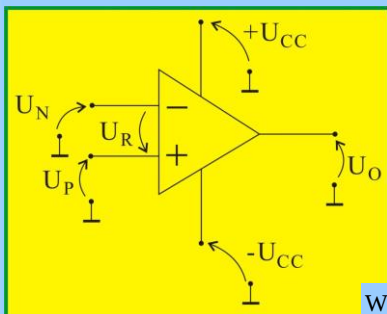




Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Wzmacniacz operacyjny (WO)



Wzór opisujący działanie układu:

$$U_O = k_{ur} \cdot U_R + k_{us} \cdot U_S$$

gdzie:

k_{ur} - wzmacnienie sygnału różnicowego,

k_{us} - wzmacnienie sygnału sumacyjnego.

Stosunek k_{ur} do k_{us} określa parametr:

WTSS - Współczynnik Tłumienia Sygnału Sumacyjnego,

który podawany jest w decybelach:

$$WTSS_{dB} = 20 \cdot \log \frac{k_{ur}}{k_{us}}$$



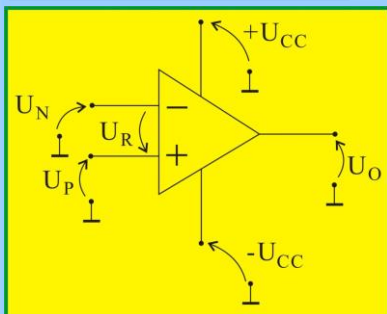
Metrologia



Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Wzmacniacz operacyjny (WO)



Wzór opisujący działanie układu:

$$U_O = k_{ur} \cdot U_R + k_{us} \cdot U_S$$

Ponieważ WO jest projektowany tak, aby:

$$k_{ur} \gg k_{us}$$

Stąd drugi składnik jest pomijalny i przyjmujemy że:

$$U_O = k_{ur} \cdot U_R$$



Metrologia



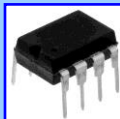
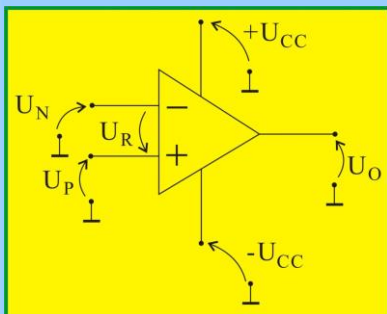


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi

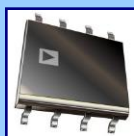


Wzmacniacz operacyjny

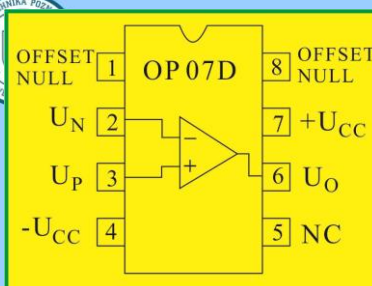
zbudowany z kilkunastu tranzystorów zamkniętych w jednej obudowie.



Obudowa DIP8



Obudowa SOP8



Metrologia

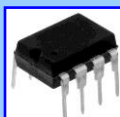
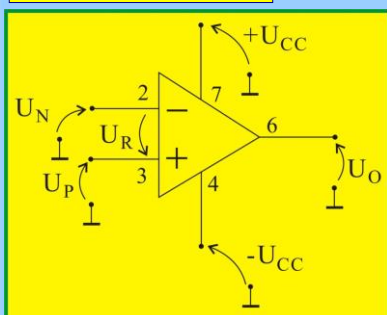


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Wzmacniacz operacyjny

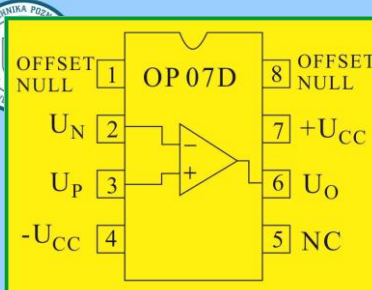
zbudowany z kilkunastu tranzystorów zamkniętych w jednej obudowie.



Obudowa DIP8



Obudowa SOP8



Metrologia



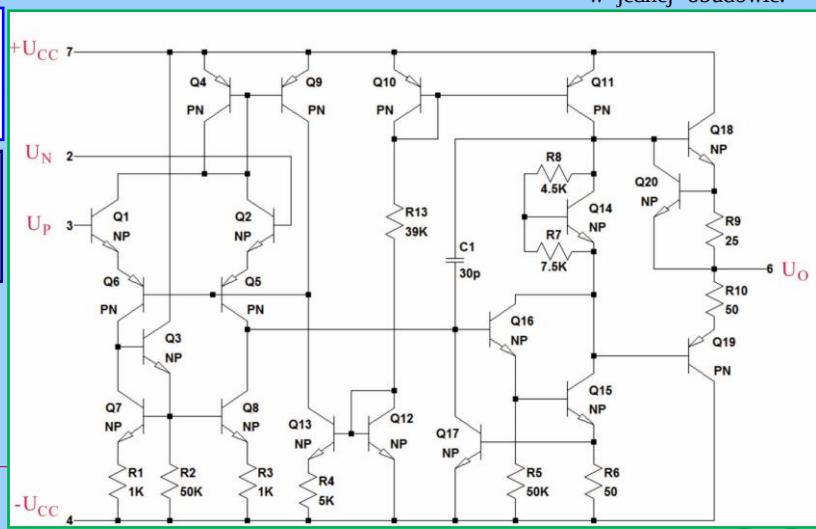
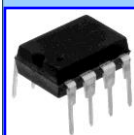


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Wzmacniacz operacyjny

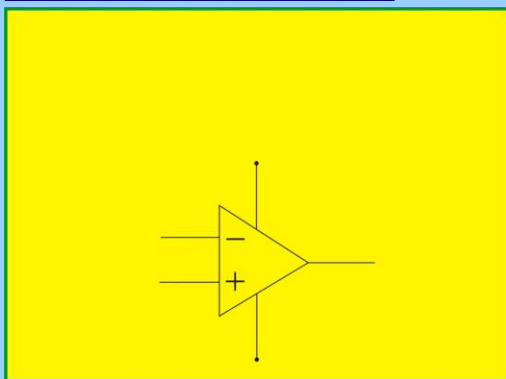
zbudowany z kilkunastu tranzystorów zamkniętych w jednej obudowie.



Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Podłączenie napięcia zasilania symetrycznego $\pm 12\text{ V}$.

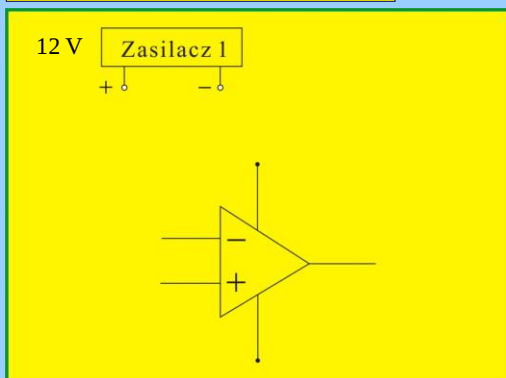




Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Podłączenie napięcia zasilania symetrycznego ± 12 V.



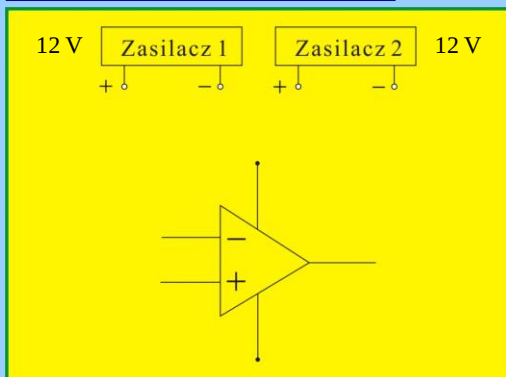
Metrologia



Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Podłączenie napięcia zasilania symetrycznego ± 12 V.

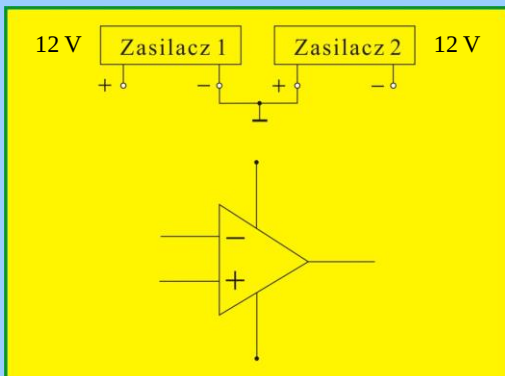


Metrologia





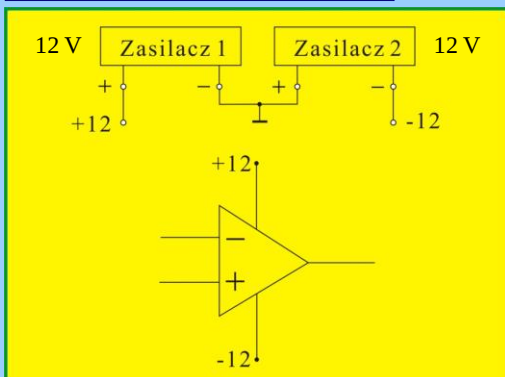
Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Podłączenie napięcia zasilania symetrycznego $\pm 12\text{ V}$.



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Podłączenie napięcia zasilania symetrycznego $\pm 12\text{ V}$.

