

ĆWICZENIE 2

OSCYLOSKOP ELEKTRONICZNY

2.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową oscyloskopu elektronicznego oraz nauczenie się korzystania z oscyloskopu jako przyrządu pomiarowego.

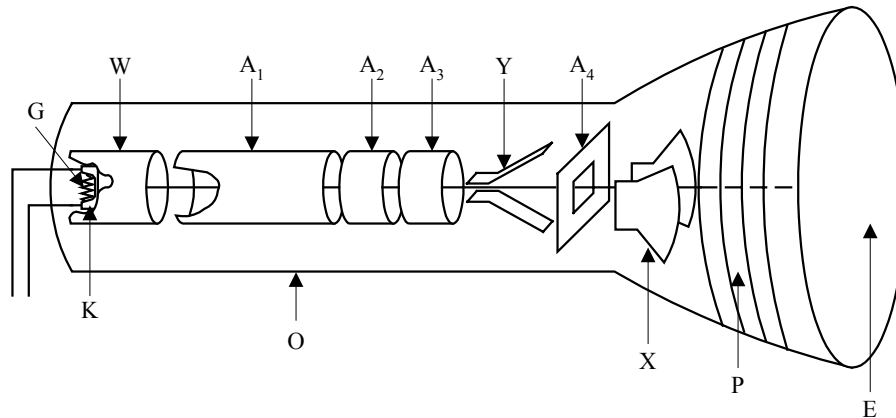
2. 2.Wprowadzenie

2.2.1. Budowa i zasada działania oscyloskopu

Oscyloskop jest jednym z najbardziej przydatnych przyrządów w pracy inżyniera elektronika używanym w pracach badawczych, naprawach, strojeniu i kalibracji wszelkiego rodzaju urządzeń elektronicznych. Oscyloskop jest przyrządem stosowanym najczęściej do obserwacji na ekranie przebiegu napięcia w funkcji czasu. Poza tym stosowany może być do pomiaru napięcia, prądu, czasu, częstotliwości, kąta przesunięcia fazowego, mocy, wyznaczania charakterystyk diod i tranzystorów i badania wielu innych elementów. Obecnie produkowane oscyloskopy dzielą się na grupy:

- oscyloskopy analogowe,
- oscyloskopy z lampą pamiętającą,
- oscyloskopy próbkujące,
- oscyloskopy cyfrowe.

Najbardziej rozpowszechnione są oscyloskopy analogowe. W oscyloskopie analogowym obraz przebiegu rysowany jest na ekranie lampy oscyloskopowej w czasie rzeczywistym, tzn. plamka świetlna porusza się na ekranie w takt zmian przebiegu i upływu czasu. Szybkość zmian ograniczona jest jedynie bezwładnością elektronów. Budowa lampy oscyloskopowej pokazana jest na rys.2.1.



Rys.2.1. Budowa lampy oscyloskopowej: *K* - katoda, *G* – grzejnik katody, *W* – siatka, A_1, A_2, A_3 - anody, *X* – płytki odchylenia poziomego, *Y* – płytki odchylenia pionowego, A_4 - elektroda ekranująca, *E*- ekran, *P* – powłoka grafitowa, *O* – osłona szklana

Lampa oscyloskopowa składa się z trzech podstawowych części: wyrzutni elektronowej, systemu odchyłającego strumień elektronów i ekranu i ma postać zamkniętej bańki szklanej, z której usunięto powietrze.

