

# WZMACNIACZE OPERACYJNE

## Instrukcja do zajęć laboratoryjnych

Tematem ćwiczenia są zastosowania wzmacniaczy operacyjnych w układach przetwarzania sygnałów analogowych. Ćwiczenie składa się z dwóch części: pomiarowej i symulacyjnej realizowanych na odrębnych zajęciach. Zadaniem ćwiczących jest dokonanie pomiaru wybranych parametrów i charakterystyk kilku układów funkcjonalnych wykorzystujących wzmacniacze operacyjne i porównanie ich z wynikami symulacji.

Celem ćwiczenia jest ugruntowanie wiadomości dotyczących własności sprzężenia zwrotnego oraz zapoznanie z różnorodnymi zastosowaniami wzmacniaczy operacyjnych. Przed przystąpieniem do zajęć należy indywidualnie przygotować konspekt zgodnie z przydzieloną grupą laboratoryjną.

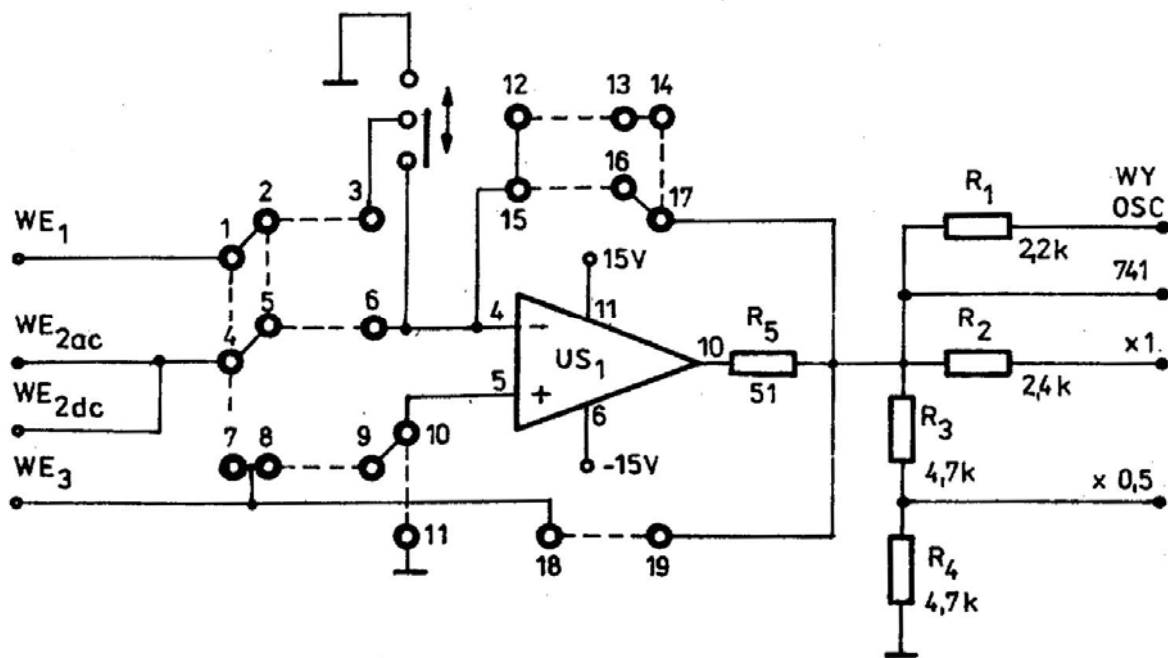
### Pomiary wzmacniacza operacyjnego

*W ćwiczeniu badać będziemy własności wybranych aplikacji wzmacniacza operacyjnego. Poniższy zestaw należy traktować jako propozycję maksimum. Ostateczną decyzję co do realizacji poszczególnych układów i punktów podejmie prowadzący ćwiczenia w oparciu o ocenę sprawności technicznej zespołu ćwiczących. Warunkiem dopuszczenia do realizacji ćwiczenia jest przygotowanie konspektu oraz posiadanie arkusza do notowania wyników pomiarów.*