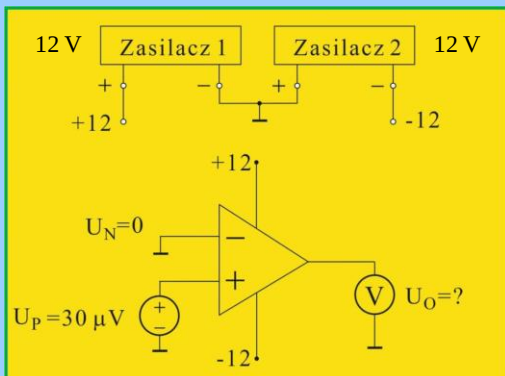




Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



$$U_R = U_P - U_N \quad U_O = k_{ur} \cdot U_R \quad k_{ur} = 200000 \text{ (LM741) .}$$



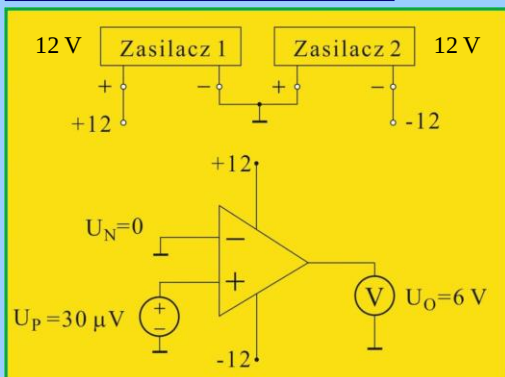
Metrologia



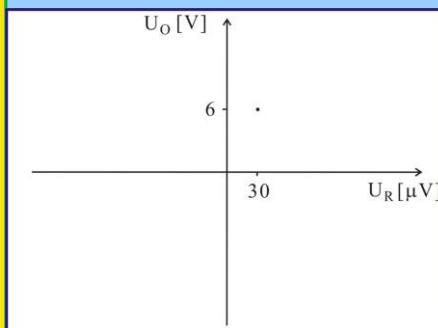
Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Charakterystyka przejściowa



$$U_R = U_P - U_N \quad U_O = k_{ur} \cdot U_R \quad k_{ur} = 200000 \text{ (LM741) .}$$



Metrologia

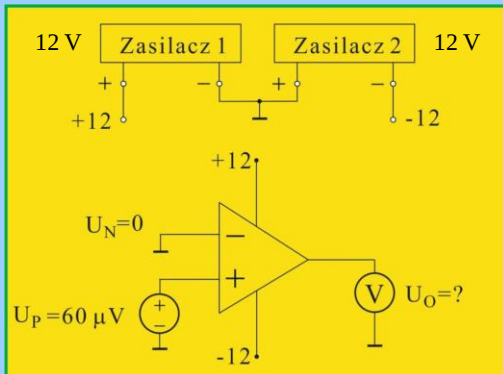




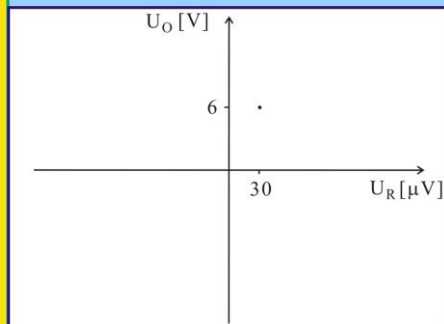
Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Charakterystyka przejściowa



$$U_R = U_P - U_N \quad U_O = k_{ur} \cdot U_R \quad k_{ur} = 200000 \text{ (LM741) .}$$



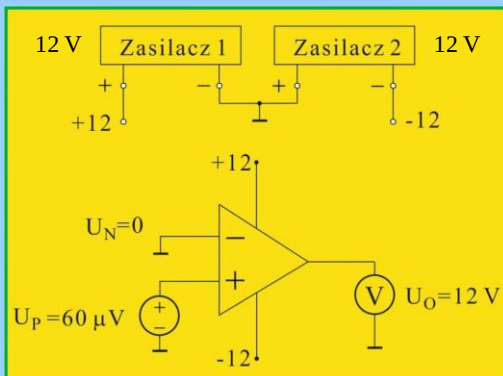
Metrologia



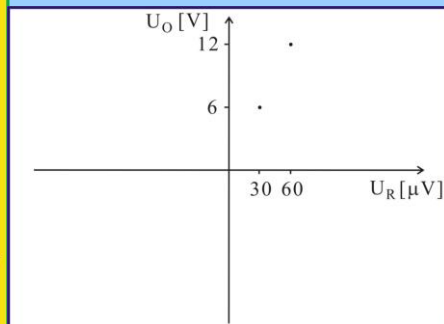
Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Charakterystyka przejściowa



$$U_R = U_P - U_N \quad U_O = k_{ur} \cdot U_R \quad k_{ur} = 200000 \text{ (LM741) .}$$



Metrologia

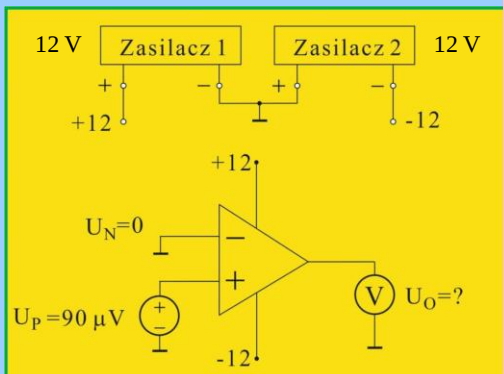




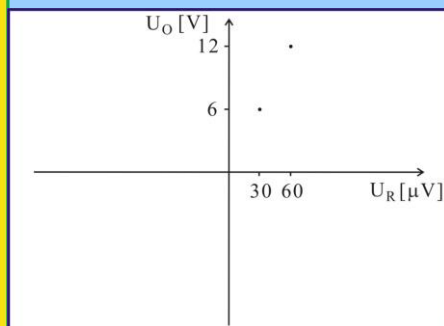
Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Charakterystyka przejściowa



$$U_R = U_P - U_N \quad U_O = k_{ur} \cdot U_R \quad k_{ur} = 200000 \text{ (LM741) .}$$



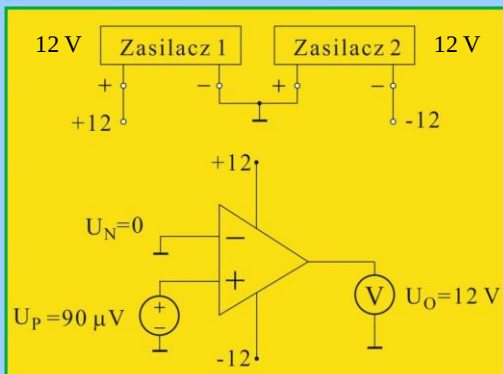
Metrologia



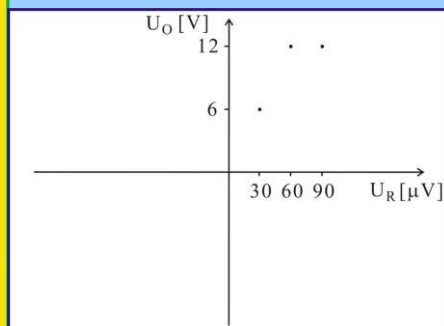
Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Charakterystyka przejściowa



$$U_R = U_P - U_N \quad U_O = k_{ur} \cdot U_R \quad k_{ur} = 200000 \text{ (LM741) .}$$



Metrologia

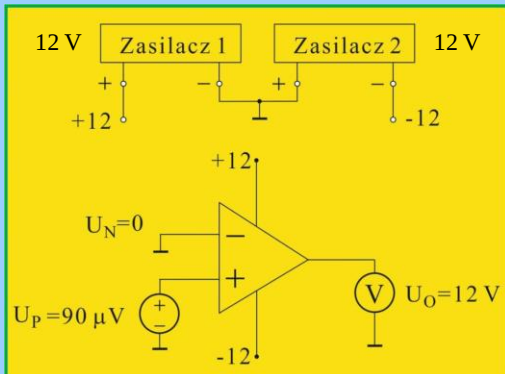




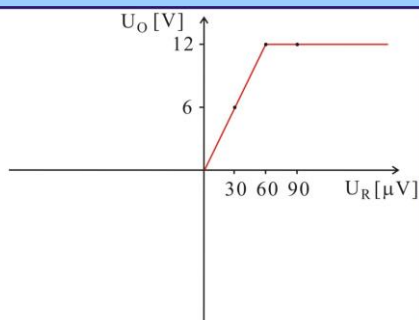
Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Charakterystyka przejściowa



$$U_R = U_P - U_N \quad U_O = k_{ur} \cdot U_R \quad k_{ur} = 200000 \text{ (LM741) .}$$



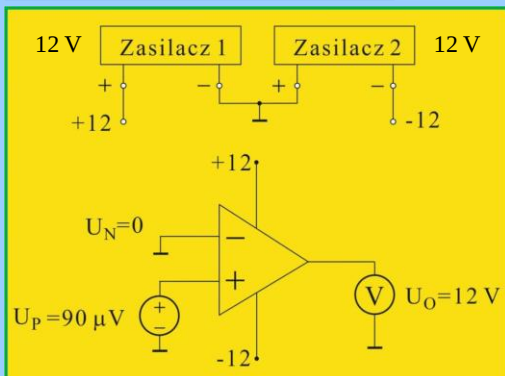
Metrologia



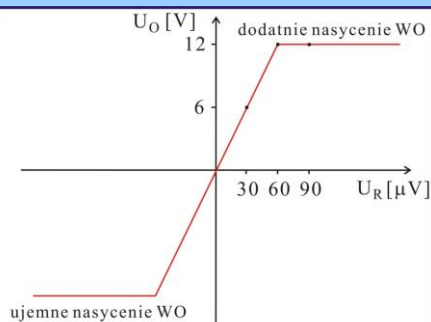
Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Jak działa wzmacniacz operacyjny?