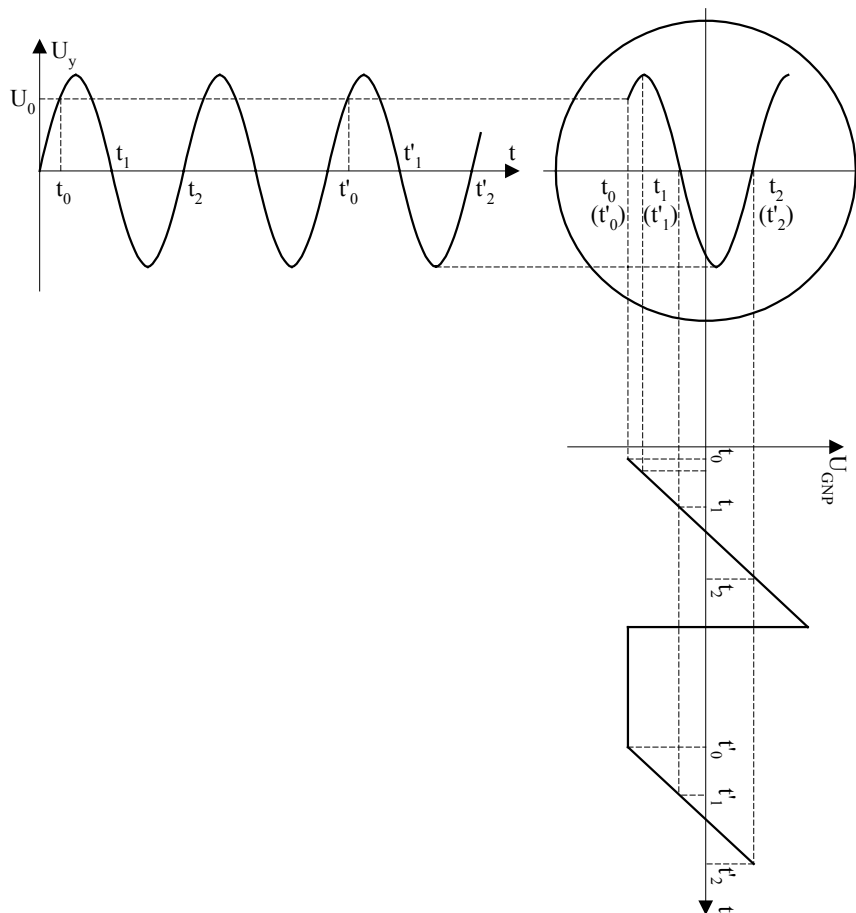
Wyrzutnia elektronowa znajduje się w tylnej, zwężonej części bańki. Źródłem elektronów jest pośrednio żarzona cylindryczna katoda *K*, zwana termokatodą, pokryta pastą emisyjną. Obok niej w wyrzutni znajduje się szereg elektrod tworzących układ soczewek elektrycznych skupiających i przyspieszających strumień elektronów. Należą do nich siatka sterująca *W* zwana cylindrem Wehnelta, trzy cylindryczne anody A_1, A_2, A_3 . Dodatnie względem katody napięcie rzędu kilku kilowoltów przyłożone do anod powoduje powstanie pola elektrycznego zwiększającego prędkość elektronów i jednocześnie ogniskowanie elektronów w wiązkę. Do siatki *W* podaje się napięcie ujemne względem katody. Regulacja napięcia siatki wpływa na intensywność świecenia plamki.

Skupiony przez wyrzutnię strumień elektronów przebiega pomiędzy dwiema parami elektrod odchyłających w postaci płaskich płytek *X* i *Y*. Do płytek tych przykładane jest napięcie wytwarzające pole elektryczne, które z kolei odchyła strumień elektronów w zależności od wartości chwilowej przyłożonego napięcia. Płytki *X* (płytki odchylenia poziomego) ustawione są pionowo i odchyłają strumień elektronów w kierunku poziomym, zaś płytki *Y* (płytki odchylenia pionowego) ustawione są poziomo i odchyłają strumień elektronów w kierunku pionowym. Pomiędzy płytkami *X* i *Y* umieszczona jest elektroda ekranująca A_4 służąca do eliminacji zniekształceń obrazu. Wiązka elektronów uderza w płaski ekran pokryty specjalną substancją zwaną luminoforem, która przetwarza energię kinetyczną elektronów w energię świetlną w zakresie widzianym przez człowieka. Wybite z luminoforu elektrony emisji wtórnej trafiają na grafitową powłokę *P* połączona elektrycznie z anodami. Na ekranie umieszczona jest skala z podziałką umożliwiającą dokonywanie pomiarów.

W przypadku przyłożenia napięcia przemiennego do płytek *Y* plamka świetlna porusza się w takt zmian napięcia na ekranie w kierunku pionowym. Już przy stosunkowo niewielkiej częstotliwości napięcia obserwator widzi na ekranie linię o długości proporcjonalnej do amplitudy przyłożonego napięcia. Przyłożenie napięcia tylko do płytek *X* powoduje, że na ekranie widać linię poziomą. Jednoczesne przyłożenie dwóch napięć zmiennych do par płytek powoduje, że na ekranie powstaje obraz linii krzywej o kształcie zależnym od kształtu przyłożonych sygnałów, częstotliwości i przesunięcia fazowego.

Przy podaniu na płytki *X* napięcia liniowo narastającego w funkcji czasu na ekranie otrzyma się obraz sygnału przyłożonego do płytek *Y*. Ponieważ ekran ma skończone wymiary, po dojściu do prawego skrajnego ekranu lub po jego przekroczeniu, plamka musi powrócić z powrotem, czyli

