

## 5. OSCYLOSKOPOWE POMIARY WIELKO CI ELEKTRYCZNYCH

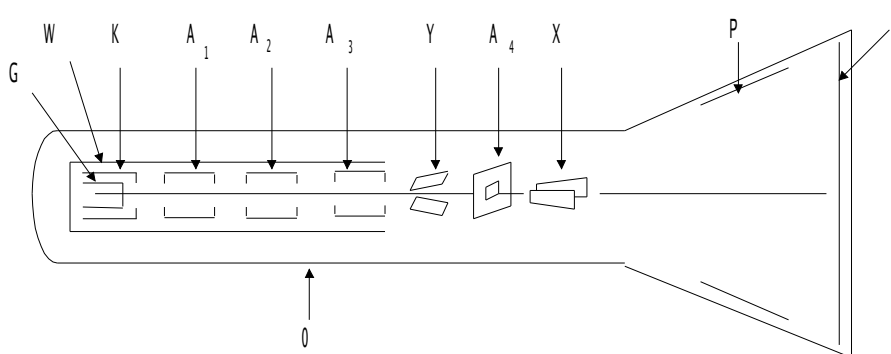
### 5.1. Wst p

Oscyloskop elektroniczny jest przyrz dem su cym do pomiaru i obserwacji ró norodnych sygna ów elektrycznych, zarówno okresowych jak i nieokresowych. Charakteryzuje si du rezystancj wej ciow oraz du czuo ci . Jest wi c pewnego rodzaju szybkim rejestratorem X-Y, który umo liwia obrazowanie sygna ów wej ciowych w funkcji innego sygna u lub w funkcji czasu. Rol e elementu pisz cego tego rejestratora spenia wiec ca plamka przemieszczaj ca si po ekranie lampy oscyloskopowej. Po ró d produkowanych obecnie oscyloskopów wyró nia si :

- oscyloskopy analogowe,
- oscyloskopy próbkuj ce,
- oscyloskopy cyfrowe.

#### 5.1.1. Oscyloskop analogowy.

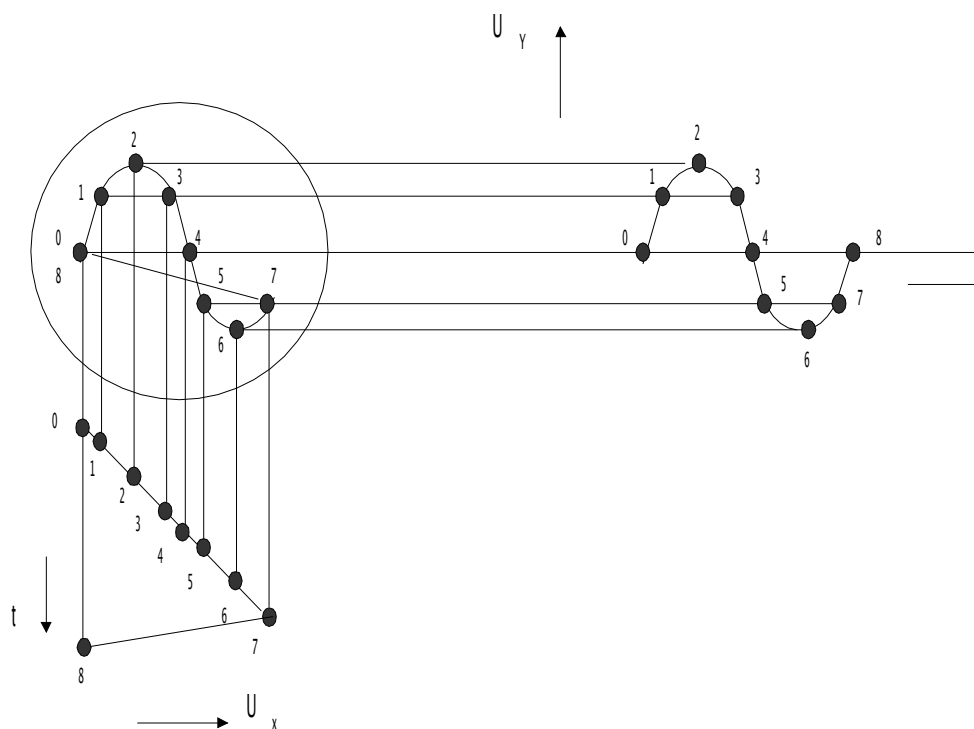
W oscyloskopie analogowym sygna jest obrazowany na ekranie lampy oscyloskopowej w czasie rzeczywistym, tzn. plamka wietlna porusza si po ekranie w takt zmian przebiegu napi cia i upywu czasu. Gównym elementem oscyloskopu analogowego jest lampa oscyloskopowa (lampa Browna). Na jej ekranie powstaje obraz wietlny obserwowanych sygna ów lub wielko ci. Budowa lampy oscyloskopowej pokazana jest na rysunku 1.