Charakterystyka przejściowa



$$U_R = U_P - U_N \quad U_O = k_{ur} \cdot U_R \quad k_{ur} = 200000 \text{ (LM741) .}$$



Metrologia

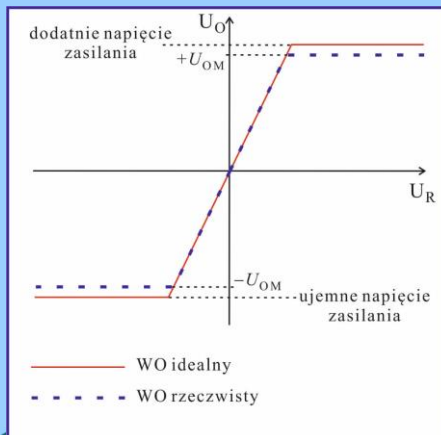




Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Parametry wzmacniacza operacyjnego.



U_{OM} – maksymalne napięcie wyjściowe
(ang. maximum output voltage swing)

Dla wzmacniacza rzeczywistego:

$$|U_{OM}| < |U_{CC}|$$

Metrologia



Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Parametry wzmacniacza operacyjnego.

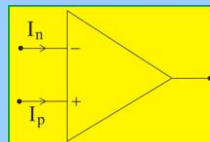
k_{ur} – wzmacnienie sygnału różnicowego

$$k_{ur} = \frac{U_o}{U_R}$$

WTSS – współczynnik tłumienia sygnału sumacyjnego

$$WTSS_{dB} = 20 \cdot \log \frac{k_{ur}}{k_{us}}$$

I_p i I_n – wejściowe prądy polaryzacji



Metrologia



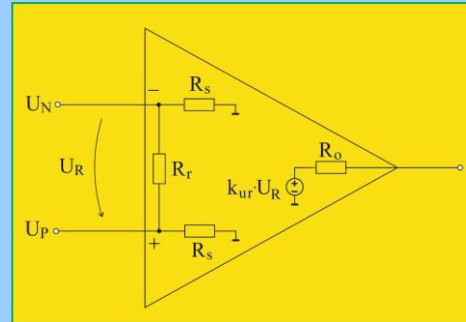


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Parametry wzmacniacza operacyjnego.

- R_r – rezystancja wejściowa dla sygnału różnicowego
- R_s – rezystancja wejściowa dla sygnału sumacyjnego
- R_o – rezystancja wyjściowa



Metrologia

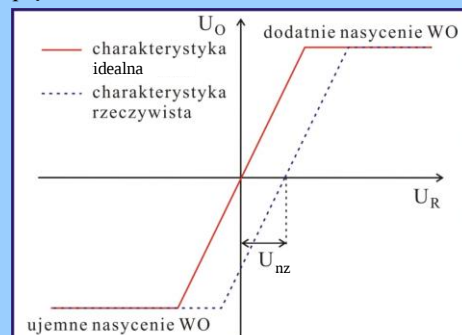


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Parametry wzmacniacza operacyjnego.

- U_{nz} – wejściowe napięcie niezrównoważenia



Wejściowe napięcie niezrównoważenia - wartość napięcia stałego, którą należy dodać do lub odjąć od każdej wartości napięcia różnicowego tak, aby charakterystyka przejściowa przechodziła przez początek układu współrzędnych.



Metrologia





Model idealnego wzmacniacza operacyjnego

Model idealnego wzmacniacza operacyjnego został opracowany w celu uproszczenia obliczeń wykonywanych podczas projektowania układów ze wzmacniaczami operacyjnymi.

WO idealny

Idalny wzmacniacz operacyjny nie istnieje.

To jest tylko model.

Wzmacniacz ten charakteryzuje się idealnymi wartościami parametrów.

WO rzeczywisty

Wszystkie wzmacniacze operacyjne projektuje się w taki sposób,

aby wartości ich parametrów były jak najbliższe wartościom parametrów wzmacniacza idealnego.



Porównanie parametrów wzmacniaczy operacyjnych: idealnego i rzeczywistych.

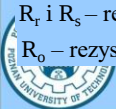
Parametr	WO idealny	WO rzeczywiste
k_{ur}	∞	$10^4 - 10^7$
WTSS	∞	80 dB - 140 dB
R_r i R_s	∞	$10^4 \Omega - 10^{12} \Omega$
R_o	0	$30 \Omega - 200 \Omega$
U_{nz}	0	0,3 μV - 30 mV
I_p i I_n	0	0,1 pA - 160 μA

k_{ur} – wzmacnienie sygnału różnicowego, U_{nz} – wejściowe napięcie niezrównoważenia,

WTSS – współczynnik tłumienia sygnału sumacyjnego, I_p i I_n – wejściowe prądy polaryzacji.

R_r i R_s – rezystancje wejściowe dla sygnału różnicowego i sumacyjnego,

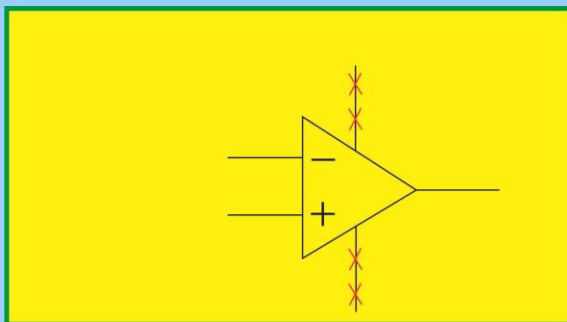
R_o – rezystancja wyjściowa,





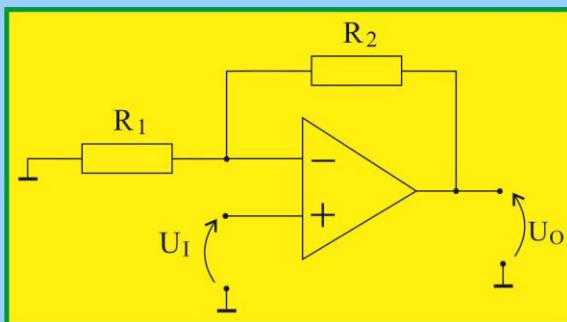
Wzmacniacz nieodwracający fazy.

Wzmacniacz ten zbudowany jest z wykorzystaniem jednego wzmacniacza operacyjnego. Służy do wzmacniania sygnału napięciowego.



Wzmacniacz nieodwracający fazy.

Wzmacniacz ten zbudowany jest z wykorzystaniem jednego wzmacniacza operacyjnego. Służy do wzmacniania sygnału napięciowego.



$$U_O = k_u \cdot U_I$$

Ile wynosi współczynnik wzmocnienia napięciowego: $k_u = U_O / U_I$?



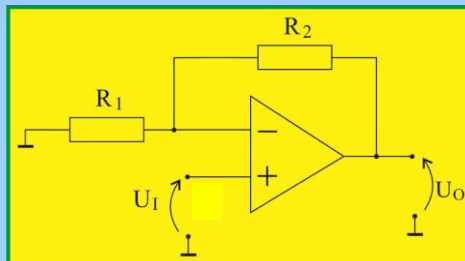


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Przykład 7.1

Obliczyć współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza nieodwracającego fazy przedstawionego na rysunku. Przyjąć, że prądy polaryzacji I_p i I_n są równe 0. $k_u = U_O/U_I = ?$



1. Nanosimy prądy.



Metrologia

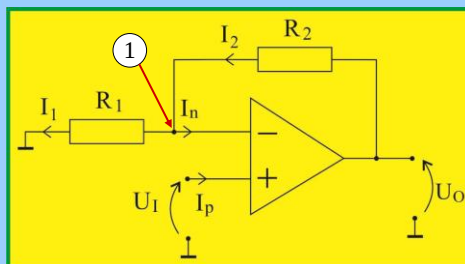


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Przykład 7.1

Obliczyć współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza nieodwracającego fazy przedstawionego na rysunku. Przyjąć, że prądy polaryzacji I_p i I_n są równe 0. $k_u = U_O/U_I = ?$



1. Nanosimy prądy.

2. Zapisujemy równanie na podstawie PPK dla węzła 1.

$$I_2 = I_1 + I_n$$

Z treści zadania: $I_n = 0$

stąd: $I_2 = I_1$

1



Metrologia



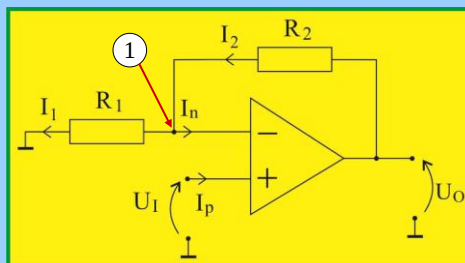


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Przykład 7.1

Obliczyć współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza nieodwracającego fazy przedstawionego na rysunku. Przyjąć, że prądy polaryzacji I_p i I_n są równe 0. $k_u = U_O / U_I = ?$



1. Nanosimy prądy.

2. Zapisujemy równanie na podstawie PPK dla węzła 1.

$$I_2 = I_1 + I_n$$

Z treści zadania: $I_n = 0$

$$\text{stąd: } I_2 = I_1 \quad (1)$$

3. Zaznaczamy napięcia U_N i U_P .



Metrologia

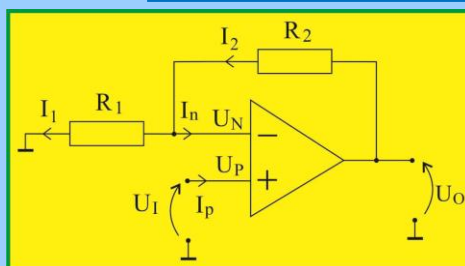


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Przykład 7.1

Obliczyć współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza nieodwracającego fazy przedstawionego na rysunku. Przyjąć, że prądy polaryzacji I_p i I_n są równe 0. $k_u = U_O / U_I = ?$