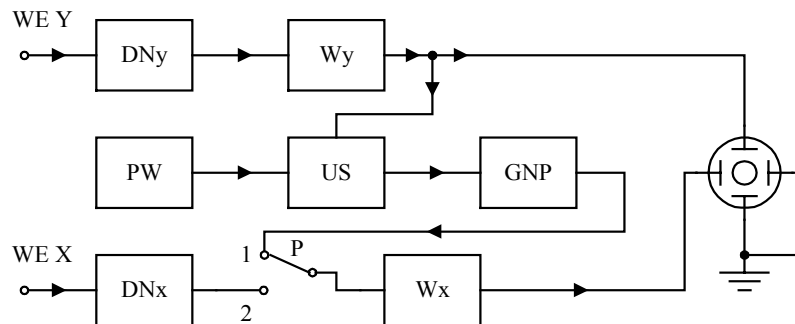
napięcie odchylające poziomo powinno spaść do zera. W celu ciągłej obserwacji mierzonego sygnału, do płytek X przykłada się tzw. napięcie piłokształtne otrzymywane z generatora podstawy czasu. Ruch powrotny plamki jest niewidoczny wskutek doprowadzenia do siatki lampy ujemnego impulsu wygaszającego. Rysunek 2.2. wyjaśnia powstawanie obrazu na ekranie oscyloskopu przy podaniu na płytki Y napięcia sinusoidalnego a na płytki X napięcia piłokształtne.



Rys. 2.2 Powstawanie obrazu na ekranie oscyloskopu.

Na ekranie oscyloskopu powstaje obraz nieruchomy tylko wtedy, gdy częstotliwości przyłożonych do płytek są jednakowe lub są wielokrotnościami. Generator podstawy czasu ma regulowaną częstotliwość w stosunkowo szerokim zakresie od mikrosekund do sekund. Ścisłą wielokrotność częstotliwości uzyskuje się przez stosowanie synchronizacji polegającą na sterowaniu częstotliwością generatora podstawy czasu przez mierzony sygnał. Rozpoczęcie narostu napięcia piłokształtne zawsze w tym samym punkcie sygnału mierzonego pozwala na otrzymanie obrazu nieruchomego. Przy braku pełnej synchronizacji obraz przesuwa się w lewo lub prawo. Do synchronizacji służy układ synchronizacji *US*, który wraz z układem regulacji poziomu wyzwala *PW* umożliwia wybór punktu sygnału mierzonego pozwalającego na otrzymanie obrazu nieruchomego.

Uproszczony schemat blokowy oscyloskopu analogowego przedstawiono na rys. 2.3.



Rys. 2.3. Uproszczony schemat blokowy oscyloskopu analogowego

Mierzone napięcie podaje się na wejście $WE Y$ i poprzez dzielnik napięcia DN_Y i wzmacniacz pomiarowy W_Y doprowadza się do płytek Y . Do płytek X doprowadza się w zależności od ustawienia przełącznika P napięcie z generatora podstawy czasu GNP lub dowolne napięcie podane na wejście $WE X$ i przechodzące przez dzielnik napięcia DN_X i wzmacniacz W_X .

Często istnieje potrzeba jednoczesnej obserwacji dwóch (lub więcej) przebiegów w czasie. W tym celu konstruowane są oscyloskopy dwustrumieniowe lub dwukanałowe. Oscyloskop dwustrumieniowy ma lampę o podwójnym układzie elektrod wytwarzających dwie niezależnie skierowane na ekran wiązki elektronów, jedna parę płytek X i dwie pary płytek Y , do których poprzez dzielniki i wzmacniacze doprowadzane są z oddzielnych wejść mierzone sygnały. Oscyloskop dwukanałowy ma lampę o jednym strumieniu elektronów. Ma dwa wejścia $WE Y$. Napięcia dołączone do obu wejść doprowadzane są na przemian do płytek Y_1 i Y_2 za pomocą przełącznika elektronicznego pracującego w trybie pracy przemiennej lub siekanej. W pierwszym trybie przełączanie kanałów zachodzi w czasie ruchu powrotnego plamki na ekranie i odbywa się co każdy ruch powrotny plamki. Raz na ekranie pojawia się przebieg pierwszy a raz drugi. Oko ludzkie nie zauważa tego i na ekranie widać dwa przebiegi. Przy małych częstotliwościach powstaje migotanie obrazu. Wady tej pozbawiony jest tryb pracy siekanej, w którym przełącznik elektroniczny przełącza się wielokrotnie w trakcie tworzenia obrazów z jednego toru na drugi.

Najważniejszymi parametrami oscyloskopów są pasmo częstotliwościowe oraz czułość napięciowa. Oscyloskopy analogowe z układem odchylającym w postaci płaskich płytek mają ograniczoną od góry częstotliwość do ok. 200 MHz. Do pomiarów przebiegów o wyższych częstotliwościach produkuje się lampy z układem odchylającym o stałych rozłożonych. We współczesnych oscyloskopach można uzyskać odchylenie na ekranie wiązki elektronów o 1 cm przy napięciu podanym na wejście oscyloskopu rzędu setek mikrowoltów.

Oscyloskop z lampą pamiętającą wyposażony jest w specjalną lampę umożliwiającą analizę przebiegów jednorazowych zapamiętanych na ekranie dzięki zastosowaniu luminoforu z długim czasem poświaty (poświata – zanikające świecenie plamki na ekranie po usunięciu czynnika pobudzającego) regulowanym w przedziale od ułamka sekundy do kilku minut.