Rys.5.1. Budowa lampy oscyloskopowej: K- katoda, G- grzejnik katody, W- cylinder Wehnelta  
A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> – anody, X- płytki odchylania poziomego, Y- płytki odchylania pionowego, A<sub>4</sub>-  
elektroda ekranuj ca, E- ekran, P- powłoka grafitowana , O- osłona szklana.

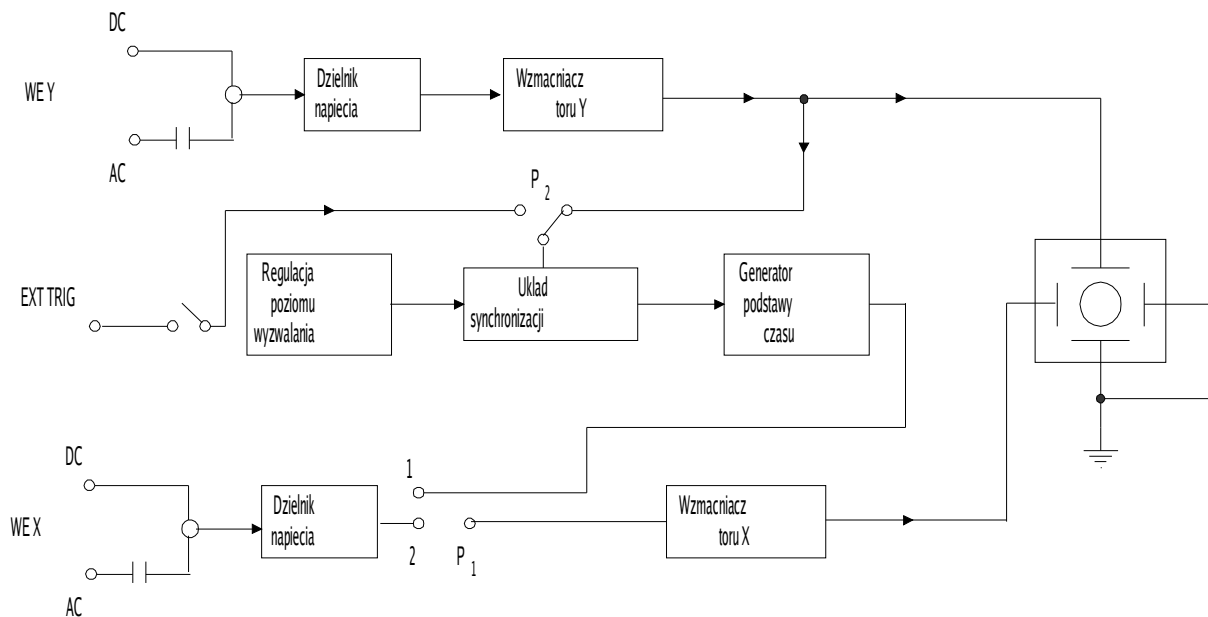
Lampa oscyloskopowa składa si z trzech podstawowych cz ci: wyrzutni elektronów, systemu odchylaj cego strumie elektronów i ekranu. Ca o ma posta zamkni tej ba ki szklanej, z której usuni to powietrze. Wyrzutnia elektronowa znajduje si w tylnej cz ci ba ki. ród em elektronów jest po redni arzona cylindryczna katoda K, zwana termokatod , pokryta past emisyjn . Obok niej, w wyrzutni znajduje si szereg elektrod tworz ych uk ad skupiania oraz przy pieszania strumienia elektronów : siatka steruj ca W zwana cylindrem Wehnelta, oraz trzy cylindryczne anody A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> . Dodatkowo napi cie wzgl dem katody