#### 1.1. Opis techniczny badanego układu (wkładka DA041A)

W ćwiczeniu wykorzystujemy wkładkę DA041A zawierającą wzmacniacz operacyjny LF356, na której rozmieszczono odpowiednio 19 zacisków umożliwiających dołączenie do wzmacniacza operacyjnego różnych elementów zewnętrznych – rezystorów, kondensatorów oraz zwór. Schemat ideowy układu pokazano na rys.1. Na rysunku zachowano rozmieszczenie zacisków takie samo jak na płycie drukowanej w widoku od strony elementów. Wzmacniacz zasilany jest napięciem symetrycznym  $\pm 15V$ . Przełącznik suwakowy umożliwia dołączenie zacisku 3 do masy lub do wejścia odwracającego wzmacniacza operacyjnego. Rezystory  $R_1$  i  $R_2$  zmniejszają wpływ kabli połączeniowych na działanie układu i wyniki pomiarów, natomiast rezystory  $R_3$  i  $R_4$  są dzielnikiem napięciowym niezbędnym do dopasowania zakresu napięć wyjściowych badanego układu do zakresu dopuszczalnych napięć wejściowych dla innych wkładek pomiarowych (np. przetwornika wartości szczytowej SN5011)

**Rożmieszczenie zacisków zachowano takie samo jak na płycie drukowanej w widoku od strony elementów**



Rys.1 Schemat ideowy wkładki pomiarowej DA 041A.

### Wykaz aparatury pomocniczej

- generator funkcyjny Protek 9205
- generator przebiegów synfazowych SN3112
- generator sinusoidalny przestrajany SN2013
- oscyloskop dwukanałowy Tektronix 2225
- przetwornik wartości szczytowej SN5011

## 1.2. Przebieg ćwiczenia

### 1.2.1. Wzmacniacz operacyjny w konfiguracji odwracającej i nieodwracającej

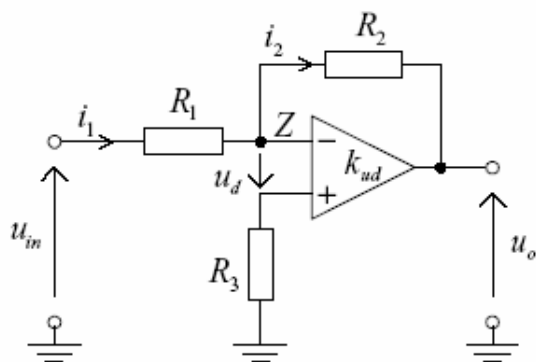
#### Konspekt

Wyprowadzić zależność na wzmocnienie układu i dobrać jego wartość zgodnie z tabelką. Przygotować schemat montażowy korzystając z widoku wkładki zamieszczonego na rys.1.

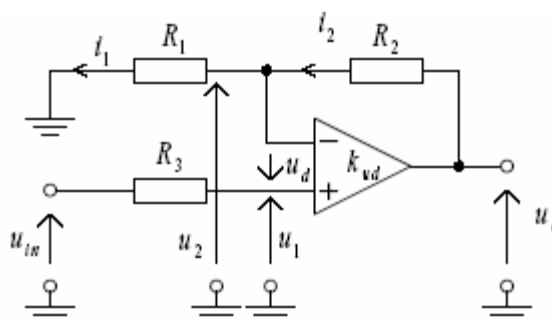
	Zespół A	Zespół B	Zespół C	Zespół D
Wzmocnienie $k_U$ [V/V]	$5 \pm 0,5$	$-(2 \pm 0,5)$	$-(7 \pm 0,5)$	$7 \pm 1$
Wzmocnienie $k_U$ [V/V]	$21 \pm 1$	$-(12 \pm 0,5)$	$-(15 \pm 1)$	$18 \pm 1$

Uwaga! Do dyspozycji wyłącznie rezystory o wartościach:

$1k\Omega$ ,  $3.3k\Omega$ ,  $4.7k\Omega$ ,  $10k\Omega$ ,  $15k\Omega$ ,  $22k\Omega$ ,  $39k\Omega$ ,  $56k\Omega$ ,  $68k\Omega$ ,  $82k\Omega$ ,  $100k\Omega$