Oscyloskop próbkujący pozwala pomiary szybkozmiennych sygnałów w szerokim paśmie częstotliwości (do dziesiątek gigaherców). W oscyloskopie próbkującym pobiera się przez bardzo krótki czas próbki napięcia i zapamiętuje ich wartości. Za każdym następnym sygnałem próbka pobierana jest w innym, przesuniętym o Δt miejscu. Złożenie próbek z całego przebiegu pozwala na odtworzenie sygnału wejściowego na ekranie. Oscyloskop próbkujący umożliwia jedynie pomiary sygnałów powtarzalnych.

Oscyloskop cyfrowy próbkuje sygnał badany i przetwarza go na postać cyfrową za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego. Przetworzone na sygnały cyfrowe wartości chwilowe

przebiegu badanego są do pamięci cyfrowej. Odwzorowanie przebiegu polega na przetworzeniu w odpowiedniej kolejności zawartości pamięci na sygnały analogowe i doprowadzeniu tych sygnałów do elektrod odchylających lampy oscyloskopowej (stosuje się też zamiast płytek odchylających elektrycznie cewki odchylające strumień elektronów magnetycznie).

Mikroprocesor wchodzący w skład oscyloskopu umożliwia szybkie obliczenie wybranej miary sygnału (np. wartości skutecznej, średniej, czasu narostu i opadania impulsu itp.). Obliczony wynik wyświetlany jest bezpośrednio na ekranie oscyloskopu lub na oddzielnym wskaźniku cyfrowym.

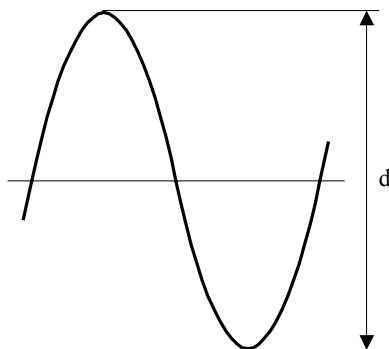
2.2.2. Pomiary za pomocą oscyloskopu

2.2.2.1. Pomiar napięcia

Oscyloskop stosowany jest do obserwacji kształtu i pomiaru wartości chwilowych napięcia zmiennego. Przy sprzężeniu stałoprądowym można mierzyć wartości chwilowe łącznie z wartością stałą. Chcąc uzyskać możliwie największą dokładność pomiaru napięcia należy przestrzegać następujących reguł:

- pokrętko płynnej regulacji czułości powinno być ustawione na pozycje CAL. (do oporu zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara),
- przełącznikiem czułości odchylenia wybrać taką pozycję, aby obraz był możliwie największy; pokrętkiem położenia POSITION można przesunąć przebieg do wybranej linii siatki, aby ułatwić odczyt pomiaru,
- obraz należy dobrze zogniskować,
- z pomiaru należy wyeliminować grubość linii, stale odczytując wartość odchylenia w kierunku pionowym przy tej samej krawędzi obrazu.

Przykładowy obraz przebiegu napięcia sinusoidalnego przedstawiony jest na rys. 2.4.



Rys.2.4. Obraz na ekranie oscyloskopu przy przebiegu sinusoidalnym

Wartość międzyszczytową napięcia U_{pp} (pik – pik) przebiegu wyznaczyć można ze wzoru:

$$U_{pp} = d \cdot K \quad (2.1)$$

gdzie:

d - wysokość obrazu badanego napięcia w działkach lub w cm

K – aktualna wartość współczynnika odchylenia pionowego (wzmocnienia w torze Y) w V./cm lub V/dz.

Wartość skuteczną U napięcia wyznaczyć można ze wzoru:

$$U = \frac{d \cdot K}{2\sqrt{2}} \quad (2.2)$$

Pomiar wartości międzyszczytowej i skutecznej napięcia obarczony jest błędem:

$$\delta_{U_p} = \delta_U = \frac{\Delta d}{d} + \delta_k \quad (2.3)$$

gdzie:

Δd - niedokładność odczytu długości odcinka d (na ogół nie lepsza od 0,5 mm),

δ_k - niedokładność określenia współczynnika odchylenia pionowego (błąd kalibracji wzmocnienia toru Y).

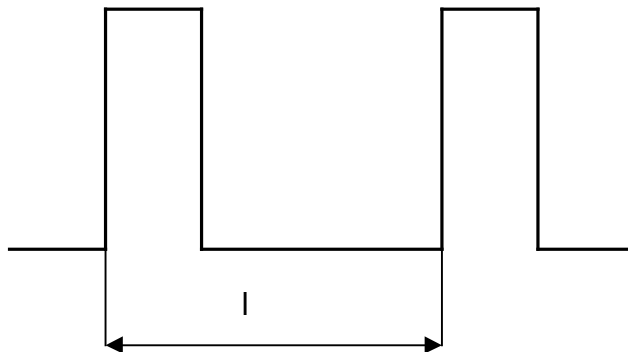
Błąd pomiaru napięcia jest stosunkowo duży (rzędu kilku %).

