

## ĆWICZENIE NR 7

## POMIARY OSCYLOSKOPEM ANALOGOWYM

## 1. Cel ćwiczenia

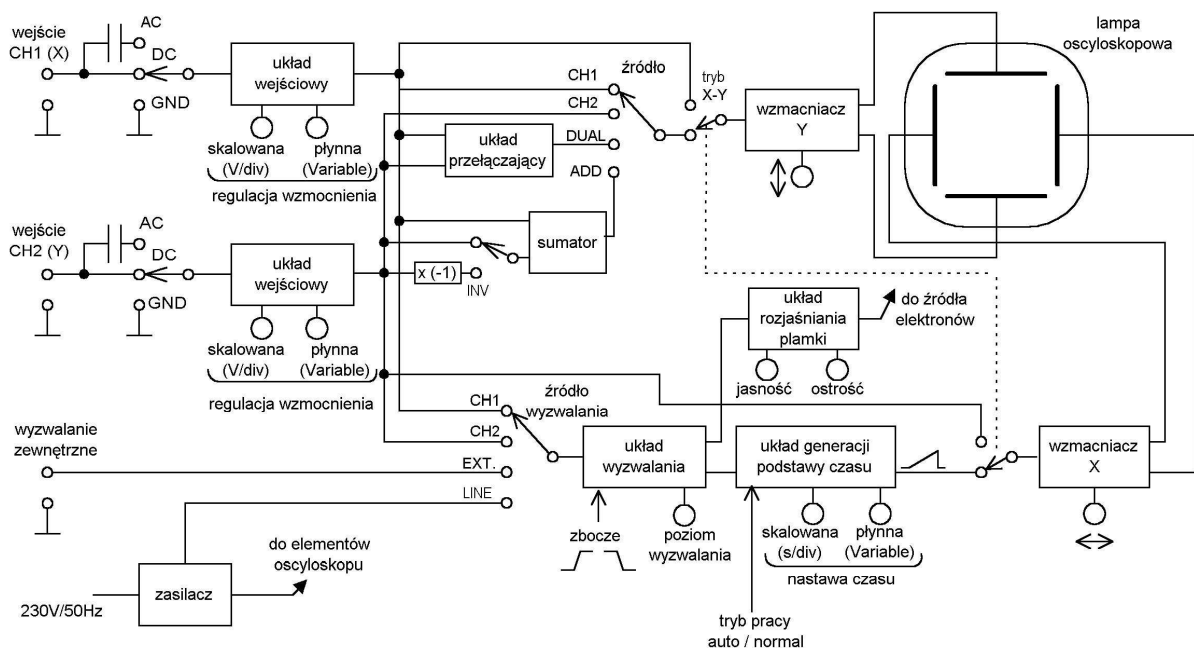
Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z budową i zasadą działania oscyloskopu analogowego oraz ze sposobem wykonywania pomiarów za jego pomocą.

## 2. Budowa oscyloskopu

Oscyloskop jest przyrządem umożliwiającym obserwację kształtu przebiegu sygnałów. Za jego pomocą można także dokonać pomiarów parametrów czasowych (np. okresu, częstotliwości, wypełnienia, czasu narastania zbocza sygnału) i napięciowych (np. amplitudy, składowej stałej) sygnału oraz porównania parametrów dwóch sygnałów (np. przesunięcia fazowego, wzmocnienia sygnału). Możliwa jest również obserwacja charakterystyk prądowo-napięciowych dwójników (np. diody półprzewodnikowej, termistora).

Schemat blokowy typowego analogowego oscyloskopu dwukanałowego przedstawiony jest na Rys. 1. Do podstawowych bloków funkcjonalnych oscyloskopu należą:

- układy wejściowe,
- wzmacniacz Y odchylenia pionowego,
- układ wyzwalania,
- układ generacji podstawy czasu,
- wzmacniacz X odchylenia poziomego,
- wzmacniacz modulacji jaskrawości plamki,
- lampa oscyloskopowa,
- zasilacz niskiego i wysokiego napięcia.



Rys 1. Schemat blokowy analogowego oscyloskopu dwukanałowego

Sygnaly wejściowe w kanałach CH1 i CH2 przechodzą przez przełączniki wyboru rodzaju mierzonego sygnału (AC/DC) i podawane są na układy wejściowe zawierające skokową, skalowaną regulację (opisaną w voltach na działkę V/DIV) oraz płynną regulację wzmocnienia (Variable). Aby poprawnie korzystać ze skalowanych wartości podanych przy przełączniku V/DIV należy płynną regulację wzmocnienia ustawić w pozycji skalibrowanej (CAL). Z układów wejściowych sygnały trafiają do wzmacniaczy. Wzmacniacz odchylenia pionowego Y ma dodatkowo możliwość regulacji położenia obrazu w pionie, a wzmacniacz X ma możliwość regulacji położenia obrazu w poziomie.