rzędu kilku tysięcy woltów przyłożone do anod, powoduje powstanie pola elektrycznego zwiększającego prędkość elektronów i równocześnie ogniskującego elektrony w wiązki. Do siatki W podaje się napięcie ujemne względem katody. Regulacja napięcia siatki wpływa na intensywność świecenia plamki. Skupiony przez wyrzutni strumień elektronów przebiega pomiędzy dwiema parami elektrod odchylających w postaci paskich pytek X i Y. Do pytek tych przykadane jest napięcie wytwarzające pole elektryczne, które odchyła strumień elektronów w zależności od wartości chwilowej przyłożonego napięcia. Pytki X (pytki odchylania poziomego) ustawione są pionowo i odchylają strumień elektronów w kierunku poziomym, zaś pytki Y (pytki odchylania pionowego) ustawione są poziomo i odchylają strumień elektronów w kierunku pionowym. Pomiędzy pytkami X i Y umieszczona jest elektroda ekranująca  $A_4$  służąca do eliminacji zniekształceń obrazu. Wiązka elektronów uderza w paski ekran pokryty specjalną substancją zwaną luminoforem, która przetwarza energię kinetyczną elektronów w energię świetlną w zakresie widzialnym przez człowieka. Wybite z luminoforu elektrony emisji wtórnej trafiają na grafitowy powłok P połączony elektrycznie z anodami. Na ekranie umieszczona jest skala z podziałkami umożliwiająca wykonanie pomiarów. W przypadku przyłożenia napięcia przemiennego do pytek 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 tylko do pytek X powoduje, że na ekranie widać linię poziomą. Jednoczesne przyłożenie dwóch napięć zmiennych do par pytek powoduje, że na ekranie powstaje obraz linii o kształcie zależnym od kształtu przyłożonego napięcia, częstotliwości i przesunięcia fazowego. Po podaniu na pytki X napięcia liniowo narastającego w funkcji czasu na ekranie otrzymano obraz sygnału przyłożonego do pytek Y. Ponieważ plamka po dojściu do prawego skrajnego położenia na ekranie musi powrócić z powrotem, czyli napięcie odchylające w poziomie musi spaść do zera. Aby otrzymać ciąg obserwacji mierzonego sygnału, do pytek X przykadane są napięcia piosztatne otrzymywane z generatora podstawy czasu. Ruch powrotny plamki jest niewidoczny wskutek doprowadzenia do siatki lampy ujemnego impulsu wygaszającego. Na rysunku 2 wyjaśniono powstawanie obrazu na ekranie oscyloskopu przy podaniu na pytki Y napięcia sinusoidalnego a na pytki X napięcia piosztatnego.



Rys.5.2. Powstawanie obrazu na ekranie oscyloskopu.

Na ekranie oscyloskopu obraz nieruchomy powstanie tylko wtedy, gdy częstotliwość napięcia przyłożonego do pytek jest jednakowa lub swoim wielokrotnością. Generator podstawy czasu ma regulowaną częstotliwość w zakresie od mikrosekund do sekund. Wielokrotności częstotliwości uzyskuje się przez synchronizację polegającą na sterowaniu częstotliwością generatora podstawy czasu przez mierzone napięcie. Początek narastania napięcia pioształnego jest zawsze w tym samym punkcie napięcia mierzonego, co pozwala otrzymać obraz nieruchomy. Przy braku synchronizacji obraz przesuwa się w lewo lub w prawo. Aby otrzymać obraz nieruchomy stosuje się układ synchronizacji i układ regulacji poziomu wyzwalania umożliwiający wybór punktu na mierzonym sygnale. Na rysunku 5.3 przedstawiono schemat blokowy oscyloskopu.