Przy ustawieniu przełącznika sprzężenia na pozycję AC występuje sprzężenie pojemnościowe eliminujące z przedstawionego na ekranie przebiegu składową stałą. Jeżeli badany sygnał ma składową stałą, to przełączenie przełącznika sprzężenia z pozycji AC w pozycję DC spowoduje przesunięcie przebiegu w górę (przy składowej stałej dodatniej) lub w dół (przy składowej stałej ujemnej). Wartość składowej stałej napięcia określić można mnożąc wielkość odchylenia w działkach przez wybraną przełącznikiem wartość współczynnika odchylenia pionowego.

2.2.2.2. Pomiar częstotliwości

2.2.2.2.1. Pomiar częstotliwości przez pomiar okresu

Pomiar częstotliwości przez pomiar okresu wymaga ustawienia pokrętła płynnej regulacji podstawy czasu w pozycję CAL (obrót pokrętła zgodnie z ruchem wskazówek zegara aż do zaskoku) i wybrania takiej pozycji przełącznika skokowej regulacji podstawy czasu, aby na ekranie wystąpiła jak najmniejsza liczba okresów, jednak nie mniejsza niż jeden okres. Przykładowy przebieg sygnału prostokątnego o współczynniku wypełnienia różnym od 50% pokazano na rys.2.5.



Rys.2.5. Obraz na ekranie oscyloskopu przy pomiarze częstotliwości sygnału prostokątnego

Częstotliwość badanego przebiegu określa się ze wzoru:

$$f = \frac{1}{l \cdot C} \quad (2.4)$$

gdzie:

l – odczytana z ekranu oscyloskopu długość w cm odcinka odpowiadająca okresowi badanego przebiegu.

C – wartość współczynnika podstawy czasu w μs , ms lub s.

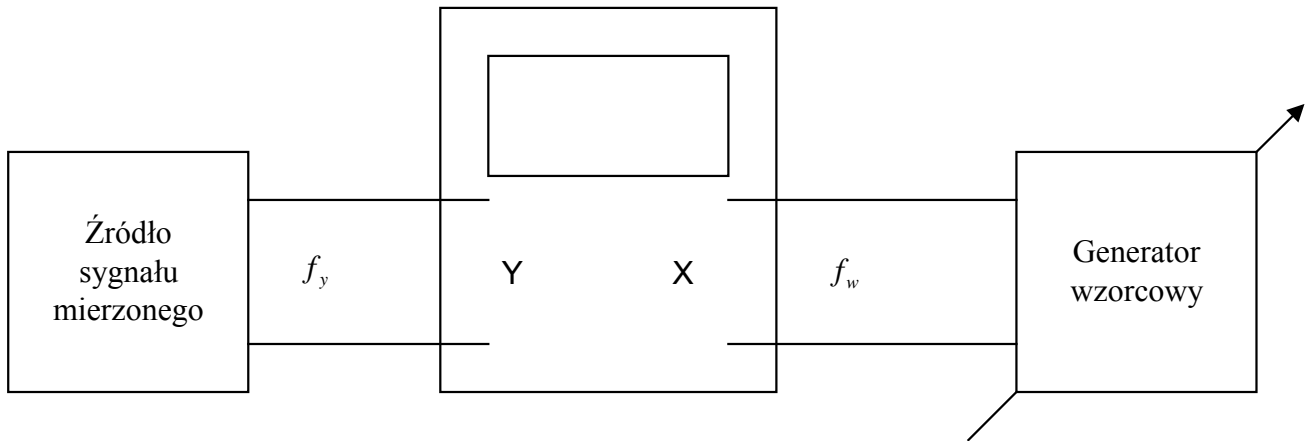
Błąd pomiaru częstotliwości jest równy:

$$\delta_f = \frac{\Delta l}{l} + \delta_c \quad (2.5)$$

Błąd pomiaru częstotliwości jest stosunkowo duży (rzędu kilku %).