Wzmacniacz w konfiguracji odwracającej



Wzmacniacz w konfiguracji nieodwracającej

### **Pomiary:**

- Pomiar wzmacnienia układu

Sygnal z generatora podać na wejście 1 (częstotliwość rzędu 1 kHz), amplitudę dobrać tak aby nie wystąpiło przesterowanie wzmacniacza. Obserwować na oscyloskopie napięcie wejściowe i wyjściowe (określić wzmacnienie i przesunięcie fazowe sygnału wyjściowego). Jeśli układ nie spełnia założeń projektowych należy skorygować wartości rezystorów, tak aby osiągnąć wzmacnienie zgodne z założeniami. Doświadczenia powtórzyć dla drugiego układu (o innym wzmacnieniu).

- Pomiar charakterystyki przejściowej

Przełączając oscyloskop w tryb pracy XY i stosując niewielką częstotliwość sygnału wejściowego (najmniejszą, dla której można zlikwidować pulsowanie obrazu na oscyloskopie) zmierzyć i przerysować charakterystykę przejściową układu  $U_{WY}=f(U_{WE})$ . Sygnal wejściowy wzmacniacza (z generatora Protek9205 ustawić sygnał trójkątny) doprowadzić do płytek X a wyjściowy do płytek Y oscyloskopu. Skalibrować położenie plamki przed rozpoczęciem pomiarów. Ze względu na małą częstotliwość sygnału otrzymana charakterystyka może być uważana za stałoprądową. Amplituda powinna być tak dobrana by układ osiągał nasycenie. Porównaj wzmacnienie układu (określone jako nachylenie uzyskanej prostej) z wartościami uzyskanymi przy pomiarach w dziedzinie czasu. Określić wartość napięcia przesterowania wzmacniacza. Doświadczenia powtórzyć dla drugiego układu (o innym wzmacnieniu).

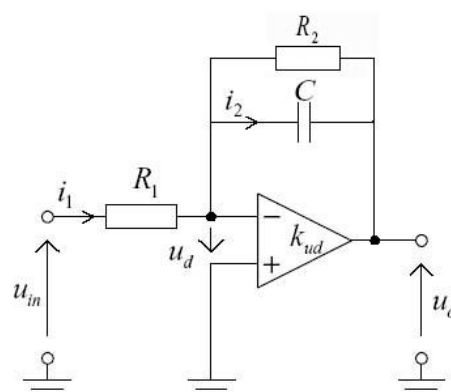
- Określić charakterystykę częstotliwościową układu dla dwóch obliczonych wzmacnień

Doprowadzić na wejście układu sygnał o częstotliwości ok.1kHz i tak dobranej amplitudzie, aby na wyjściu nie wystąpiło przesterowanie wzmacniacza. Następnie zanotować poziom sygnału wyjściowego (przy stałej amplitudzie na wejściu!) w zakresie od 100Hz – 1MHz. Szczególną uwagę podczas pomiarów zwrócić na górną częstotliwość graniczną  $f_{3dB}$  (częstotliwość, przy której poziom sygnału wyjściowego spada do wartości 0,707 wartości maksymalnej)

Wyjaśnij w sprawozdaniu co oznacza pojęcie „stałego pola wzmacnienia”.

### 1.2.2. Wzmacniacz operacyjny jako układ całkujący

Obok przedstawiono aplikację wzmacniacza operacyjnego w układzie do kształtowania sygnału analogowego. Odpowiedni dobór parametrów elementów zewnętrznych pozwala na całkowanie sygnału wejściowego.



#### Konspekt

Dla wartości zamieszczonych w tabeli poniżej obliczyć stałą czasową  $\tau$  układu i oszacować w jakim zakresie częstotliwości sygnał będzie całkowany. Narysuj w konspekcie scałkowany sygnał prostokątny jeśli  $\tau \gg T$ ,  $\tau \ll T$  oraz  $\tau = T$ , gdzie  $T$  jest okresem sygnału wejściowego.

Wyjaśnij jak na podstawie odpowiedzi impulsowej układu całkującego określić jego pasmo (jaki związek występuje między czasem narastania układu  $t_n$  a jego 3-decybelową częstotliwością graniczną)

Jaką rolę pełni rezystor  $R_2$  w pętli sprzężenia zwrotnego?