1. Nanosimy prądy.

2. Zapisujemy równanie na podstawie PPK dla węzła 1.

$$I_2 = I_1 + I_n$$

Z treści zadania: $I_n = 0$

$$\text{stąd: } I_2 = I_1 \quad (1)$$

3. Zaznaczamy napięcia U_N i U_P .

4. Korzystając z prawa Ohma, na podstawie równania (1) zapisujemy:

$$\frac{U_O - U_N}{R_2} = \frac{U_N}{R_1} \quad \text{stąd po przekształceniu: } U_O = U_N \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) \quad (2)$$



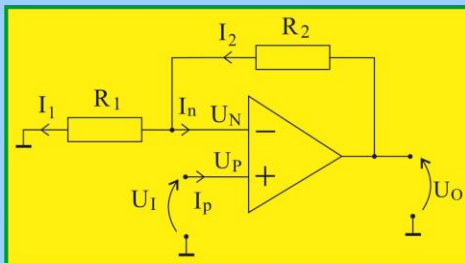


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Przykład 7.1

Obliczyć współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza nieodwracającego fazy przedstawionego na rysunku. Przyjąć, że prądy polaryzacji I_p i I_n są równe 0. $k_u = U_O/U_I = ?$



5. Dla każdego WO możemy zapisać:

$$U_O = k_{ur}(U_P - U_N)$$

Z rysunku:

$$U_I = U_P$$

Stąd po podstawieniu:

$$U_O = k_{ur}(U_I - U_N)$$

wyznaczamy: $U_N = U_I - \frac{U_O}{k_{ur}}$

3



Metrologia

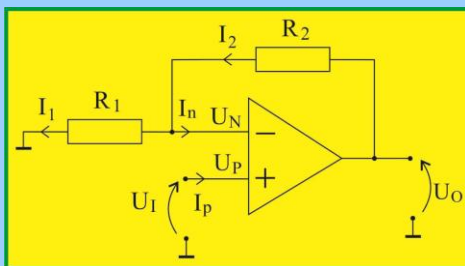


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Przykład 7.1

Obliczyć współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza nieodwracającego fazy przedstawionego na rysunku. Przyjąć, że prądy polaryzacji I_p i I_n są równe 0. $k_u = U_O/U_I = ?$



6. Równanie 3 podstawiamy do 2

$$U_O = \left(U_I - \frac{U_O}{k_{ur}} \right) \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right)$$

Stąd po przekształceniu mamy:

$$\frac{U_O}{U_I} = \frac{1}{\frac{1}{k_{ur}} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}} = k_u$$



Metrologia



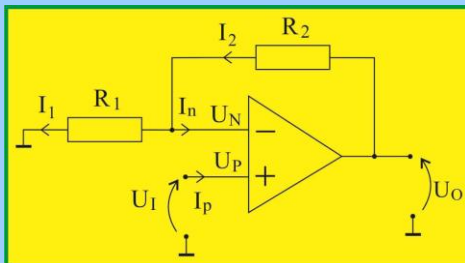


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Przykład 7.1

Obliczyć współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza nieodwracającego fazy przedstawionego na rysunku. Przyjąć, że prądy polaryzacji I_p i I_n są równe 0. $k_u = U_O / U_I = ?$



Współczynnik wzmocnienia napięciowego wzmacniacza nieodwracającego fazy:

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{k_{ur}} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

Jeżeli: $k_{ur} \gg 1$ to: $\frac{1}{k_{ur}} \rightarrow 0$



$$k_u \approx 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

wzór przybliżony



Metrologia

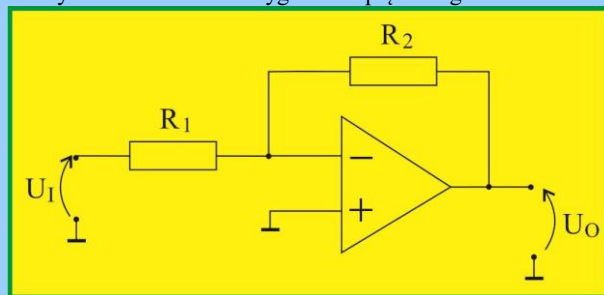


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Wzmacniacz odwracający fazę.

Wzmacniacz ten zbudowany jest z wykorzystaniem jednego wzmacniacza operacyjnego. Służy do wzmocniania sygnału napięciowego.



$$U_O = k_u \cdot U_I$$

$$k_u = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{k_{ur}} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$



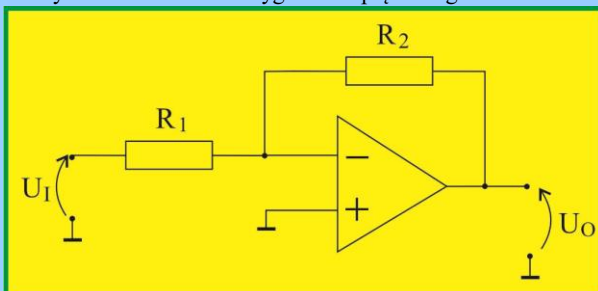
Metrologia





Wzmacniacz odwracający fazę.

Wzmacniacz ten zbudowany jest z wykorzystaniem jednego wzmacniacza operacyjnego. Służy do wzmacniania sygnału napięciowego.



$$U_O = k_u \cdot U_I$$

$$k_u = -\frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{k_{ur}} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

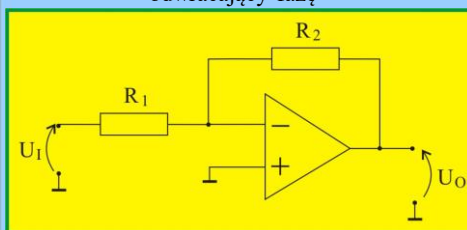
Jeżeli: $\frac{1}{k_{ur}} \rightarrow 0 \Rightarrow k_u \approx -\frac{R_2}{R_1}$ wzór przybliżony

Metrologia



Porównanie wzmacniaczy.

odwracający fazę

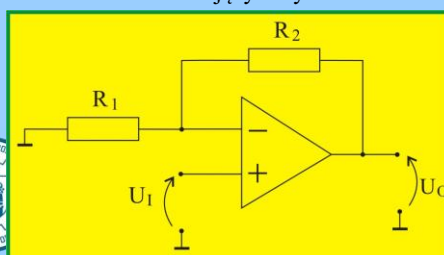


$$U_O = -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_I$$

$$k_u = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$k_u = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{10 \text{ k}\Omega}{5 \text{ k}\Omega} = -2$$

nieodwracający fazy



$$U_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_I$$

$$k_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$k_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{10 \text{ k}\Omega}{5 \text{ k}\Omega} = 3$$

$$\begin{matrix} R_2 = 10 \text{ k}\Omega \\ R_1 = 5 \text{ k}\Omega \end{matrix}$$

Metrologia





Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi

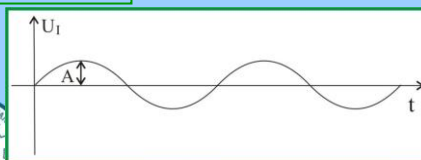
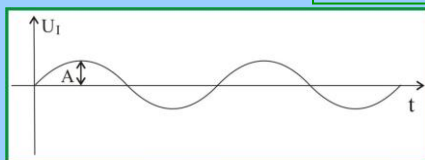


Porównanie wzmacniaczy.

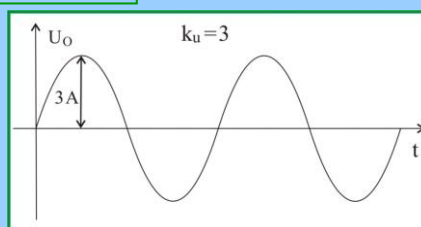
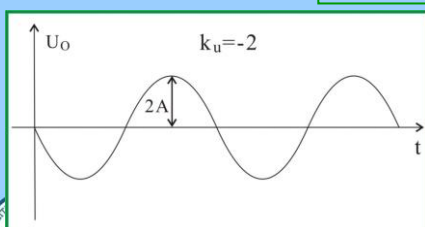
odwracający fazę

nieodwracający fazy

Sygnal na wejściu układu:



Sygnal na wyjściu układu:



Metrologia



Przykład 7.2

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Na wejście wzmacniacza nieodwracającego zasilanego napięciem $\pm 12\text{ V}$ podano napięcie stałe 1 V . Wartość rezystora R_1 wynosi $1\text{ k}\Omega$, k_{ur} wynosi 10^6 . Obliczyć wartość napięcia na wyjściu układu U_o dla dwóch wartości rezystora $R_2=5\text{ k}\Omega$ i $R_2=1\text{ M}\Omega$ korzystając ze wzoru dokładnego i przybliżonego.

- 1) Obliczamy U_o dla $R_2 = 5\text{ k}\Omega$ korzystając ze wzoru przybliżonego:

$$k_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{5 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3} = 6 \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{V}} \right]$$

$$U_o = k_u \cdot U_i = 1 \cdot 6 = 6 \quad [\text{V}]$$

- 2) Obliczamy U_o dla $R_2 = 5\text{ k}\Omega$ korzystając ze wzoru dokładnego:

$$k_u = \frac{1}{\frac{1}{k_{ur}} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}} = \frac{1}{\frac{1}{10^6} + \frac{1 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3}} = 5,999964 \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{V}} \right]$$

$$U_o = k_u \cdot U_i = 1 \cdot 5,999964 = 5,999964 \quad [\text{V}]$$



Metrologia





Przykład 7.2

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Na wejście wzmacniacza nieodwracającego zasilanego napięciem $\pm 12\text{ V}$ podano napięcie stałe 1 V . Wartość rezystora R_1 wynosi $1\text{ k}\Omega$, k_{ur} wynosi 10^6 . Obliczyć wartość napięcia na wyjściu układu U_O dla dwóch wartości rezystora $R_2=5\text{ k}\Omega$ i $R_2=1\text{ M}\Omega$ korzystając ze wzoru dokładnego i przybliżonego.