2.2.2.2.2. Pomiar częstotliwości metodą figur Lissajous

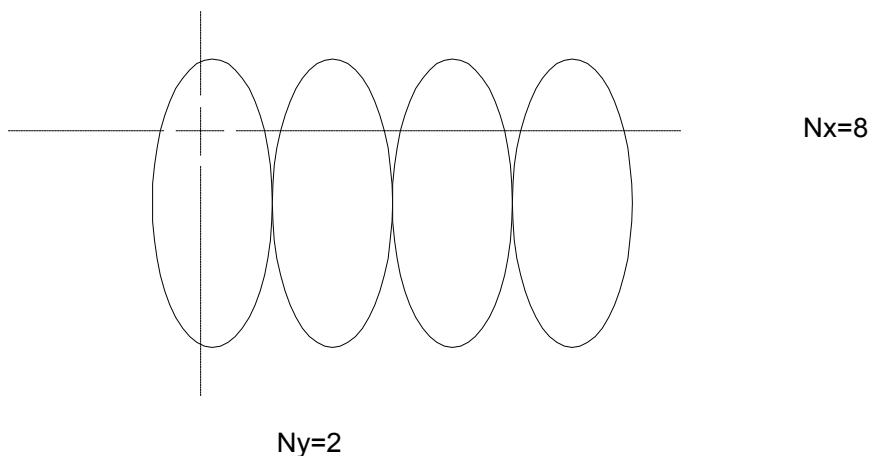
Przy pomiarze częstotliwości metodą figur Lissajous poza oscyloskopem wymagany jest generator wzorcowy (zwykle napięcia sinusoidalnego) o regulowanej częstotliwości. Układ pomiarowy pokazany jest na rys.2.6.



Rys.2.6. Układ do pomiaru częstotliwości metodą figur Lissajous.

Oscyloskop przełącza się w tryb pracy X-Y (wyłączony generator podstawy czasu). Do wejścia Y oscyloskopu doprowadza się sygnał o nieznannej częstotliwości f_y , a do wejścia X napięcie z generatora wzorcowego o regulowanej częstotliwości f_w . Częstotliwość generatora wzorcowego reguluje się tak, aby na ekranie otrzymać obraz nieruchomy (występuje to tylko wtedy, jeżeli stosunek obu częstotliwości jest równy stosunkowi dwu liczb całkowitych).

Kształt krzywej, którą strumień elektronów wyznacza na ekranie zależy od kształtu, częstotliwości i kąta przesunięcia fazowego przebiegów napięć doprowadzonych do wejść X i Y. Przykład figury Lissajous dla napięć sinusoidalnych o stosunku częstotliwości $f_y / f_w = 4/1$ przedstawiono na rys. 2.7.



$$\frac{f_f}{f_w} = \frac{4}{1}$$

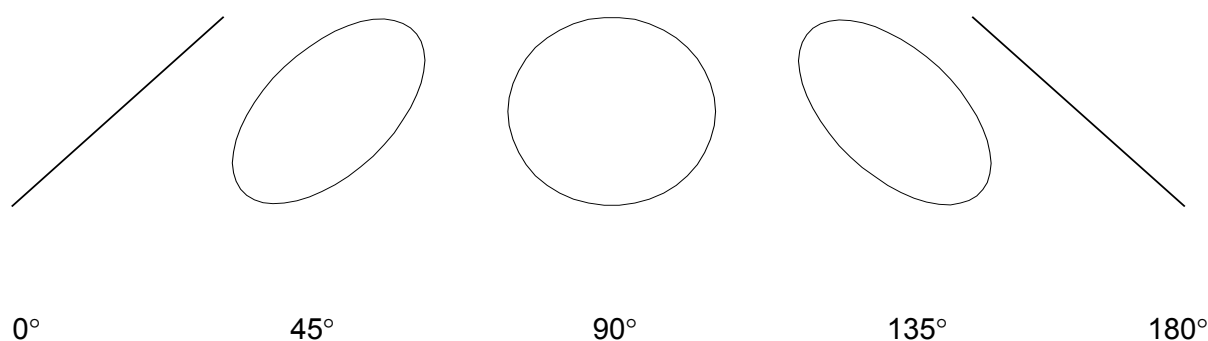
Rys.2.7. Przykład figury Lissajous i ilustracja metody siecznych

Stosunek częstotliwości oblicza się ze stosunku liczby przecięć figury Lissajous z prostymi pomocniczymi równoległymi do osi x i y. Proste powinny być tak poprowadzone, aby nie były styczne i nie przechodziły przez punkty węzłowe figury. Zasadę zliczania punktów przecięć wyjaśnia rys.2.7. Częstotliwość f_y mierzonego sygnału wyznacza się ze wzoru:

$$f_y = f_w \frac{N_x}{N_y} \tag{2.6}$$

Oscyloskop służy praktycznie jako wskaźnik porównania i praktycznie nie wpływa na błąd pomiaru częstotliwości. Dokładność metody osiąga dokładność wzorca.

Przy tym samym stosunku częstotliwości f_y / f_w , w zależności od różnicy faz początkowych między sygnałami, można zaobserwować kilka obrazów. Przykładowe kształty figur Lissajous dla różnych przesunięć fazowych przy stosunku częstotliwości równym 1 przedstawiono na rys.2.8.