W przypadku pracy jednokanałowej, z kanału pierwszego CH1, opisanego także Y, sygnał dalej podawany jest na wzmacniacz Y odchylenia pionowego, z którego wzmocniony, symetryczny sygnał podawany jest na płytki odchylenia pionowego lampy oscyloskopowej. Do narysowania obrazu niezbędne jest także wystawianie płytek odchylenia poziomego. W przypadku pracy oscyloskopu w trybie wyświetlania przebiegu wejściowego w funkcji czasu za odchylenie poziome odpowiedzialny jest układ generacji podstawy czasu. Wytwarza on piłokształtny przebieg, którego szybkość narastania zależy od wybranego skokowo współczynnika czasu (w sekundach na działkę s/DIV). Możliwa jest także płynna regulacja szybkości narastania za pomocą pokrętki VARIABLE, jednak podobnie jak w przypadku wzmocnienia aby móc skorzystać ze skali czasu należy to pokrętło ustawić w pozycji skalibrowanej CAL. Sygnał piłokształtny jest podawany na wzmacniacz X odchylenia poziomego, na wyjściu którego także otrzymywany jest przebieg symetryczny podawany na płytki odchylenia poziomego. W czasie narastania przebiegu piłokształtnego na wzmacniacz jaskrawości, nazywany czasem wzmacniaczem Z, podawany jest stan wysoki. Ma to na celu rozświetlenie plamki na czas rysowania właściwego przebiegu i wygaszenie jej na czas powrotu do punktu początkowego. Ze wzmacniacza jaskrawości jest wyprowadzona regulacja jasności (INTENSITY) umożliwiająca ustawienie jaskrawości obrazu dogodnej do obserwacji przebiegu.

W ogólnym przypadku rysowanie obrazu zaczynałoby się w przypadkowej chwili czasowej co powodowałoby wyświetlanie obrazu nie nadającego się do obserwacji. Stabilny obraz jest uzyskiwany tylko w przypadku startu podstawy czasu dokładnie zawsze w tym samym punkcie badanego przebiegu. Zapewnia to układ wyzwalania (TRIGGER). Ten blok oscyloskopu jest odpowiedzialny za wystartowanie podstawy czasu zawsze w tym samym momencie badanego przebiegu. Możliwy jest wybór źródła przebiegu wyzwalającego:

CH 1 – wyzwalanie przebiegiem z kanału pierwszego,

CH 2 – wyzwalanie przebiegiem z kanału drugiego,

LINE – wyzwalanie częstotliwością sieci,

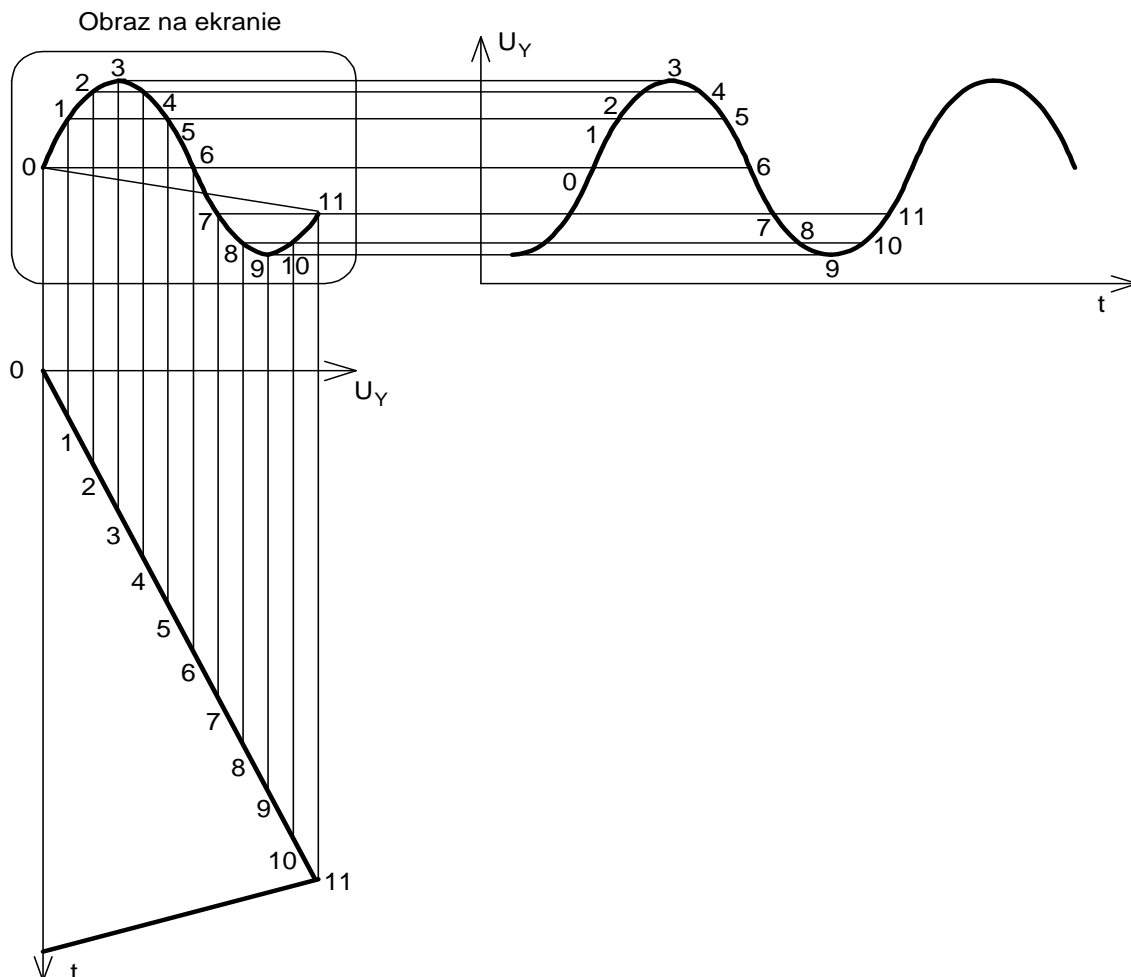
EXTERNAL – wyzwalanie przebiegiem zewnętrznym doprowadzonym do osobnego wejścia.

Oprócz wyboru źródła sygnału wyzwalającego jest możliwość regulacji poziomu wyzwalania (pokrętło LEVEL), czyli poziomu od którego przebieg będzie rysowany oraz zbocza narastającego lub opadającego. Jeżeli poziom wyzwalania jest niższy lub wyższy od poziomu badanego przebiegu nie jest możliwe poprawne wyzwolenie przebiegu i obraz jest niestabilny. Układ wyzwalania może pracować w dwóch trybach. W trybie AUTO podstawa czasu jest generowana cały czas, bez względu na synchronizację przebiegu. W trybie NORMAL podstawa czasu generowana jest tylko w przypadku zapewnienia poprawnych warunków wyzwalania. W przypadku gdy nie są spełnione warunki poprawnego wyzwalania w trybie pracy AUTO zaobserwujemy płynący przebieg lub kilka przebiegów nałożonych na siebie, w trybie pracy NORMAL ekran będzie pusty, co może utrudnić regulacją oscyloskopu zwłaszcza na początku jego użytkowania.

Zasadę powstawania obrazu na ekranie oscyloskopu przedstawiono na Rys. 2. Aby na ekranie można było zaobserwować sygnał zmienny potrzebne jest jednoczesne oddziaływanie na strumień elektronów dwóch sił. W kierunku pionowym plamka jest odchylana

proporcjonalnie do mierzonego sygnału, a w kierunku poziomym odchylenie musi być wprost proporcjonalne do czasu, co można uzyskać poprzez doprowadzenie do płyt odchylenia poziomego napięcia narastającego liniowo w funkcji czasu. Po osiągnięciu przez plamkę prawego skrajnego położenia musi ona wrócić do początku co osiąga się poprzez zmniejszenie napięcia do wartości początkowej. Na płyty odchylenia poziomego podawany więc jest sygnał piłokształtny, a rysowana przez niego linia nazywana jest liniową podstawą czasu lub rozciąganiem liniowym. Zgodność wzajemnego zsynchronizowania się sygnału podstawy czasu i sygnału mierzonego jest warunkiem koniecznym do nakładania się kolejnych obrazów a więc i powstawania obrazu nieruchomego dla obserwatora. Synchronizację tą zapewniają w oscyloskopie układy synchronizacji i wyzwalania TRIGGER.

