

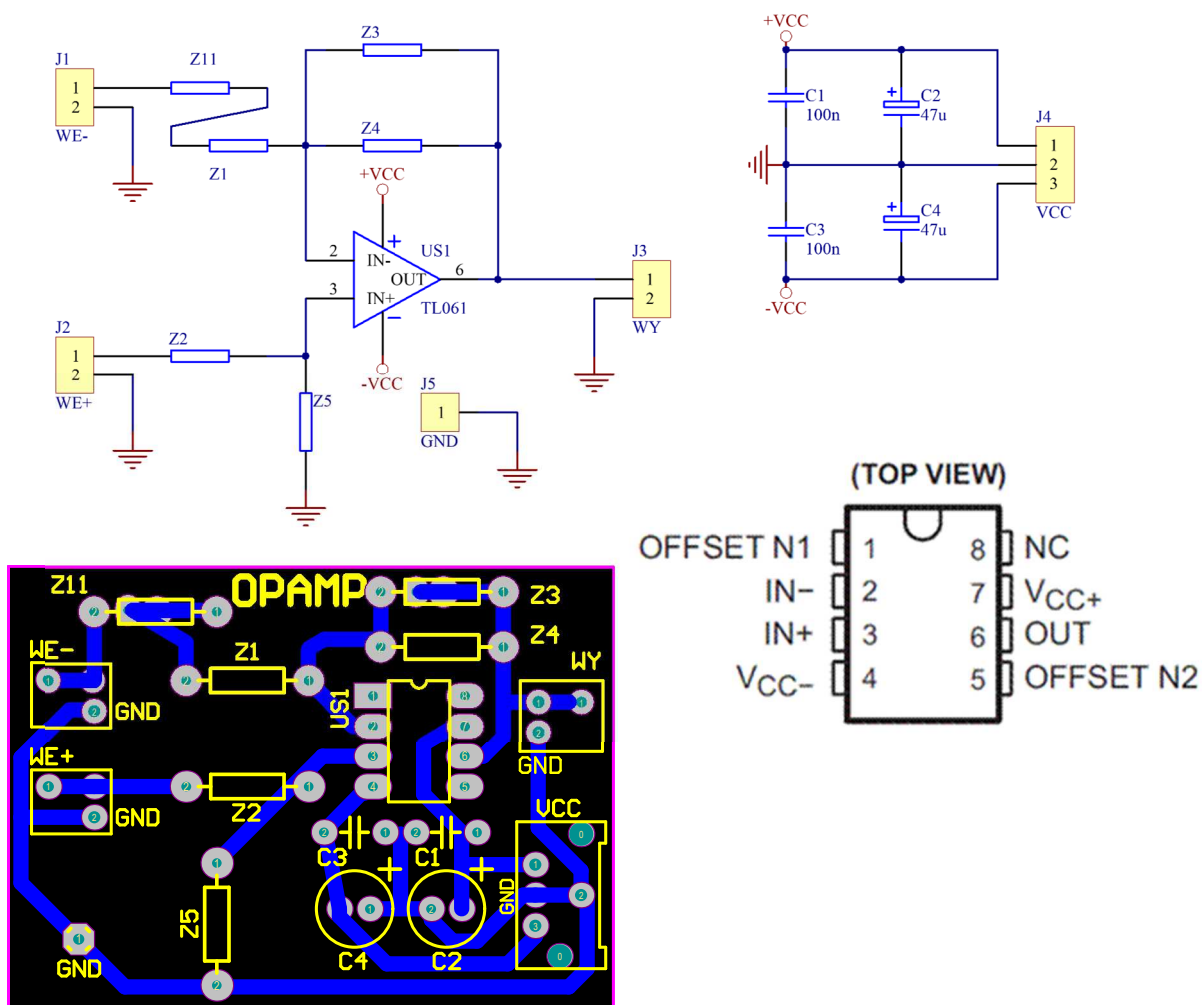
Podstawowe zastosowania wzmacniaczy operacyjnych – wzmacniacz odwracający i nieodwracający

1. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest praktyczne poznanie właściwości wzmacniaczy operacyjnych i ich podstawowych zastosowań. Zakres ćwiczenia obejmuje projektowanie oraz pomiary analogowych układów ze wzmacniaczami operacyjnymi.