Przygotować w konspekcie sposób montażu układu korzystając z widoku wkładki (rys.1)

	Zespół A	Zespół B	Zespół C	Zespół D
Rezystor $R_1$ [k $\Omega$ ]	10 k $\Omega$	15 k $\Omega$	10 k $\Omega$	15 k $\Omega$
Rezystor $R_2$ [k $\Omega$ ]	56 k $\Omega$	82 k $\Omega$	68 k $\Omega$	100 k $\Omega$
Pojemność $C$ [nF]	6.8nF	15nF	22nF	5.6nF

#### Pomiary:

Zbudować układ korzystając z elementów o wartościach podanych w tabeli powyżej.

- Obserwacja całkowania sygnału

Podać sygnał prostokątny z generatora Protek9205 na wejście 1 (częstotliwość rzędu kilkuset herców), amplitudę dobrać tak aby nie wystąpiło przesterowanie wzmacniacza. Obserwować na oscyloskopie napięcie wejściowe i wyjściowe. Odrysować kilka przebiegów dla różnych częstotliwości sygnału i sformułować wnioski. Czy operacja całkowania jest realizowana bez żadnych ograniczeń?

Jaki wpływ ma składowa stała sygnału wejściowego na kształt i poziom sygnału wyjściowego.

- Określić pasmo na podstawie odpowiedzi impulsowej

Podać sygnał prostokątny z generatora Protek9205 na wejście 1 o tak dobranej amplitudzie, aby nie wystąpiło przesterowanie wzmacniacza. Obserwować na oscyloskopie napięcie wejściowe i wyjściowe. Dobrać tak częstotliwość sygnału, aby możliwe było określenie pasma układu na podstawie czasu narastania  $t_n$ .

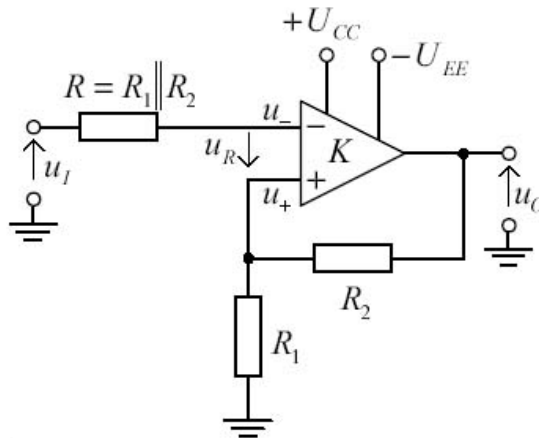
- Określić charakterystykę częstotliwościową układu

Doprowadzić do wejścia układu sygnał sinusoidalny o tak dobranej amplitudzie, aby na wyjściu nie wystąpiło przesterowanie. Przestrzegając częstotliwość generatora Protek9205 wyznaczyć częstotliwościową charakterystykę integratora.

Porównaj w sprawozdaniu pasmo wyznaczone na podstawie odpowiedzi impulsowej oraz z charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej.

### 1.2.3. Wzmacniacz operacyjny w układzie Schmitta

Zbudować układ Schmitta przedstawiony na rysunku poniżej. Układ ten należy do klasy układów nieliniowych a prezentujemy go w tym ćwiczeniu ze względu na jego formalne podobieństwo do wzmacniacza nieodwracającego - różnica polega na zamianie zacisków wejściowych wzmacniacza operacyjnego - ale związana z tym zmiana charakteru sprzężenia zwrotnego z ujemnego na dodatnie powoduje radykalną zmianę funkcji!



#### Konspekt

Obliczyć wartości rezystorów sprzężenia zwrotnego tak, aby otrzymać progi przełączania zgodne z wartościami podanymi w tabeli.

Dla zaprojektowanego układu Schmitta narysować charakterystykę przejściową.