Podczas liniowego narastania napięcia plamka przesuwa się w prawo wzdłuż osi X. Ten ruch nazywany jest ruchem roboczym. Powrotny ruch odbywa się z pewną skończoną prędkością, zwykle większą niż podczas ruchu roboczego co powodowałoby narysowanie w tym czasie fragmentu przebiegu. Dlatego też w czasie powrotu plamka jest wygaszana co jest wykonywane poprzez doprowadzenie ujemnego impulsu napięciowego do siatki pierwszej lampy oscyloskopowej.



Rys 2. Zasada powstawania obrazu sygnału na ekranie oscyloskopu

Większość współczesnych oscyloskopów ma możliwość pracy dwukanałowej. Daje to możliwość obserwacji dwóch sygnałów równocześnie np. na wejściu i wyjściu układu badanego. Praca dwukanałowa polega na szybkim przełączaniu kanałów i wyświetlaniu ich na przemian na ekranie, co ze względu na bezwładność ludzkiego oka daje wrażenie jednoczesnego oglądania dwóch przebiegów. Dostępne są dwa tryby pracy: siekana (CHOP) i

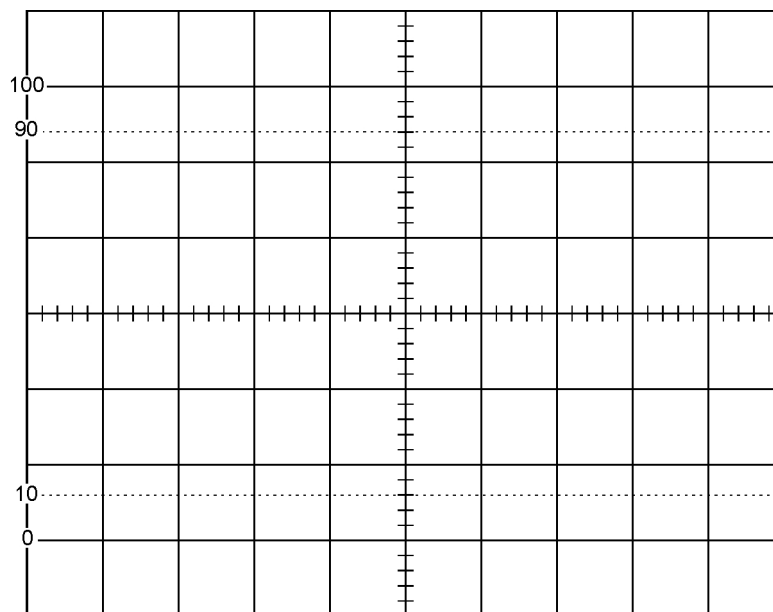
przełączana (ALT). Praca przełączana ALT polega na podawaniu na ekran przez jeden pełny okres podstawy czasu najpierw sygnału z jednego kanału, potem sygnału z drugiego kanału. W przypadku pracy siekanej CHOP na ekran są naprzemiennie podawane sygnały z obu kanałów podczas tego samego okresu podstawy czasu, tzn. przełączanie kanałów odbywa się podczas procesu wyświetlania przebiegu na ekranie. Praca ALT nadaje się lepiej dla dużych częstotliwości, CHOP dla małych. Zazwyczaj tryb pracy ALT lub CHOP ustawiany jest w oscyloskopie samoczynnie na podstawie wybranej nastawy szybkości podstawy czasu, tylko w niektórych typach oscyloskopów użytkownik może dokonać wyboru samodzielnie.

W przypadku pomiarów dwukanałowych jest również możliwość dodawania przebiegów do siebie. Jest to praca w trybie ADD. Ta właściwość jest szczególnie cenna w przypadku gdy musimy wykonać pomiar pomiędzy dwoma punktami nieziemionymi. W tym przypadku dodajemy do siebie sygnały z obu wejść, ale kanał drugi CH2 z odwróconą polaryzacją (INV). Na ekranie otrzymamy obraz sygnału w kanale pierwszym CH1 względem kanału drugiego CH2, czyli różnicę sygnałów z dwóch kanałów CH1-CH2.

W przypadku oscyloskopów dwukanałowych możliwa jest także praca w trybie X-Y. Polega to na odłączeniu podstawy czasu i podania na wejście wzmacniacza X odchylenia poziomego sygnału z kanału pierwszego CH1, który w takim przypadku pełni rolę kanału X, kanał drugi CH2 pełni wtedy rolę kanału Y.