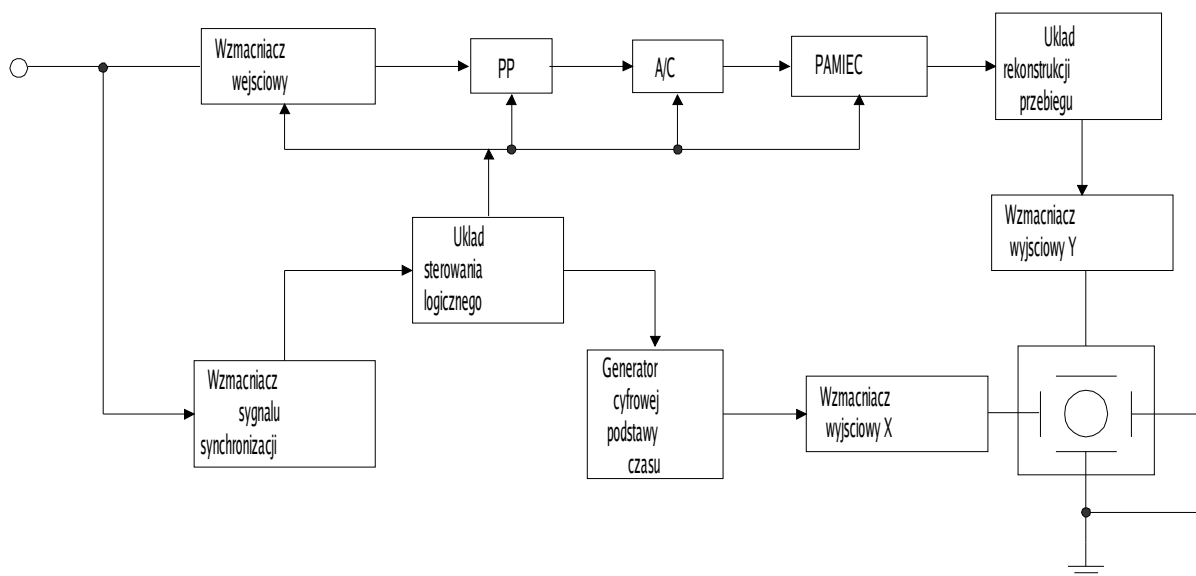
Rys.5.3. Schemat blokowy oscyloskopu analogowego.

$P_1$  – prze cznik X/Y (wy czenie podstawy czasu)

$P_2$  – w czenie / wy czenie wyzwalania zewn trznego

### 5.1.2. Oscyloskop cyfrowy.

W oscyloskopie cyfrowym badany przebieg jest doprowadzony do analogowego wzmacniacza wejściowego. Sygnał wejściowy ze wzmacniacza wejściowego jest podawany na układ próbkujący oraz na układ synchronizacji. W układzie próbkującym zostaje pobrana i zapamiętana chwilowa wartość przebiegu tak jak pokazano na rysunku 5.4.



O chwili próbkowania i częstotliwości próbkowania decyduje układ sterowania logicznego. Zapamiętana w postaci analogowej wartość chwilowa zostaje przetworzona w słowo cyfrowe w przetworniku analogowo-cyfrowym. Długość słowa decyduje o rozdzielczości oscyloskopu cyfrowego. Rozdzielczość określa dokładnie, jak zapamiętywane są sygnały. Im większa jest rozdzielczość, tym dokładniejszy jest przebieg na ekranie, ale zmniejsza to również częstotliwość sygnałów, które można obserwować na oscyloskopie. Najczęściej stosowane są przetworniki 8-bitowe, zdolność rozdzielcza wynosi  $1/2^8 = 1/256$  tzn. każdy przebieg zostaje podzielony na 256 dyskretnych odcinków. Słowo cyfrowe odpowiadające pobranej próbce zostaje zapamiętane w pamięci cyfrowej. W celu zapamiętania całego przebiegu należy pobrać wiele próbek. Im większa liczba próbek, tym drobniejsze szczegóły mogą zostać zapamiętane. Następnie zapamiętany przebieg poddawany jest rekonstrukcji w układzie zawierającym przetwornik cyfrowo-analogowy. Na ekranie lampy oscyloskopowej uzyskujemy obraz w postaci kropek, o położeniu których w osi pionowej decyduje przetwornik C/A a w osi poziomej – generator podstawy czasu który działa na zasadzie zliczania impulsów o częstotliwości określonej precyzyjnie przez zegar. Sygnały z wyjścia przetwornika C/A podaje się interpolacji w układzie który czy kolejne próbki odcinkiem linii i na ekranie otrzymuje się obraz ciągły.