Przygotować w konspekcie sposób montażu układu korzystając z widoku wkładki (rys.1)

	Zespół A	Zespół B	Zespół C	Zespół D
Napięcie progowe $U_{IMAX}$	$2 \pm 10\%$	$6 \pm 10\%$	$5 \pm 10\%$	$3 \pm 10\%$
Napięcie progowe $U_{IMIN}$	$-2 \pm 10\%$	$-6 \pm 10\%$	$-5 \pm 10\%$	$-3 \pm 10\%$

Uwaga! Do dyspozycji wyłącznie rezystory o wartościach:

$1k\Omega$ ,  $3.3k\Omega$ ,  $4.7k\Omega$ ,  $10k\Omega$ ,  $15k\Omega$ ,  $22k\Omega$ ,  $39k\Omega$ ,  $56k\Omega$ ,  $68k\Omega$ ,  $82k\Omega$ ,  $100k\Omega$

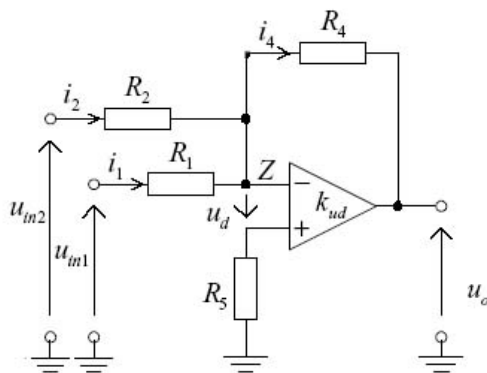
### Pomiary:

- Pomiar charakterystyki przejściowej

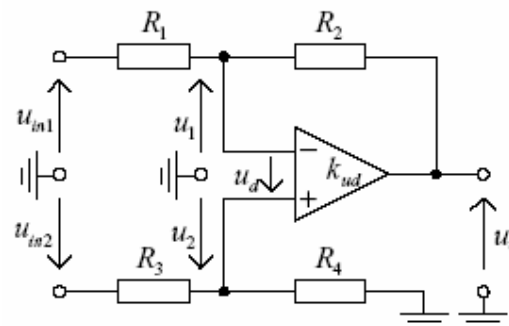
Przełączając oscyloskop w tryb pracy XY i stosując niewielką częstotliwość sygnału wejściowego (najmniejszą, dla której można zlikwidować pulsowanie obrazu na oscyloskopie) określić charakterystykę przejściową. Do wejścia układu Schmitta doprowadzić sygnał trójkątny z generatora Protek9205. Sygnał wejściowy wzmacniacza doprowadzić do płytek X a wyjściowy do płytek Y oscyloskopu. Skalibrować położenie plamki przed rozpoczęciem pomiarów. Zmierzyć i przerysować charakterystykę przejściową układu  $U_{WY}=f(U_{WE})$ . Ze względu na małą częstotliwość sygnału otrzymana charakterystyka może być uważana za stałoprądową.

### 1.2.4. Sumowanie i odejmowanie sygnałów analogowych na wzmacniaczu operacyjnym

W zależności od przydzielonego numeru zespołu zbudować na wkładce DA041A wzmacniacz sumujący lub wzmacniacz różnicowy.



Wzmacniacz sumujący.



Wzmacniacz różnicowy

### Konspekt

Wybrać układ przedstawiony powyżej, tak aby zapewnił realizację funkcji określonej w tabeli

Przygotować w konspekcie sposób montażu układu korzystając z widoku wkładki (rys.1)

	Zespół A	Zespół B	Zespół C	Zespół D
Realizowana funkcja	$3.5 (U_{in2} - U_{in1})$	$-7 (U_{in2} + U_{in1})$	$2 (U_{in2} - U_{in1})$	$-2.5 (U_{in2} + U_{in1})$

Funkcje powinny być realizowane z dokładnością 10%

Uwaga! Do dyspozycji wyłącznie rezystory o wartościach:

$1k\Omega, 3.3k\Omega, 4.7k\Omega, 10k\Omega, 15k\Omega, 22k\Omega, 39k\Omega, 56k\Omega, 68k\Omega, 82k\Omega, 100k\Omega$

**Pomiary:**

- Pomiar wzmacniacza sumującego lub odejmującego

Do badań wykorzystać źródło sygnału synfazowego SN3112. Generator ten służy do wytworzenia dwóch przebiegów okresowych: trapezoidalnego i sinusoidalnego w taki sposób, aby częstotliwość sygnału sinusoidalnego była 16-krotnie większa niż trapezoidalnego. Amplituda sygnałów jest regulowana niezależnie za pomocą odpowiednich pokręteł.