2. Budowa układu.

Na rys.1a przedstawiono schemat układu, w którym możliwe jest realizowanie podstawowych zastosowań wzmacniaczy operacyjnych (wzmacniacz: odwracający, nieodwracający, różnicowy, całkujący, różniczkujący). Rys.1b przedstawia widok płytki drukowanej według schematu z rys.1a.



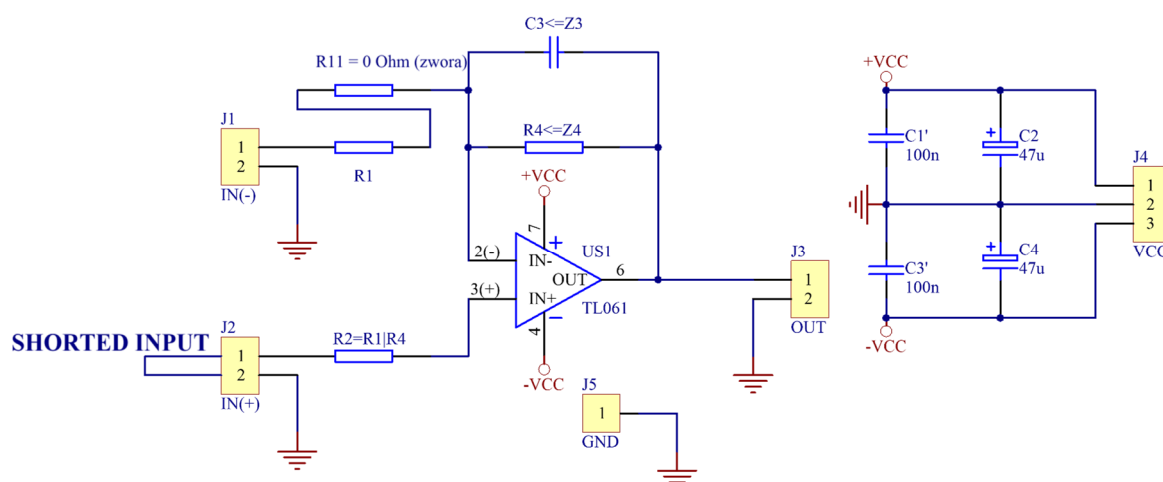
Rys.1. Układ podstawowych zastosowań wzmacniacza operacyjnego: a) schemat zastępczy układu, b) widok płytki z rozmieszczeniem elementów, c) wzmacniacz operacyjny TL061 – wyprowadzenie pinów; kondensatory C1-C4 służą odprężaniu zasilania.

Tab.1. Podstawowe parametry wzmacniacza operacyjnego TL 061

Symbol	Parametr	Warunki pomiaru	Wartości			Jedn.
			Min	Typ	Max	
V _{CC}	Napięcie zasilania			±18		V
V _I	Maksymalne napięcie wejściowe			±15		V
V _{IO}	Wejściowe napięcie niezrównoważenia	U _O = 0V		3	15	mV
I _{IO}	Wejściowy prąd niezrównoważenia			5	100	pA
K _{UR}	Różnicowe wzmocnienie napięciowe	R _L = 2kΩ, f = 10Hz		10 ⁵		V/V
GB=f _T	Pole wzmocnienia (<i>gain bandwidth</i>)	R _L = 10kΩ		1		MHz
R _I	Rezystancja wejściowa			10 ¹²		Ω
R _O	Rezystancja wyjściowa			60		Ω
CMRR	współczynnik tłumienia sygnału współbieżnego		80	86		dB
SR	szybkość zmian napięcia wyjściowego	V _I = 10mV, R _L = 10kΩ, K _u = 1	1.5	3,5		V/μs

2.1. Wzmacniacz odwracający

Na rys.2 przedstawiono układ wzmacniacza odwracającego realizowanego w strukturze układu z rys.1.



Rys.2. Wzmacniacz odwracający

Przy założeniu, że we wzmacniaczu operacyjnym $K_{UR} \rightarrow \infty$, wzmocnienie napięciowe układu wzmacniacza odwracającego opisane jest zależnością:

$$K_U = -\frac{R_4}{R_1} \quad (1)$$

Rezystancja wejściowa wzmacniacza odwracającego jest równa:

$$R_{WE} = \frac{U_{WE}}{I_{WE}} \approx R_1 \quad (2)$$

natomiast rezystancja wyjściową w przybliżeniu można wyznaczyć z zależności:

$$R_{wy} \approx R_o \left| \frac{K_U}{K_{UR}} \right|, \quad (3)$$

ponieważ R_o przyjmuje niewielkie wartości (dziesiątki omów) a K_{UR} bardzo duże (10^5), rezystancja wyjściowa wzmacniacza odwracającego jest pomijalna i układ zachowuje się w przybliżeniu jak idealne sterowane źródło napięciowe.