Oscyloskop cyfrowy pozwala na wykonanie wielu różnych operacji np.:

- wyświetlanie obrazu na zewnętrznym monitorze,
- rejestrowanie wielu przebiegów,
- zewnętrzne sterowanie nastawami oscyloskopu przez interfejs,
- matematyczne przetwarzanie sygnałów np. uśrednianie usuwające szumy i zakłócenia, obliczanie wartości skutecznej, mnożenie, dodawanie sygnałów,
- wprowadzenie sygnałów do urządzeń zewnętrznych w celu dalszej ich obróbki,
- automatyczny pomiar różnych parametrów sygnału np. wartość chwilowa, czas narastania, szerokość impulsu, okres, częstotliwość.

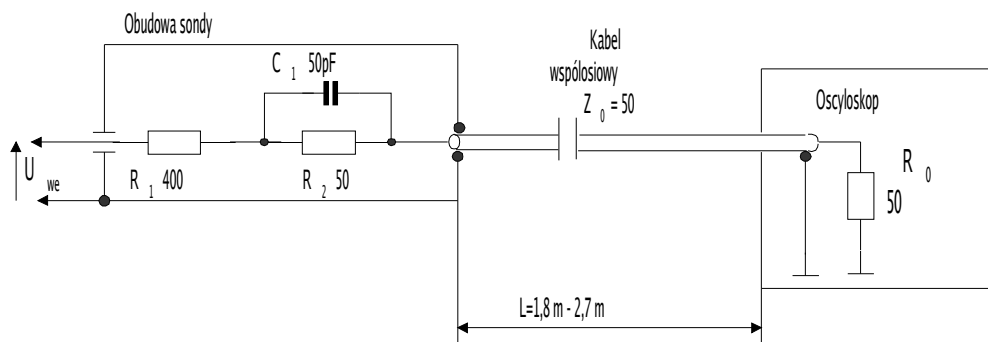
### 5.1.3. Oscyloskopowe sondy pomiarowe.

Podczas pomiarów sygnałów elektrycznych za pomocą oscyloskopu pojawia się problem wpływu sposobu podłączenia oscyloskopu na parametry źródła sygnału oraz wpływu na zniekształcenia kształtu badanego przebiegu. Admitancja wejściowa oscyloskopu składa się z równoległej pojemności (około 10 do 50 pF) oraz rezystancji (około 1 MΩ dla napięcia stałego oraz napięcia zmiennego). Przy większych odległościach między oscyloskopem i badanym układem do pojemności wejściowej dodaje się pojemność przewodów czujnych. Tradycyjny sposób łączenia badanego układu z oscyloskopem za pomocą dwóch przewodów jest ograniczony impedancją źródła, poziomem sygnału, pasmem częstotliwości oraz poziomem zewnętrznych zakłóceń. Przy pomiarach słabszych sygnałów w celu wyeliminowania zakłóceń stosuje się kable ekranowane, jednak zastosowanie np. kabla

współosiowego zwi ksza pojemno wej ciow oscyloskopu o kilkadziesi t pF co znacznie obci a badane ró d o. Przy pomiarach sygnaów w du ym zakresie cz stotliwo ci od pojedynczych Hz do tysicy MHz, czy w du ym zakresie napi ód cz ci mV do tysicy woltów zachodzi konieczno stosowania ró nych typów sond. Ze wzgl du na rozwi zania konstrukcyjne sondy mo emy podzieli na trzy typy:

- sondy bierne, zawieraj ce jedynie elementy R, L, C
- sondy czynne,
- sondy demodulacyjne, zawieraj ce ukad detekcyjny i su ce do pomiarów obwiedni sygnaów o zmodulowanej amplitudzie.

Na rysunku 5.5 przedstawiono ukad sondy rezystorowej skadaj cej si z ekranowanej obudowy, wewn trz której znajduj si rezystory po czone w szereg ze rodkowym przewodem kabla współosiowego. Rezystancja ( $R_1 + R_2$ ) oraz rezystancja wej ciowa kabla stanowi szerokopasmowy dzielnik napi cia. Kondensator  $C_1$  poprawia charakterystyk w.cz. sondy, kompensuj c straty wyst puj ce w kablu. Sondy rezystorowe charakteryzuj si szerokim pasmem przenoszenia i ma pojemno ci wej ciow , wad jej jest ma a rezystancja wej ciowa. Typowe parametry rezystorowych sond biernych s nast puj ce: tumienie 1:10 (1:100), rezystancja wej ciowa  $500 \Omega$  ( $5 \text{ k}\Omega$ ), pojemno wej ciowa  $1 \text{ pF}$ , pasmo 0-3500 MHz (0-1400 MHz), czas narastania  $100 \text{ ps}$  ( $250 \text{ ps}$ ), maksymalne napi cie wej ciowe (sta e +szczytowa warto nap. zmiennego)  $16 \text{ V}$  ( $50 \text{ V}$ ).