Do wejść zbudowanego wzmacniacza (sumującego lub odejmującego) doprowadzić sygnał sinusoidalny i trapezoidalny o takiej amplitudzie, aby na wyjściu nie nastąpiło przesterowanie. Można dobrać stosunek amplitud sinusa i trapezu tak aby uzyskać „ładny” efekt wizualny.

Zaobserwować na oscyloskopie i przerysować do sprawozdania kształt sygnału z wejść oraz wyjścia wzmacniacza operacyjnego. Wyjaśnić jego kształt i poziom.

**Literatura pomocnicza:**

Wykłady - Podstawy Elektroniki, KE AGH

S.Kuta „Elementy i układy elektroniczne cz.1,2” AGH

U.Tietze Ch.Schenk, „Układy półprzewodnikowe” WNT

## Wzmacniacz operacyjny

### Protokół z pomiarów

#### 1. Pomiar wzmocnienia $k_U$ i charakterystyk przejściowych wzmacniacza

##### 1.1. Pomiar wzmocnienia $k_U$ i napięcia przesterowania układu $U_p$

Wzmocnienie - $k_U = \dots\dots$ [V/V]		Wzmocnienie - $k_U = \dots\dots$ [V/V]	
Wejście $U_{WE}$		Wejście $U_{WE}$	
V/div		V/div	
Wyjście $U_{WY}$		Wyjście $U_{WY}$	
V/div		V/div	
Podstawa czasu: ms/div		Podstawa czasu: ms/div	
Zmierzona wartość napięcia $U_p = \dots\dots$ [V]		Zmierzona wartość napięcia $U_p = \dots\dots$ [V]	

##### 1.2. Pomiar charakterystyki przejściowej (w trybie XY oscyloskopu) (zaznaczyć punkt odniesienia po kalibracji i czułości kanałów oscyloskopu)

Wzmocnienie - $k_U = \dots\dots$ [V/V]		Wzmocnienie - $k_U = \dots\dots$ [V/V]	
Wejście V/div		Wejście V/div	
Wyjście ..... [V/div]		Wyjście ..... [V/div]	
Zmierzona wartość napięcia $U_p = \dots\dots$ [V]		Zmierzona wartość napięcia $U_p = \dots\dots$ [V]	

##### 1.3. Pomiar charakterystyk częstotliwościowych wzmacniacza

Wzmacniacz o wzmocnieniu  $k_U = \dots\dots$  [V/V] przy  $U_{WE} = \text{const.} = \dots\dots$  [mV]

U <sub>WY</sub> [mV]											
T [ms]											
f [kHz]											

Wzmacniacz o wzmocnieniu  $k_U = \dots\dots$  [V/V] przy  $U_{WE} = \text{const.} = \dots\dots$  [mV]

U <sub>WY</sub> [mV]											
T [ms]											
f [kHz]											