Górną częstotliwość układu wzmacniacza odwracającego można przybliżyć zgodnie z zależnością:

$$f_g \approx \frac{f_T}{K_U}, \quad (4)$$

gdzie:

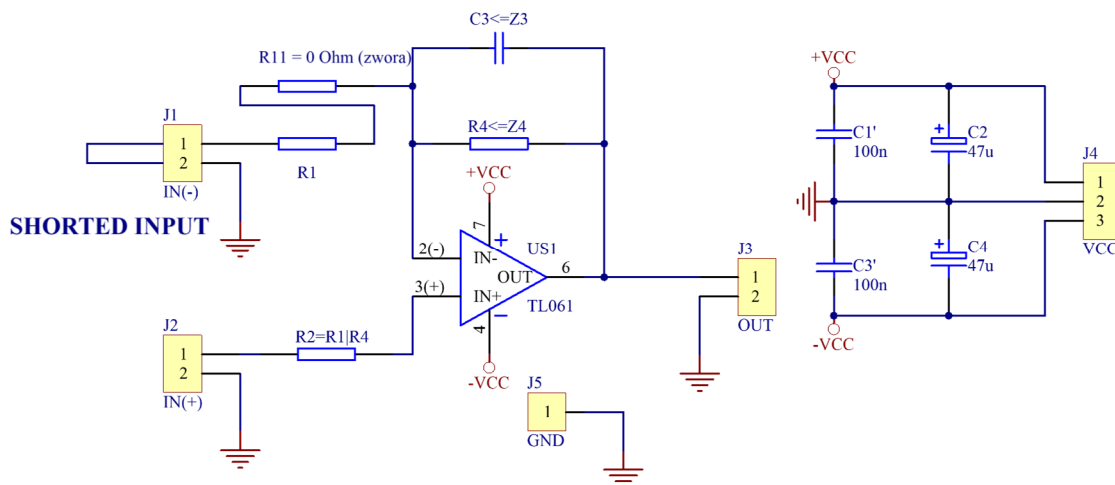
f_T – częstotliwość graniczna wzmacniacza (inaczej - pole wzmocnienia $f_T = f_g K_U$),

Poprzez równoległe dołączenie kondensatora do rezystora R_4 , można zmieniać wartość górnej częstotliwości granicznej wzmacniacza odwracającego. Wówczas górna częstotliwość graniczna układu będzie w przybliżeniu równa:

$$f_g' \approx \frac{1}{2\pi R_4 C_3}. \quad (5)$$

2.2. Wzmacniacz nieodwracający

Na rys.3 przedstawiono układ wzmacniacza odwracającego realizowanego w strukturze układu z rys.1.



Rys.3. Wzmacniacz nieodwracający

Przy założeniu, że we wzmacniaczu operacyjnym $K_{UR} \rightarrow \infty$, wzmocnienie napięciowe układu wzmacniacza nieodwracającego opisane jest zależnością:

$$K_U = 1 + \frac{R_4}{R_1}, \quad (6)$$

Rezystancja wejściowa wzmacniacza nieodwracającego jest bardzo duża - rezystancja wejściowa wzmacniacza operacyjnego.

Natomiast rezystancja wyjściowa w przybliżeniu jest równa:

$$R_{wy} \approx \frac{R_o}{K_{UR}} \quad (8)$$

Górną częstotliwość układu wzmacniacza nieodwracającego można przybliżyć zgodnie z zależnością (4). Natomiast poprzez dodatkowy kondensator łączony równolegle do R_2 można kształtować wartość tej częstotliwości zgodnie z zależnością (5).

3. Przygotowanie do zajęć.

3.1. Materiały źródłowe

- [1] Materiały Laboratorium i Wykładów Zespołu Układów Elektronicznych.
- [2] U. Tietze, Ch. Schenk, Układy półprzewodnikowe, WNT, Warszawa, 1996, s. 141-185, 343-352.
- [3] P. Horowitz, W. Hill, Sztuka elektroniki, WKiŁ, Warszawa, 2003, s. 189-194.
- [4] Z. Kulka, M. Nadachowski, Wzmacniacze operacyjne i ich zastosowania, cz.2, WNT, Warszawa, 1982, s. 73-79, 110-119.