Rys. 5.5. Rezystorowa sonda bierna o podziale napi cia 1:10.  
Przy podziale napi cia 1:100  $R_1 = 4950 \Omega$

## 5.2. Przebieg wiczenia.

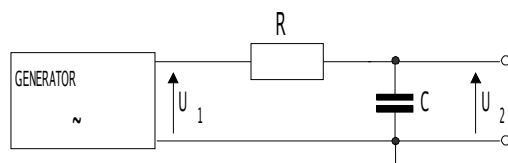
### 5.2.1. Pomiary oscyloskopowe parametrów przebiegów czasowych.

Zmierzy oscyloskopem następujące parametry przebiegów czasowych:

- częstotliwość,
- amplituda,
- składowa stała,
- współczynnik wypełnienia przebiegu prostokątnego,
- szybkość narastania napięcia przebiegu piłokształtnego

### 5.2.2. Pomiar przesunięcia fazowego.

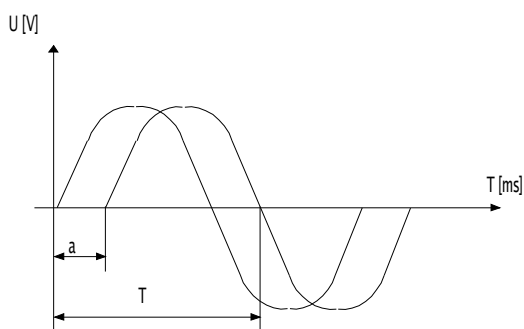
Po czym układ przesuwnika fazowego jak na rysunku 5.6 oraz znanej wartości rezystancji, pojemności i częstotliwości w celu wyznaczenia teoretycznego przesunięcia fazowego.



Rys.5.6. Przesuwnik fazowy RC

Zmierzy przesunięcie fazowe:

a) metodą bezpośrednią



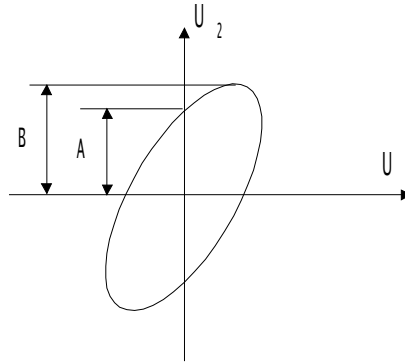
Rys. 5.7. Obraz na ekranie oscyloskopu przy wyznaczaniu przesunięcia fazowego metodą bezpośrednią.

Wartość przesunięcia fazowego wyznaczamy ze wzoru:

$$\varphi_t = \frac{a}{T} \cdot 360^\circ \quad (5.1)$$

b) metod Lissajoux

Podane badane przebiegi odpowiednio na wejście Y i wejście X oscyloskopu. Na ekranie otrzymamy obraz pokazany na rysunku 5.7.



Rys. 5.8. Obraz elipsy otrzymany na ekranie oscyloskopu metod Lissajoux.

Kąt przesunięcia fazowego możemy obliczyć ze wzoru:

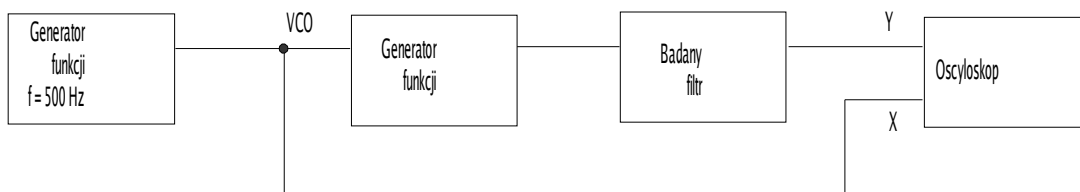
$$= \arcsin \frac{A}{B}$$

lub

$$= \arcsin \frac{2A}{2B} \quad (5.2)$$

### 5.2.3. Oscyloskopowe pomiary charakterystyk czystotliwościowych.

Podczas pomiaru wykorzystujemy generator z przetwornikiem VCO ( $U \rightarrow f$ ) według rysunku 5.9.