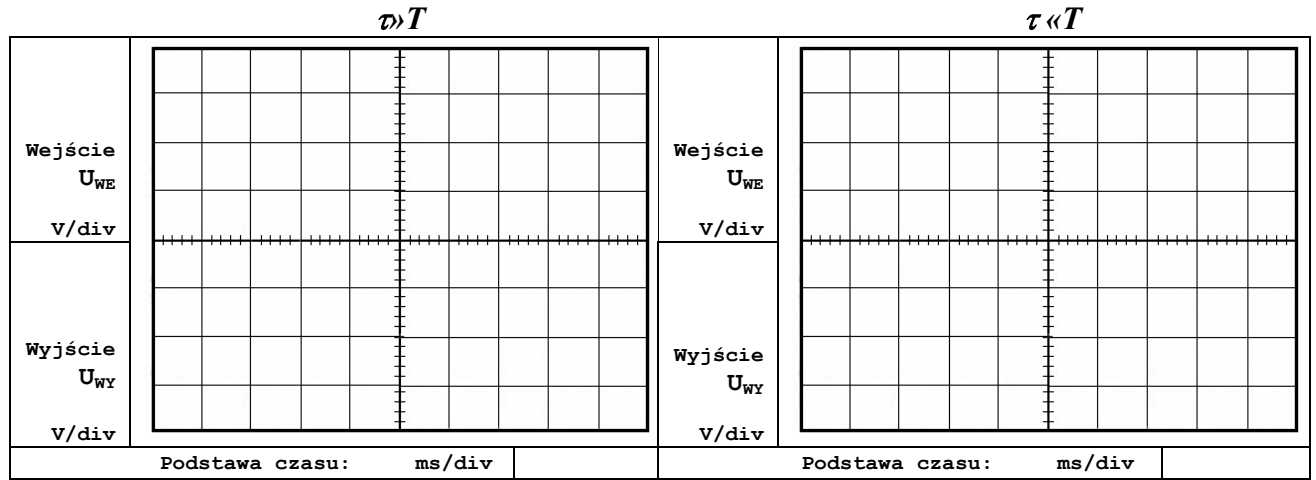


## 2. Pomiar wzmacniacza operacyjnego w układzie integratora

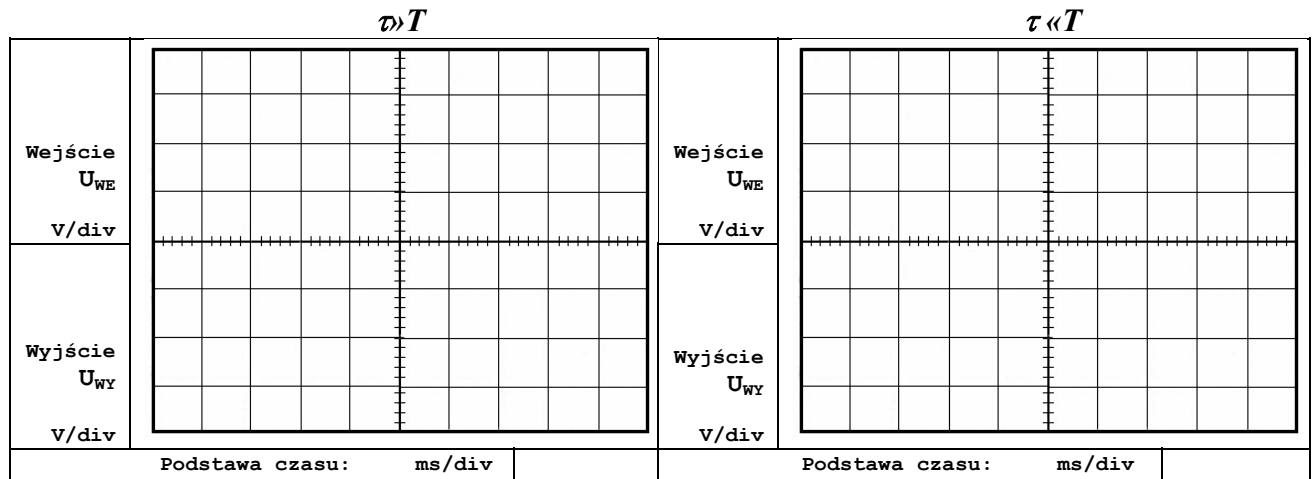
Wartości elementów integratora:  $R_1 = \underline{\hspace{1cm}}$  [k $\Omega$ ],  $R_2 = \underline{\hspace{1cm}}$  [k $\Omega$ ],  $C = \underline{\hspace{1cm}}$  [nF]