- 3 Obliczamy U_O dla $R_2 = 1\text{ M}\Omega$ korzystając ze wzoru przybliżonego:

$$k_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{1 \cdot 10^6}{1 \cdot 10^3} = 1001 \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{V}} \right]$$

$$U_O = k_u \cdot U_I = 1001 \cdot 1 = 1001 \quad [\text{V}]$$

Czy to jest możliwe?

Nasycenie wzmacniacza !



Metrologia

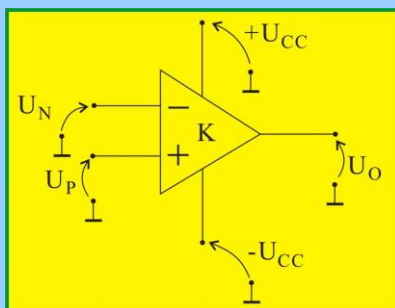


Komparatory



Komparator analogowy napięcia.

Komparator jest szczególnym rodzajem wzmacniacza operacyjnego o bardzo dużym wzmocnieniu k_{ur} przeznaczonym do pracy z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego.



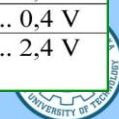
$$U_R = U_P - U_N \quad U_O = k_{ur} \cdot U_R$$

$$U_O = k_{ur} \cdot (U_P - U_N)$$

Zadaniem komparatora napięcia jest wytworzenie sygnału logicznego „0” lub „1” na wyjściu w zależności od znaku różnicy napięć wejściowych.

poziom	wejscie	wyjście
„1”	2 ... 4,75 V	2,4 ... 3,8 V
„0”	0 ... 0,8 V	0,1 ... 0,4 V
poziom	0,8 ... 2 V	0,4 ... 2,4 V
zabroniony		

Dla układów cyfrowych TTL:





Komparatory



Komparator analogowy napięcia.

Zadaniem komparatora napięcia jest wytworzenie sygnału logicznego „0” lub „1” na wyjściu w zależności od znaku różnicy napięć wejściowych.

$$U_O = k_{ur} \cdot (U_P - U_N)$$

Dla $U_P < U_N \Rightarrow$ znak różnicy napięć wejściowych „-”

$$k_{ur} = \infty \Rightarrow U_O = \infty \cdot (-) = U_{Omin} \Rightarrow \text{nasycenie ujemne}$$

Wartość napięcia nasycenia ujemnego - poziom log. „0” (stan niski).



Metrologia



Komparatory



Komparator analogowy napięcia.

Zadaniem komparatora napięcia jest wytworzenie sygnału logicznego „0” lub „1” na wyjściu w zależności od znaku różnicy napięć wejściowych.

$$U_O = k_{ur} \cdot (U_P - U_N)$$

Dla $U_P < U_N \Rightarrow$ znak różnicy napięć wejściowych „-”

$$k_{ur} = \infty \Rightarrow U_O = \infty \cdot (-) = U_{Omin} \Rightarrow \text{nasycenie ujemne}$$

Wartość napięcia nasycenia ujemnego - poziom log. „0” (stan niski).

Dla $U_P > U_N \Rightarrow$ znak różnicy napięć wejściowych „+”

$$k_{ur} = \infty \Rightarrow U_O = \infty \cdot (+) = U_{Omax} \Rightarrow \text{nasycenie dodatnie}$$

Wartość napięcia nasycenia dodatniego - poziom log. „1” (stan wysoki).



Metrologia



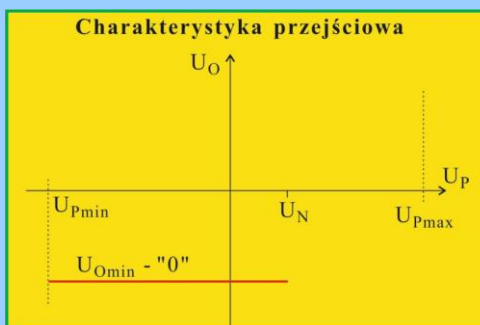
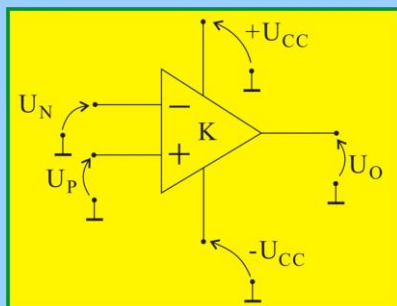


Komparatory



Komparator analogowy napięcia.

$$U_O = k_{ur} \cdot (U_P - U_N) \quad k_{ur} = \infty$$



Dla $U_P < U_N \Rightarrow U_O = \infty \cdot (-) = U_{Omin}$ nasycenie ujemne - poziom log. "0" (stan niski)



Metrologia

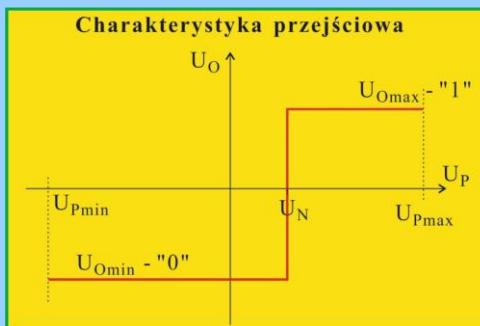
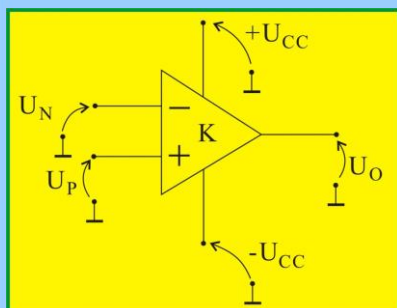


Komparatory



Komparator analogowy napięcia.

$$U_O = k_{ur} \cdot (U_P - U_N) \quad k_{ur} = \infty$$



Dla $U_P < U_N \Rightarrow U_O = \infty \cdot (-) = U_{Omin}$ nasycenie ujemne - poziom log. "0" (stan niski)

Dla $U_P > U_N \Rightarrow U_O = \infty \cdot (+) = U_{Omax}$ nasycenie dodatnie - poziom log. "1" (stan wysoki)



Metrologia





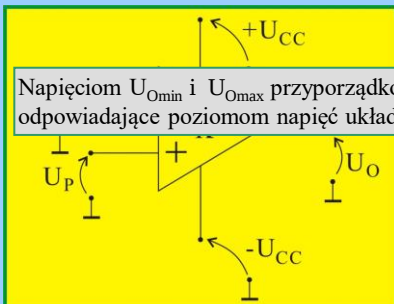
Komparatory



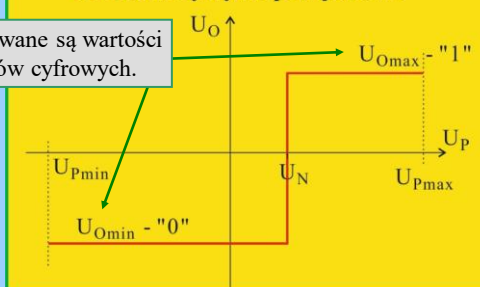
Komparator analogowy napięcia.

$$U_O = k_{ur} \cdot (U_P - U_N) \quad k_{ur} = \infty$$

Napięciom U_{Omin} i U_{Omax} przyporządkowane są wartości odpowiadające poziomom napięć układów cyfrowych.



Charakterystyka przejściowa



Dla $U_P < U_N \Rightarrow U_O = \infty \cdot (-) = U_{Omin}$ nasycenie ujemne - poziom log. "0" (stan niski)

Dla $U_P > U_N \Rightarrow U_O = \infty \cdot (+) = U_{Omax}$ nasycenie dodatnie - poziom log. "1" (stan wysoki)



Metrologia



Komparatory

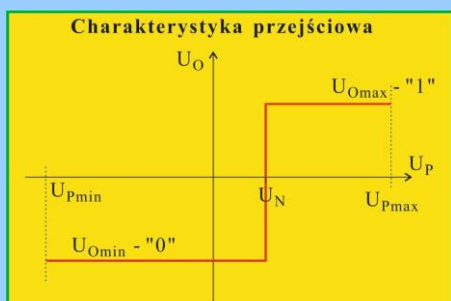


Komparator analogowy napięcia.

$$k_{ur} = \infty$$

$$k_{ur} = 3 \cdot 10^6$$

Charakterystyka przejściowa



Metrologia

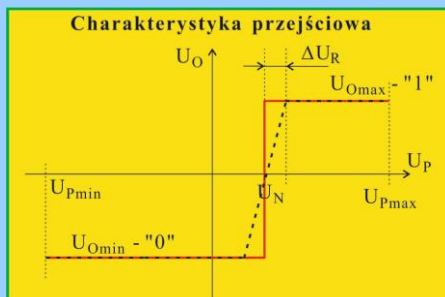




Komparatory



Komparator analogowy napięcia.



$$k_{ur} = \infty$$

$$k_{ur} = 3 \cdot 10^6$$

ΔU_R - czułość komparatora.

$$\text{Dla } U_P > U_N \Rightarrow U_R > 0$$

Najmniejsza wartość napięcia różnicowego powodująca pojawienie się na wyjściu komparatora stanu wysokiego (U_{Omax}).

$$\text{Dla } U_P < U_N \Rightarrow U_R < 0$$

Największa wartość napięcia różnicowego powodująca pojawienie się na wyjściu komparatora stanu niskiego (U_{Omin}).