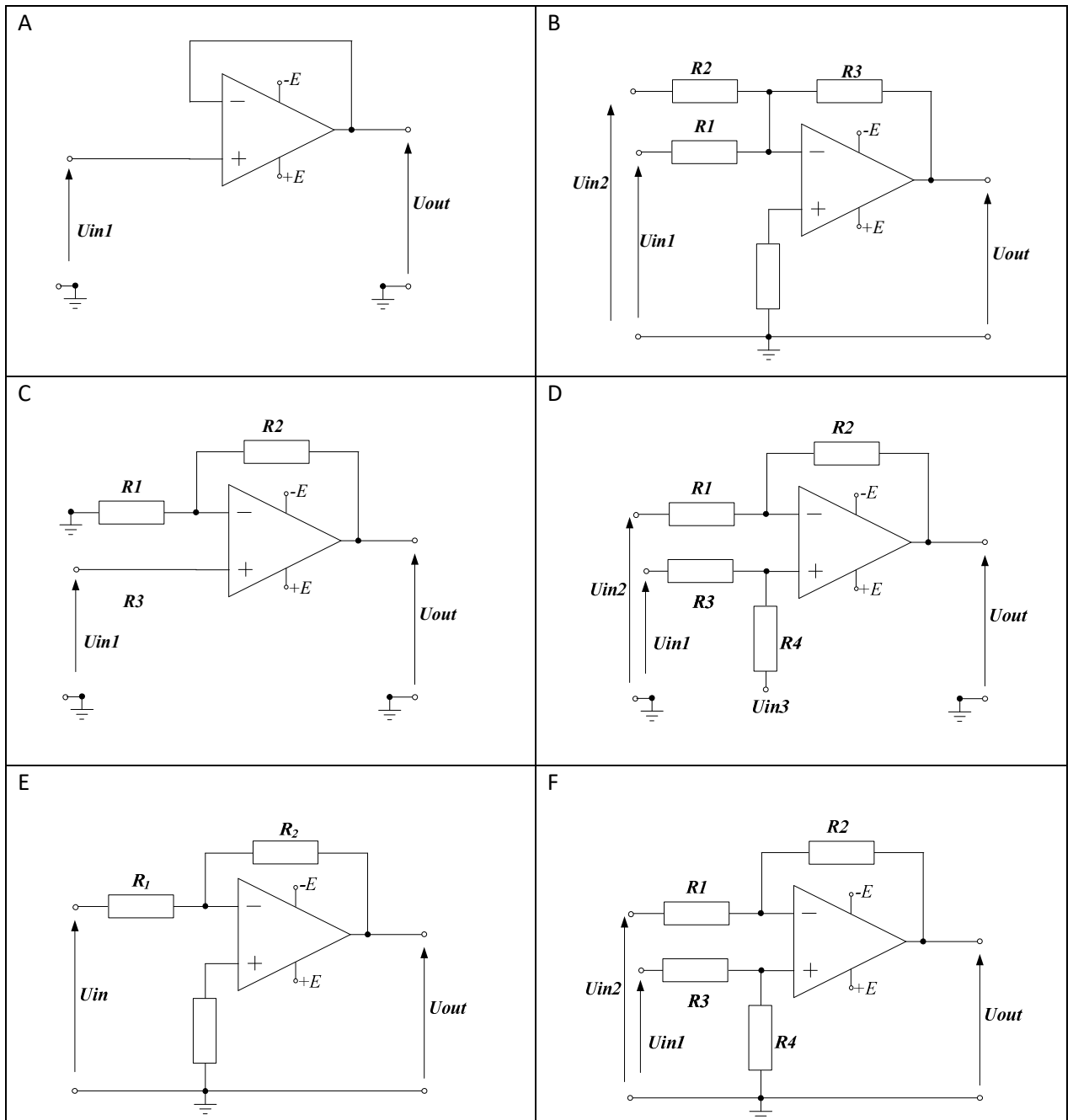
3.2. Zadanie szczegółowe.

Zaprojektować wzmacniacz nieodwracający i odwracający zgodnie z danymi podanymi przez prowadzącego.