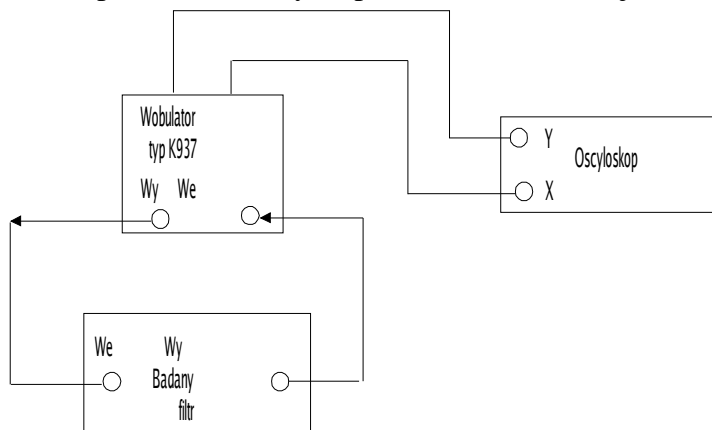


Rys.5.9. Schemat wobulatora z wykorzystaniem generatora z przetwornikiem VCO

Dla filtrów podanych przez prowadzcego z otrzymanych charakterystyk wyznaczy pasmo przenoszenia oraz dobro filtru.

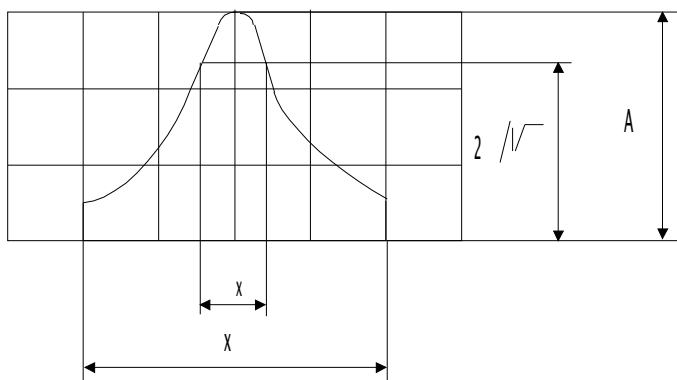
Następnie przebadaj te same filtry wykorzystując wobulator fabryczny. Schemat połączenia wobulatora fabrycznego pokazany jest na rysunku 5.10.

Przed przystąpieniem do pomiarów należy zapoznać się z instrukcją obsługi wobulatora.



Rys.5.10. Schemat połączenia wobulatora fabrycznego z filtrem i oscyloskopem.

Z charakterystyk otrzymanych na ekranie oscyloskopu oraz nastaw wobulatora określ częstotliwość środkową  $f_0$ , częstotliwości graniczne  $f_{gr}$ , szerokość pasma  $\Delta f$ , dobro filtru  $Q$ .



Rys.5.10. Charakterystyka częstotliwościowa filtru

W czasie pomiaru wobulatorem rozciągaj pokrętłami X i Y wobulatora wykres do maksymalnego rozmiaru.

### 5.3. Zakres sprawozdania.

- Oceni dokładność odczytu amplitudy napięcia oraz częstotliwości przez porównanie ze wskazaniami mierników wzorcowych,
- porównaj wartość przesunięcia fazowego odczytanego z oscyloskopu z wartością teoretyczną,
- określ dla badanych filtrów wartości: częstotliwości środkowej, częstotliwości granicznych, szerokość pasma, dewiację i dobroć.

### LITERATURA:

1. A.Chwaleba, M.Poniński, A.Siedlecki : Metrologia elektryczna. Warszawa WNT, 1991.
2. D.Turzeniecka (red) : Laboratorium z metrologii elektrycznej i elektronicznej, Wyd.Polit.Poznańskiej, Poznań 1996.
3. R.Zielonko, B.Bartosiński, J.Hojra, W.Rydzewski, W.Toczek : **Laboratorium Politechniki** Gdańskiej, Gdańsk 1998.
4. J.Rydzewski : Pomiary oscyloskopowe, WNT, Warszawa 1994.
5. Instrukcje obsługi oscyloskopu analogowego, cyfrowego i wobulatora.