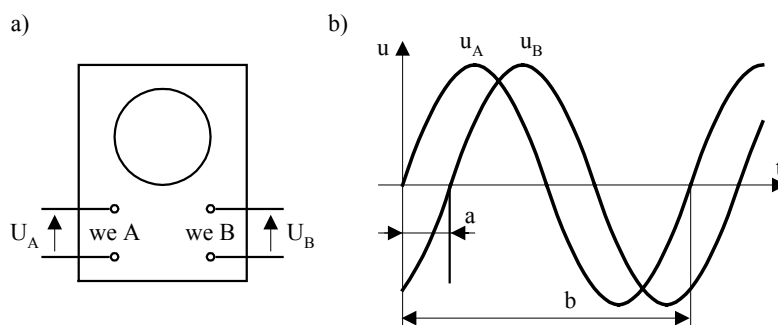


Rys.2.8. Kształty figur Lissajous przy $f_y = f_w$ i przy różnych przesunięciach

2.2.2.3. Pomiar przesunięcia fazowego

2.2.2.1.1. Pomiar przesunięcia fazowego za pomocą oscyloskopu dwukanałowego.

Układ i zasada pomiaru przesunięcia fazowego za pomocą oscyloskopu dwukanałowego przedstawiony jest na rys.2.9.



Rys.2.9. Pomiar przesunięcia za pomocą oscyloskopu dwukanałowego; a)układ,b) obraz badanych przebiegów

Do wejść kanałów A i B doprowadza się badane napięcia. Poziome osie zerowe obu obrazów muszą się pokrywać. Kąt przesunięcia fazowego φ oblicza się ze wzoru:

$$\varphi = 2\pi \frac{a}{b} \quad (2.7)$$

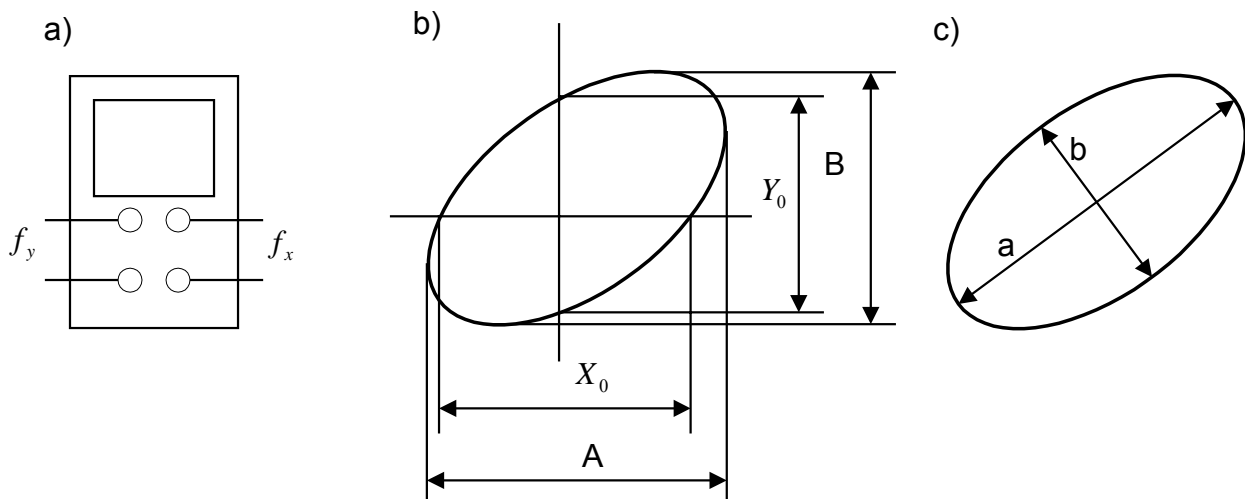
Błąd względny określenia kąta przesunięcia fazowego wyznaczyć można ze wzoru:

$$\delta_{\varphi} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \quad (2.8)$$

Z uwagi na to, że błąd określenia kąta przesunięcia fazowego jest tym większy im mniejsze są długości odcinków a i b , należy pokrętkiem płynnej regulacji podstawy czasu dobrać taką nastawę (nie trzeba jej znać) wartość podstawy czasu, aby wartości a i b były możliwie jak największe.

2.2.2.3.2. Pomiar przesunięcia fazowego za pomocą oscyloskopu jednokanałowego

Pomiar przesunięcia fazowego pomiędzy przebiegami sinusoidalnymi można dokonać w układzie oscyloskopu jednokanałowego pracującego w trybie X-Y. Jeden z przebiegów podaje się do wejścia X oscyloskopu a drugi do wejścia Y. Na ekranie widoczna jest elipsa. Układ i zasada pomiaru przesunięcia fazowego za pomocą oscyloskopu jednokanałowego przedstawiony jest na rys.2.10. Pokrętkła płynnej czułości współczynników odchylenia toru X i Y należy dobrać tak, aby obraz był możliwie największy a maksymalne przemieszczenia plamki w kierunku osi x i y były sobie równe.