Przeanalizować oba układy w programie analizy układów elektronicznych typu SPICE (np. LTspice) wyznaczając charakterystykę amplitudową i fazową (wzmocnienie w dB, skala częstotliwości logarytmiczna)

3.3. Pytania kontrolne

1. Omów podstawowe parametry idealnego wzmacniacza operacyjnego.
2. Wyjaśnij pojęcie „masy pozornej”?
3. W jaki sposób realizowane jest zasilanie symetryczne wzmacniacza operacyjnego?
4. Narysuj schemat i opisz zasadę działania układu wzmacniacza odwracającego.
5. Narysuj schemat i opisz zasadę działania układu wzmacniacza nieodwracającego.
6. Co to jest zakres liniowej pracy wzmacniacza?
7. Kiedy w układzie wzmacniacza nieodwracającego możliwe jest do uzyskanie wzmocnienie napięciowe równe 1?
8. Jakiego rodzaju sprzężenia zwrotne stosowane są w układach wzmacniacza odwracającego i nieodwracającego?
9. Jeśli w poniższych układach znane są wartości rezystorów oraz napięć wejściowych, to jakie będzie napięcie wyjściowe?



4. Przebieg ćwiczenia.

4.1. Wzmacniacz odwracający

Dla kilku zadanych wartości wzmocnienia napięciowego układu, należy:

1. Złożyć układ wzmacniacza nieodwracającego zgodnie z rys.2.
2. Zasilić wzmacniacz operacyjny napięciem ± 12 V.
3. Do WE- podłączyć generator przebiegu sinusoidalnego. Równoległe do wejścia i wyjścia układu podłączyć sondy oscyloskopu.
4. Zmierzyć charakterystykę liniowości $U_{WY} = f(U_{WE})$ poprzez zmianę amplitudy generatora i obserwację obrazu na oscyloskopie w trybie XY. Pomiary przeprowadzić w zakresie wejściowych od $\pm 12V/K_U$. Wyznaczyć zakres linowej pracy układu oraz wzmocnienie w tym zakresie.

5. Dla amplitud generatora $U_{WE(RMS)} < 100\text{mV}$, zmieniając częstotliwość generowanego sygnału, wyznaczyć trzydecybelową górną częstotliwość graniczną wzmacniacza. (Opcjonalnie: narysować charakterystykę amplitudową (w dB) i fazową w logarytmicznej skali częstotliwości).
UWAGA: W przypadku pomiarów wykonywanych oscyloskopem dobrze jest wybrać pomiary napięć wejściowego i wyjściowego jako CycRMS oraz uśredniania wyświetlania (Acquire -> Average-> 16)
6. Dla częstotliwości bliskiej częstotliwości granicznej wzmacniacza, zwiększając amplitudę wejściową, uzyskać obraz właściwy dla zjawiska związanego z parametrem SR wzmacniacza (przebieg na wyjściu ma kształt zbliżony do trójkątnego). Oszacować parametr SR.
7. Podłączyć równolegle z rezystancją R_4 (pole Z_3 na płycie rys.1b) kondensator o dowolnej wartości pojemności (np. 1n) i przeprowadzić ponownie pomiary zgodnie z pkt.5

4.2. Wzmacniacz nieodwracający

Dla kilku zadanych wartości wzmocnienia napięciowego układu, należy:

8. Złożyć układ wzmacniacza nieodwracającego zgodnie z rys.3.
9. Zasilic wzmacniacz operacyjny napięciem $\pm 12\text{ V}$.
10. Do WE+ podłączyć generator przebiegu sinusoidalnego. Równolegle do wejścia i wyjścia układu podłączyć sondy oscyloskopu.
11. Zmierzyć charakterystykę liniowości $U_{WY} = f(U_{WE})$ poprzez zmianę amplitudy generatora i obserwację obrazu na oscyloskopie w trybie XY. Pomiary przeprowadzić w zakresie amplitud wejściowych od $\pm 12\text{V}/K_U$. Wyznaczyć zakres linowej pracy układu oraz wzmocnienie w tym zakresie.
12. Dla amplitud generatora $U_{WE(RMS)} < 100\text{mV}$, zmieniając częstotliwość generowanego sygnału, wyznaczyć trzydecybelową górną częstotliwość graniczną wzmacniacza. (Opcjonalnie: narysować charakterystykę amplitudową (w dB) i fazową w logarytmicznej skali częstotliwości).
UWAGA: W przypadku pomiarów wykonywanych oscyloskopem dobrze jest wybrać pomiary napięć wejściowego i wyjściowego jako CycRMS oraz uśredniania wyświetlania (Acquire -> Average-> 16)
13. Dla częstotliwości bliskiej częstotliwości granicznej wzmacniacza, zwiększając amplitudę wejściową, uzyskać obraz właściwy dla zjawiska związanego z parametrem SR wzmacniacza (przebieg na wyjściu ma kształt zbliżony do trójkątnego). Oszacować parametr SR.
14. Podłączyć równolegle z rezystancją R_4 (pole Z_3 na płycie rys.1b) kondensator o dowolnej wartości pojemności (np. 1n) i przeprowadzić ponownie pomiary zgodnie z pkt.5