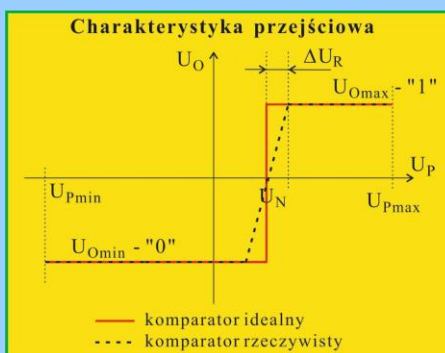
Metrologia



Komparatory



Komparator analogowy napięcia.



$$k_{ur} = \infty$$

$$k_{ur} = 3 \cdot 10^6$$

ΔU_R - czułość komparatora.

$$\text{Dla } U_P > U_N \Rightarrow U_R > 0$$

Najmniejsza wartość napięcia różnicowego powodująca pojawienie się na wyjściu komparatora stanu wysokiego (U_{Omax}).

$$\text{Dla } U_P < U_N \Rightarrow U_R < 0$$

Największa wartość napięcia różnicowego powodująca pojawienie się na wyjściu komparatora stanu niskiego (U_{Omin}).



Metrologia





Komparatory



Komparator analogowy napięcia.

Podstawowe różnice pomiędzy komparatorami a wzmacniaczami operacyjnymi:

- komparatory są układami o większej szybkości działania,
- poziomy napięć na wyjściu komparatora są dostosowane do typowych układów cyfrowych,
- komparatory mają zazwyczaj szerszy niż wzmacniacze operacyjne zakres napięć wejściowych,
- komparatory mają większe wejściowe napięcie niezrównoważenia i wejściowe prądy polaryzacji.

Każdy wzmacniacz operacyjny w układzie z otwartą pętlą sprzężenia zwrotnego może pracować jako komparator.



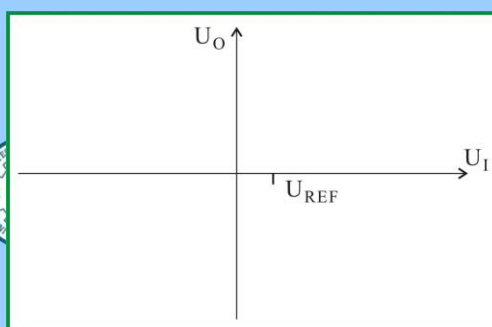
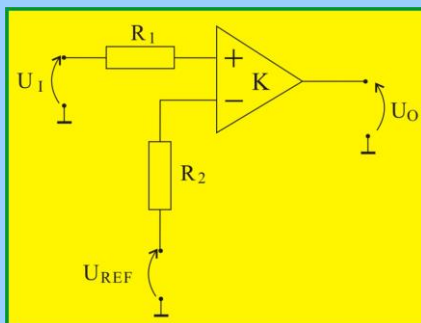
Metrologia



Komparatory



Detektor poziomu napięcia nieodwracający.



Metrologia

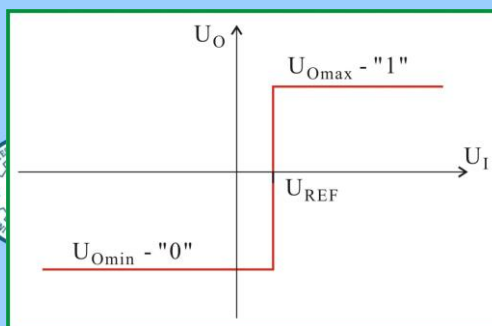
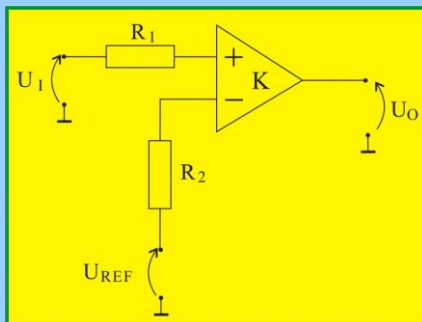




Komparatory



Detektor poziomu napięcia nieodwracający.



U_{REF} – napięcie odniesienia.

Rezystory R_1 i R_2 stosujemy w celu zmniejszenia błędu wynikającego z przepływu prądów polaryzacji przez różne rezystancje źródeł porównywanych sygnałów.



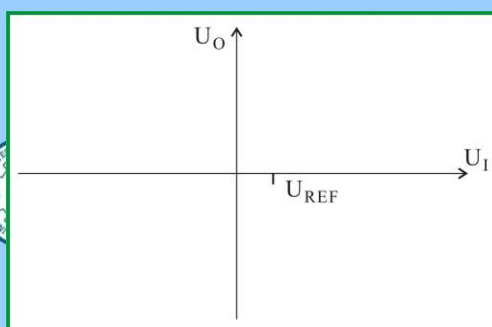
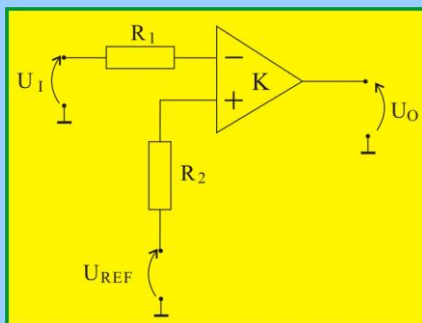
Metrologia



Komparatory



Detektor poziomu napięcia odwracający.



U_{REF} – napięcie odniesienia.



Metrologia

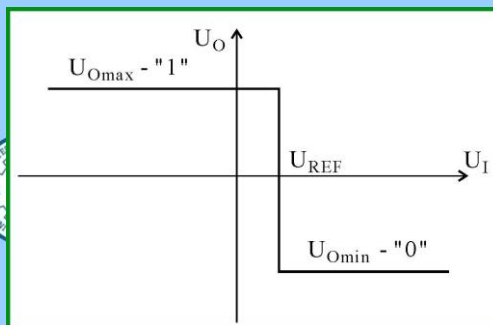
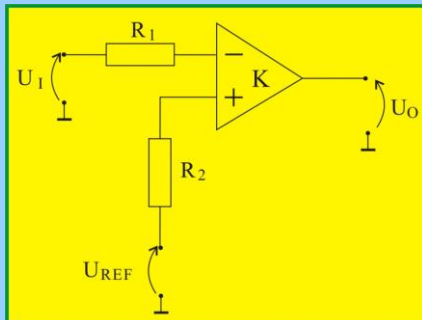




Komparatory



Detektor poziomu napięcia odwracający.



U_{REF} – napięcie odniesienia.



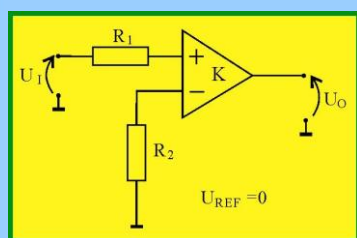
Metrologia



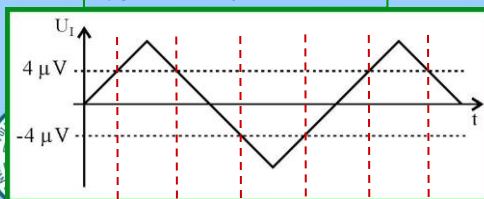
Komparatory



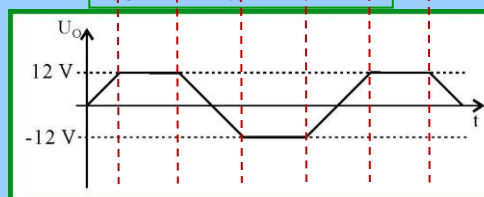
Detektor poziomu napięcia nieodwracający.



Sygnal na wejściu układu:



Sygnal na wyjściu układu:



Komparator:

$U_{Omin} = -12 \text{ V}$,

$U_{Omax} = 12 \text{ V}$,

$\Delta U_R = 4 \mu\text{V}$.



Metrologia

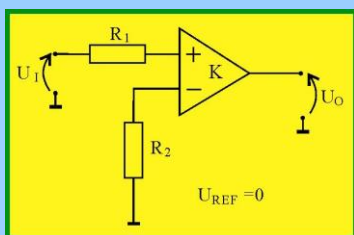




Komparatory



Detektor poziomu napięcia nieodwracający.



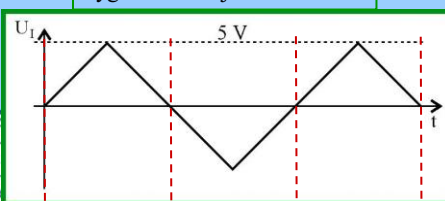
Komparator:

$$U_{Omin} = -12 \text{ V},$$

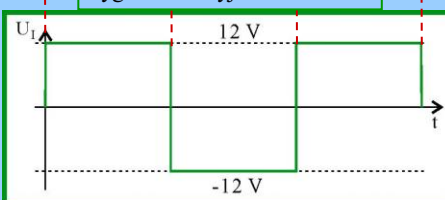
$$U_{Omax} = 12 \text{ V},$$

$$\Delta U_R = 4 \mu\text{V}.$$

Sygnał na wejściu układu:



Sygnał na wyjściu układu:



Metrologia

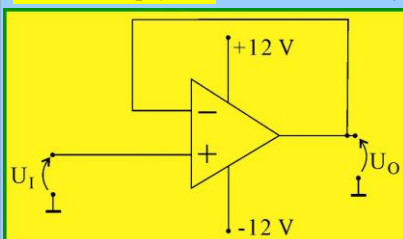


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Wtórnik napięcia.

Wtórnik na wyjściu powtarza sygnał napięciowy z wejścia.



Metrologia



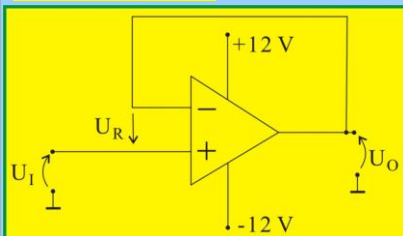


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Wtórnik napięcia.