### 2.1. Kształtowanie sygnału prostokątnego w układzie integratora

Sygnał bez składowej stałej DC



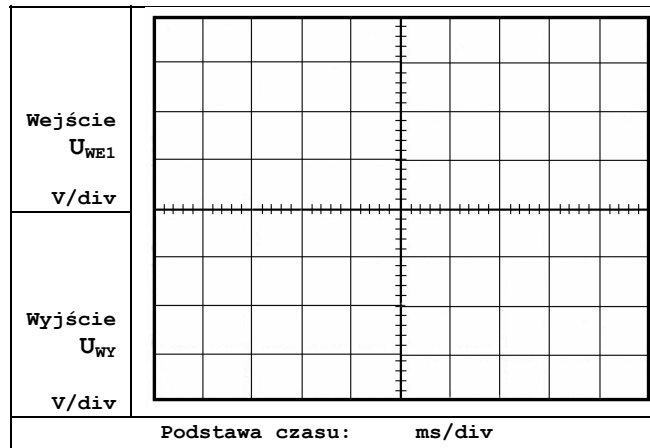
Sygnał ze składową stałą DC



### 2.2. Pomiar charakterystyki częstotliwościowej integratora

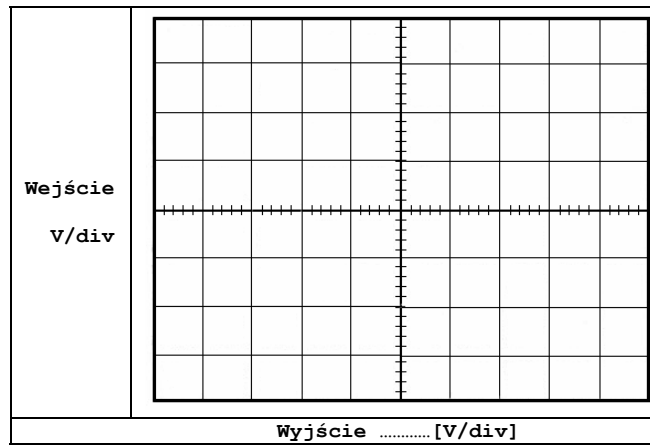
U <sub>WY</sub> [mV]											
T [ms]											
f [kHz]											

2.3. Określenie pasma układu na podstawie odpowiedzi impulsowej



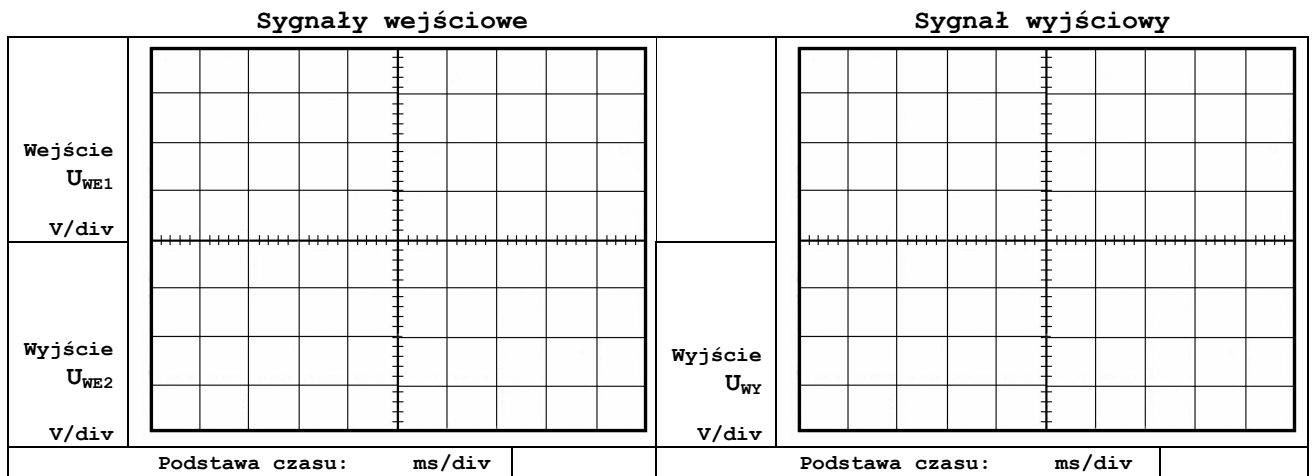
Czas narastanie sygnał  $t_n =$  \_\_\_\_ [ms]  
 Pasma układu \_\_\_\_ [Hz]

3. Wzmacniacz operacyjny w układzie Schmitta



Progi przełączania  $U_{MIN} =$  \_\_\_\_ [V]      Progi przełączania  $U_{MAX} =$  \_\_\_\_ [V]

4. Sumowanie/odejmowanie sygnałów na wzmacniaczu operacyjnym



Realizowana funkcja:  $U_{WY} =$  \_\_\_\_\_