5. Wnioski.

1. Wyznaczyć zakresy liniowej pracy wzmacniaczy. Omówić wpływ wzmocnienia K_U na ten zakres.
2. Porównać uzyskane wyniki wzmocnienia i f_g z wartościami obliczonymi ze wzorów.
3. Porównać oszacowany współczynnik SR z podanym w katalogu dla użytego układu.
4. Ocenic wpływ dodatkowego kondensatora w układzie.

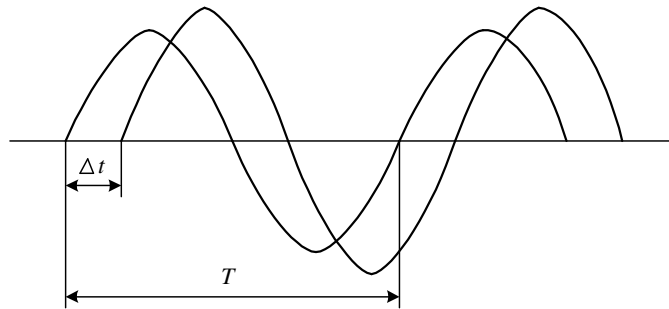
6. DODATEK A

Pomiar przesunięcia fazowego metoda oscyloskopową

Pomiar przesunięcia fazowego pomiędzy dwoma sygnałami najprościej wykonać na ekranie oscyloskopu. Podczas pomiaru należy pamiętać, że osie zerowe obu przebiegów muszą się pokrywać jak pokazano na rys.A.1. Wówczas przesunięcie pomiędzy przebiegami obliczamy:

$$\varphi = 360^\circ \frac{\Delta t}{T} = 360^\circ * \Delta t * f \quad , \quad (\text{A.1})$$

gdzie: Δx , x - odstępów odczytywane z ekranu oscyloskopu rys.A.1

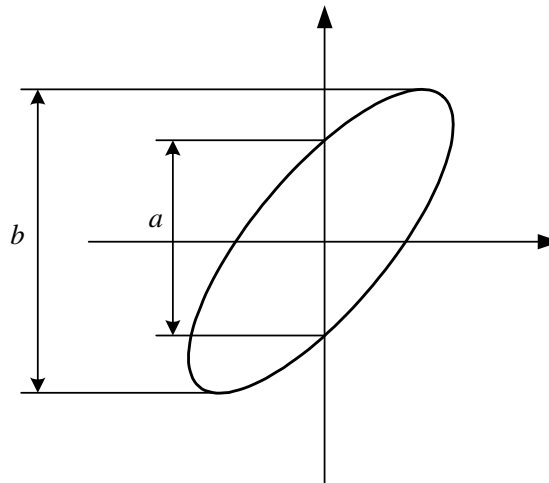


Rys.A.1. Idea pomiaru przesunięcia fazowego w trybie pracy dwukanałowej oscyloskopu

Przesunięcie to można również zmierzyć przy wykorzystaniu krzywej Lissajous uzyskanej na ekranie oscyloskopu pracującego w trybie X-Y (rys.A.2). Przesunięcie fazowe pomiędzy przebiegami obliczamy ze wzoru:

$$\varphi = \arcsin \frac{a}{b} \quad , \quad (\text{A.2})$$

gdzie: a, b- odstępów odczytywane z ekranu oscyloskopu rys.A.2



Rys.A.2. Idea pomiaru przesunięcia fazowego w trybie pracy X-Y oscyloskopu