Wtórnik na wyjściu powtarza sygnał napięciowy z wejścia.



$$U_I = U_O + U_R$$

$$U_R = \frac{U_O}{k_{ur}}$$

Po podstawieniu mamy:

$$U_I = U_O + \frac{U_O}{k_{ur}}$$

Stąd:

$$U_O = \frac{U_I}{\frac{1}{k_{ur}} + 1}$$

$$U_O \approx U_I$$



Metrologia

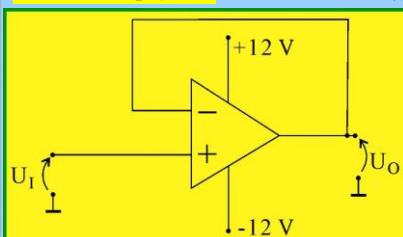


Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi

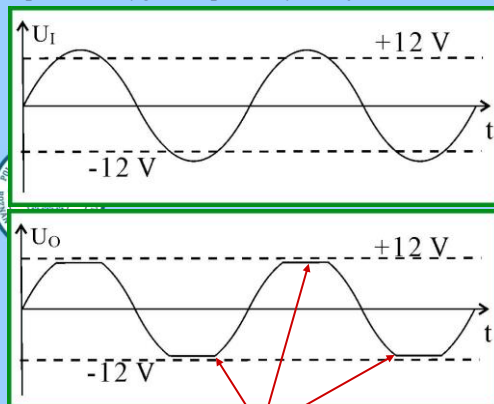


Wtórnik napięcia.

Wtórnik na wyjściu powtarza sygnał napięciowy z wejścia.



Charakteryzuje się bardzo dużą rezystancją (impedancją) wejściową i bardzo małą rezystancją (impedancją) wyjściową.



Efekt nasycenia wzmacniacza operacyjnego.

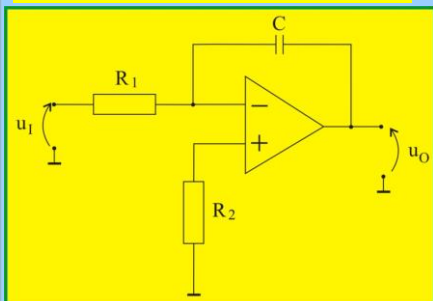


Metrologia





Układ całkujący (integrator Millera).



$$u_o(t) = -\frac{1}{R_1 \cdot C} \int_0^t u_I(t) dt$$

$$\text{Dla: } u_I(t) = \text{const} = U_{DC}$$

$$\begin{aligned} u_o(t) &= -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \int_0^t dt = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} [t]_0^t = \\ &= -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t \end{aligned}$$

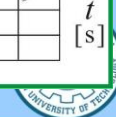
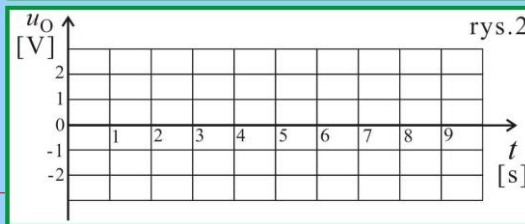
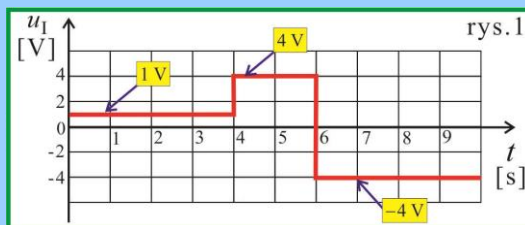
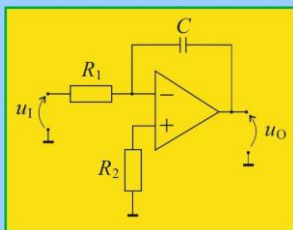
$$u_o(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$



Przykład 7.3



Do wejścia układu całkującego doprowadzono sygnał napięciowy u_I przedstawiony na rys. 1. Obliczyć wartości napięcia u_O na wyjściu układu dla $t_1 = 4$ s, $t_2 = 6$ s, $t_3 = 10$ s oraz narysować sygnał na wyjściu układu dla $0 \leq t \leq 10$ s (rys. 2). Przyjąć: $R_1 = 1$ M Ω oraz $C = 4$ μ F.





Przykład 7.3

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Do wejścia układu całkującego doprowadzono sygnał napięciowy u_I przedstawiony na rys. 1. Obliczyć wartości napięcia u_O na wyjściu układu dla $t_1 = 4$ s, $t_2 = 6$ s, $t_3 = 10$ s oraz narysować sygnał na wyjściu układu dla $0 \leq t \leq 10$ s (rys. 2). Przyjąć: $R_1 = 1$ M Ω oraz $C = 4$ μ F.

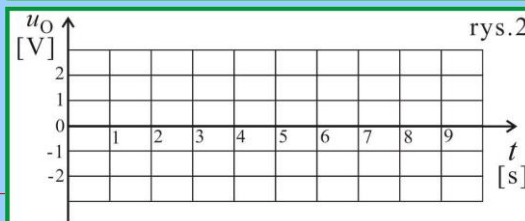
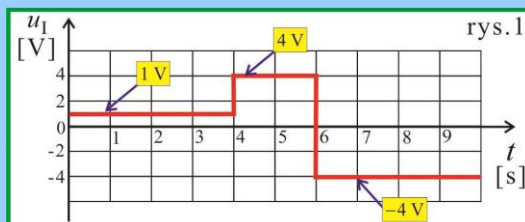
$$u_O(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$

- 1 Obliczamy wartość napięcia u_O dla $t = t_1 = 4$ s:

$$\text{Dla: } 0 \leq t \leq 4 \quad u_I = U_{DC} = 1 \text{ V}$$

$$u_O(t = t_1) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} t_1 =$$

$$= -\frac{1}{1 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} 4 = -1 \text{ V}$$



Przykład 7.3

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Do wejścia układu całkującego doprowadzono sygnał napięciowy u_I przedstawiony na rys. 1. Obliczyć wartości napięcia u_O na wyjściu układu dla $t_1 = 4$ s, $t_2 = 6$ s, $t_3 = 10$ s oraz narysować sygnał na wyjściu układu dla $0 \leq t \leq 10$ s (rys. 2). Przyjąć: $R_1 = 1$ M Ω oraz $C = 4$ μ F.

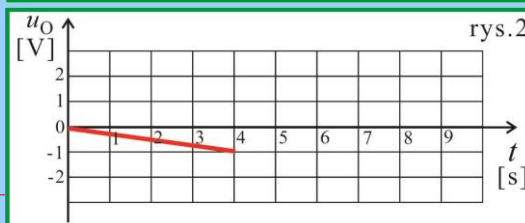
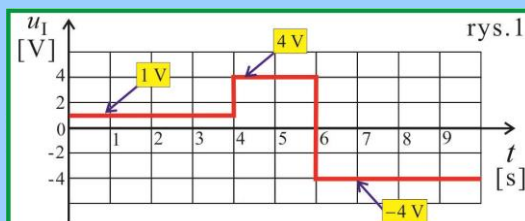
$$u_O(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$

- 1 Obliczamy wartość napięcia u_O dla $t = t_1 = 4$ s:

$$\text{Dla: } 0 \leq t \leq 4 \quad u_I = U_{DC} = 1 \text{ V}$$

$$u_O(t = t_1) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} t_1 =$$

$$= -\frac{1}{1 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} 4 = -1 \text{ V}$$





Przykład 7.3

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



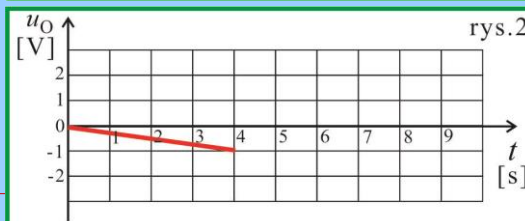
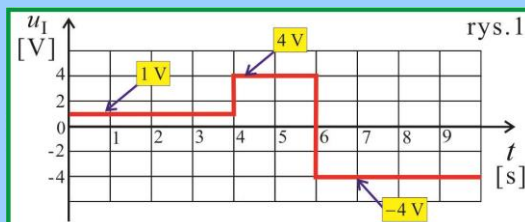
Do wejścia układu całkującego doprowadzono sygnał napięciowy u_I przedstawiony na rys. 1. Obliczyć wartości napięcia u_O na wyjściu układu dla $t_1 = 4$ s, $t_2 = 6$ s, $t_3 = 10$ s oraz narysować sygnał na wyjściu układu dla $0 \leq t \leq 10$ s (rys. 2). Przyjąć: $R_1 = 1$ M Ω oraz $C = 4$ μ F.

$$u_O(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$

- 2 Obliczamy wartość napięcia u_O dla $t = t_2 = 6$ s:

Dla: $4 < t \leq 6$ $u_I = U_{DC} = 4$ V

$$\begin{aligned} u_O(t = t_2) &= \\ &= u_O(t_1) + \left[-\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} (t_2 - t_1) \right] = \\ &= -1 + \left[-\frac{4}{1 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} (6 - 4) \right] = \\ &= -3 \text{ V} \end{aligned}$$



Przykład 7.3

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



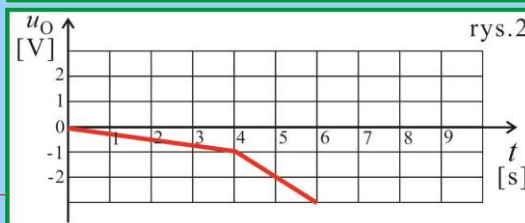
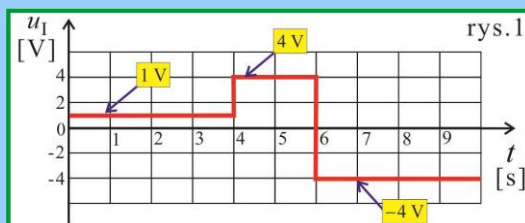
Do wejścia układu całkującego doprowadzono sygnał napięciowy u_I przedstawiony na rys. 1. Obliczyć wartości napięcia u_O na wyjściu układu dla $t_1 = 4$ s, $t_2 = 6$ s, $t_3 = 10$ s oraz narysować sygnał na wyjściu układu dla $0 \leq t \leq 10$ s (rys. 2). Przyjąć: $R_1 = 1$ M Ω oraz $C = 4$ μ F.