Rys.2.10. Pomiar przesunięcia za pomocą oscyloskopu jednokanałowego; a) układ, b) ilustracja metody sinusa, b) ilustracja metody tangensa

Kąt przesunięcia fazowego określić można metodą sinusa na podstawie wymiarów elipsy ze wzoru:

$$\varphi = \arcsin \frac{X_0}{A} = \arcsin \frac{Y_0}{B} \quad (2.9)$$

z błędem bezwzględnym:

$$\Delta\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{X_0}{A}\right)^2}} \left(\frac{\Delta x_0}{A} + \frac{X_0}{A^2} \Delta A \right) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{Y_0}{B}\right)^2}} \left(\frac{\Delta Y_0}{B} + \frac{Y_0}{B^2} \Delta B \right) \quad (2.10)$$

Kąt przesunięcia fazowego określić też można metodą tangensa na podstawie stosunku długości małej osi do długości wielkiej osi elipsy ze wzoru:

$$\varphi = 2 \arctg \frac{b}{a} \quad (2.11)$$

z błędem bezwzględnym:

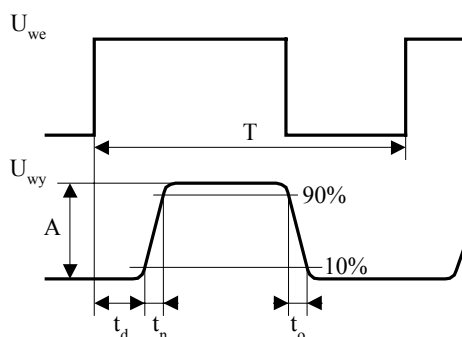
$$\Delta\varphi = \frac{2}{1 + \frac{b^2}{a^2}} \left(\frac{\Delta b}{a} + \frac{b}{a^2} \Delta a \right) \quad (2.12)$$

2.2.2.4. Pomiary impulsowe

Generatory impulsów prostokątnych w rzeczywistości generują impulsy, których kształt odbiega od idealnego prostokąta. Do pomiaru podstawowych parametrów impulsów używa się oscyloskopu. Do podstawowych parametrów należą:

- kształt przebiegu, polaryzacja impulsu, amplituda maksymalna i minimalna,
- maksymalna i minimalna szerokość impulsu,
- częstotliwość powtarzania i maksymalny współczynnik wypełnienia,
- składowa stała impulsu wyjściowego,
- czas narostu i czas opadania.

Ocena małych zniekształceń impulsu o krótkim czasie narastania jest bardzo trudna, ponieważ nie ma pewności, które zniekształcenia zawierał impuls, a które wprowadził oscyloskop. Do pomiaru kształtu impulsu z generatora należy stosować oscyloskop o czasie narastania przynajmniej 3 do 5 razy krótszym niż czas narastania impulsu. Na rys.2.11 wyjaśniono pojęcia czasu narostu i opadania impulsu.



Rys.2.11. Kształt impulsu widziany na ekranie oscyloskopu

2.3. Program ćwiczenia

1. Uruchomić i przygotować oscyloskop dwukanałowy typu 3502C zgodnie ze wskazówkami zawartymi w instrukcji fabrycznej.
2. Dokonać pomiaru amplitudy napięć przemiennych
 - a) sinusoidalnego,
 - b) trójkątnego,
 - c) prostokątnego.
3. Dokonać pomiaru częstotliwości napięcia sinusoidalnego przez pomiar okresu.
4. Zmierzyć amplitudę, wartość składowej stałej i częstotliwość sygnału prostokątnego.
5. Zaobserwować i odrysować figury Lissajous występujące przy stosunkach częstotliwości sygnałów sinusoidalnych: 1:2, 1:2, 2:1, 1:3, 3:1, 1:4, 4:1, 2:3, 3:2, 3:4, 4:3
6. Dokonać pomiaru przesunięcia fazowego pomiędzy sygnałem sinusoidalnym na wejściu czwórnika RC a sygnałem na wyjściu czwórnika:
 - a) za pomocą metodą oscyloskopu dwukanałowego,
 - b) za pomocą oscyloskopu jednokanałowego metodą sinusa i tangensa.
7. Dokonać pomiaru podstawowych parametrów impulsu prostokątnego.

2.4. Zagadnienia do samodzielnego przygotowania

1. Pomiar mocy czynnej i pozornej za pomocą oscyloskopu
2. Pomiary elementów biernych za pomocą oscyloskopu
3. Pomiary diod i tranzystorów za pomocą oscyloskopu
4. Pomiary materiałów magnetycznych za pomocą oscyloskopu

2.5. Literatura

1. Rydzewski J.: Pomiary oscyloskopowe, WNT, Warszawa 1999
2. PN-86/T-06502: Oscyloskopy elektroniczne. Ogólne wymagania i badania
3. Chwaleba A., Poniński M., Siedlecki A.: Metrologia elektryczna, WNT, Warszawa 1998