$$u_O(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$

- 2 Obliczamy wartość napięcia u_O dla $t = t_2 = 6$ s:

Dla: $4 < t \leq 6$ $u_I = U_{DC} = 4$ V

$$\begin{aligned} u_O(t = t_2) &= \\ &= u_O(t_1) + \left[-\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} (t_2 - t_1) \right] = \\ &= -1 + \left[-\frac{4}{1 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} (6 - 4) \right] = \\ &= -3 \text{ V} \end{aligned}$$





Przykład 7.3

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



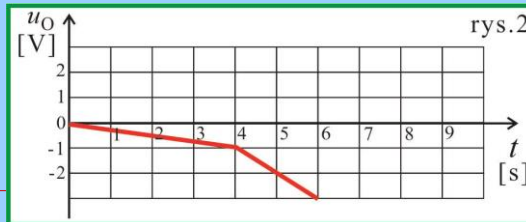
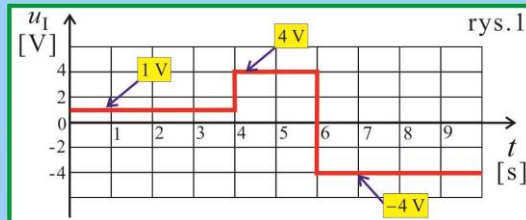
Do wejścia układu całkującego doprowadzono sygnał napięciowy u_I przedstawiony na rys. 1. Obliczyć wartości napięcia u_O na wyjściu układu dla $t_1 = 4$ s, $t_2 = 6$ s, $t_3 = 10$ s oraz narysować sygnał na wyjściu układu dla $0 \leq t \leq 10$ s (rys. 2). Przyjąć: $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$ oraz $C = 4 \mu\text{F}$.

$$u_O(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$

- 3 Obliczamy wartość napięcia u_O dla $t = t_3 = 10$ s:

$$\text{Dla: } 6 < t \leq 10 \quad u_I = U_{DC} = -4 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} u_O(t = t_3) &= \\ &= u_O(t_2) + \left[-\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} (t_3 - t_2) \right] = \\ &= -3 + \left[-\frac{-4}{1 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} (10 - 6) \right] = \\ &= 1 \text{ V} \end{aligned}$$



Przykład 7.3

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



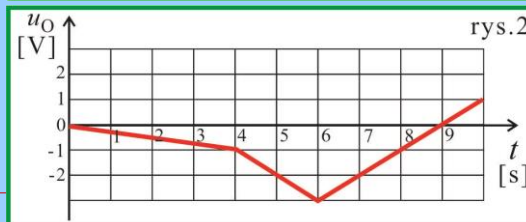
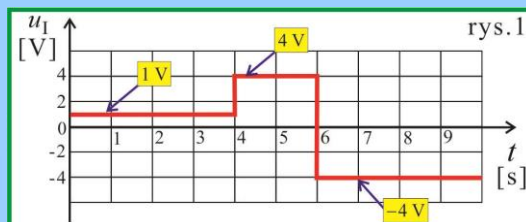
Do wejścia układu całkującego doprowadzono sygnał napięciowy u_I przedstawiony na rys. 1. Obliczyć wartości napięcia u_O na wyjściu układu dla $t_1 = 4$ s, $t_2 = 6$ s, $t_3 = 10$ s oraz narysować sygnał na wyjściu układu dla $0 \leq t \leq 10$ s (rys. 2). Przyjąć: $R_1 = 1 \text{ M}\Omega$ oraz $C = 4 \mu\text{F}$.

$$u_O(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$

- 3 Obliczamy wartość napięcia u_O dla $t = t_3 = 10$ s:

$$\text{Dla: } 6 < t \leq 10 \quad u_I = U_{DC} = -4 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} u_O(t = t_3) &= \\ &= u_O(t_2) + \left[-\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} (t_3 - t_2) \right] = \\ &= -3 + \left[-\frac{-4}{1 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} (10 - 6) \right] = \\ &= 1 \text{ V} \end{aligned}$$





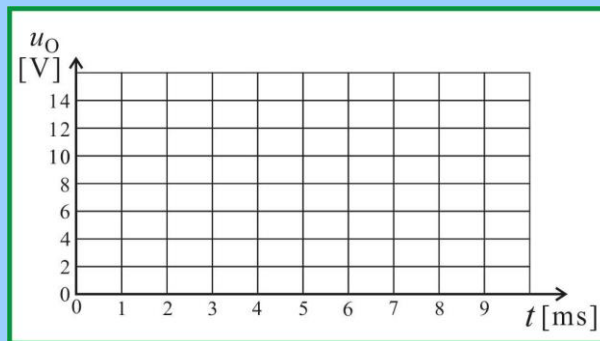
Przykład 7.4

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Do wejścia układu całkującego przedstawionego na rysunku doprowadzono sygnał napięciowy $U_{DC} = -7$ V. Obliczyć czas, po którym wzmacniacz operacyjny wejdzie w nasycenie. Przyjąć, że maksymalne napięcie wyjściowe WO $U_{OM} = 14$ V (dla $U_{CC} = 15$ V), $R_1 = 1$ k Ω oraz $C = 3$ μ F.

$$u_o(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$



Metrologia



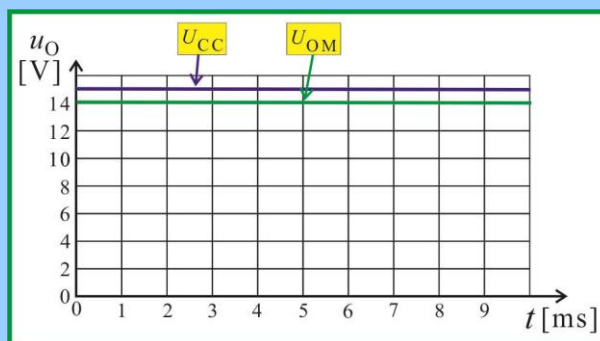
Przykład 7.4

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Do wejścia układu całkującego przedstawionego na rysunku doprowadzono sygnał napięciowy $U_{DC} = -7$ V. Obliczyć czas, po którym wzmacniacz operacyjny wejdzie w nasycenie. Przyjąć, że maksymalne napięcie wyjściowe WO $U_{OM} = 14$ V (dla $U_{CC} = 15$ V), $R_1 = 1$ k Ω oraz $C = 3$ μ F.

$$u_o(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$



Metrologia





Przykład 7.4

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Do wejścia układu całkującego przedstawionego na rysunku doprowadzono sygnał napięciowy $U_{DC} = -7$ V. Obliczyć czas, po którym wzmacniacz operacyjny wejdzie w nasycenie. Przyjąć, że maksymalne napięcie wyjściowe WO $U_{OM} = 14$ V (dla $U_{CC} = 15$ V), $R_1 = 1$ k Ω oraz $C = 3$ μ F.

$$u_o(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$

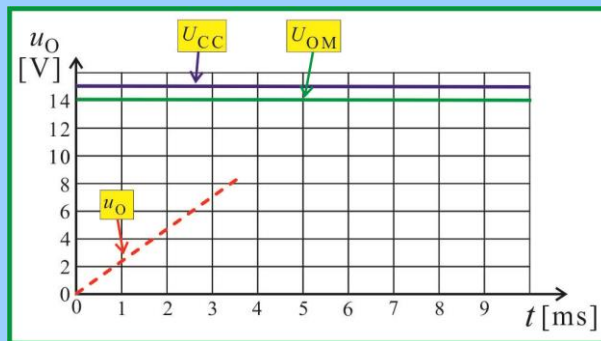
Obliczamy t , dla którego

$$u_o(t) = U_{OM}$$

$$U_{OM} = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t \quad \text{stąd:}$$

$$t = -\frac{R_1 \cdot C \cdot U_{OM}}{U_{DC}}$$

$$t = -\frac{1 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 14}{-7} = 6 \text{ ms}$$



Metrologia



Przykład 7.4

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi



Do wejścia układu całkującego przedstawionego na rysunku doprowadzono sygnał napięciowy $U_{DC} = -7$ V. Obliczyć czas, po którym wzmacniacz operacyjny wejdzie w nasycenie. Przyjąć, że maksymalne napięcie wyjściowe WO $U_{OM} = 14$ V (dla $U_{CC} = 15$ V), $R_1 = 1$ k Ω oraz $C = 3$ μ F.

$$u_o(t) = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t$$

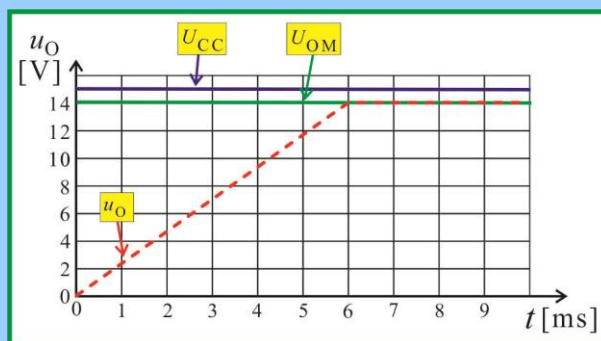
Obliczamy t , dla którego

$$u_o(t) = U_{OM}$$

$$U_{OM} = -\frac{U_{DC}}{R_1 \cdot C} \cdot t \quad \text{stąd:}$$

$$t = -\frac{R_1 \cdot C \cdot U_{OM}}{U_{DC}}$$

$$t = -\frac{1 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 14}{-7} = 6 \text{ ms}$$



Metrologia