Całość oscyloskopu zasilana jest z zasilacza, który oprócz dostarczania napięć niskich do zasilania układów wzmacniaczy musi także dostarczać napięć wysokich potrzebnych do pracy lampy oscyloskopowej. Zasilacz wysokiego napięcia ma wyprowadzoną regulację napięcia przyspieszającego elektrony służącą do regulacji ostrości (FOCUS).

Aby umożliwić odczyt z ekranu oscyloskopu na jego powierzchni naniesiona jest odpowiednia skala. Typowy ekran oscyloskopu przedstawiono na Rys. 3. Ma on rozmiar 10cmx8cm z zaznaczonymi liniami co 1cm, są to tzw. działki (DIV). Dodatkowo co 2mm zaznaczone są małe działki. Wprawny użytkownik oscyloskopu powinien odczytywać wymiary przebiegów z rozdzielczością 1/5 małej działki. Dodatkowe linie przerywane oraz oznaczenia 0%, 10%, 90%, 100% na krawędzi ekranu są przeznaczone do pomiarów czasów narastania i opadania zboczy sygnałów.



Rys 3. Skala naniesiona na ekranie typowego oscyloskopu analogowego

### 3. Pomiary z użyciem oscyloskopu

#### 3.1. Podstawowe parametry sygnałów mierzone oscyloskopem

**Amplituda** sygnału okresowego jest to nieujemna wartość określająca największe odchylenie wartości chwilowej od jego wartości średniej. Amplituda  $A$  w sygnałach sinusoidalnych jest równa jego maksymalnej wartości:

$$y(t) = A \sin(\omega t + \varphi) ,$$

gdzie:  $y(t)$  - wartość chwilowa sygnału,

$t$  - czas,

$\omega$  - pulsacja (częstotliwość kołowa) w radianach na sekundę,

$\varphi$  - faza początkowa sygnału w chwili  $t=0$ .

**Składowa stała  $B$**  jest to wartość napięcia stałego dodana do przebiegu przemiennego:

$$y(t) = A \sin(\omega t + \varphi) + B .$$

W przypadku sygnału ze składową stałą  $B$ , amplituda  $A$  dotyczy tylko części okresowej. Amplituda w tym przypadku jest równa  $A$ , suma  $A+B$  jest wartością maksymalną sygnału, ale nie jest to amplituda sygnału. Amplitudą tego sygnału jest tylko wartość  $A$ .

Amplituda jest często niewłaściwie określana jako różnica pomiędzy maksymalną a minimalną wartością przebiegu (według takiego opisu wynosiłaby  $2A$ ). Tak definiowana jest **wartość międzyszczytowa** (*ang. peak-to-peak*). Wartość międzyszczytową podaje się często poprzez zapis jednostki napięcia z dodatkowym indeksem  $V_{p-p}$ .

**Cykl** jest to powtarzający się ciąg wartości sygnału lub charakterystycznych stanów. Przebiegi cykliczne charakteryzują się więc tym, że co pewien czas przyjmują te same określone charakterystyczne stany, przebiegi okresowe natomiast przyjmują co pewien czas dokładnie te same wartości. Przykładowo, przebieg sygnału elektrokardiogramu EKG jest cykliczny ponieważ występują w nim kolejne tzw. załamki P-Q-R-S-T, ale nie jest okresowy ponieważ wartości napięć w kolejnych cyklach mogą być różne.

**Okres  $T$**  sygnału jest to czas trwania jednego cyklu sygnału. Matematycznie okres  $T$  jest to taka najmniejsza wartość czasu, po którym sygnał przyjmuje te same wartości. Wartości sygnału powtarzają się również po każdej wielokrotności  $k$  okresu:

$$y(t) = A \sin(\omega t + \varphi) = A \sin(\omega(t + T) + \varphi) = A \sin(\omega(t + kT) + \varphi) .$$

**Częstotliwość** określa liczbę cykli zjawiska okresowego występujących w jednostce czasu. W układzie SI jednostką częstotliwości jest herc (Hz). Częstotliwość 1Hz odpowiada występowaniu jednego zdarzenia (cyklu) w ciągu 1 sekundy. Pomiędzy częstotliwością  $f$  i okresem  $T$  zachodzi zależność:

$$f = \frac{1}{T}$$

gdzie:  $T$  - okres w sekundach,

$f$  - częstotliwość w hercach.

Pomiędzy częstotliwością  $f$  i pulsacją  $\omega$  zachodzi związek:

$$\omega = 2\pi f .$$

**Przesunięcie fazowe** jest to odległość między punktami o takiej samej fazie dwóch napięć okresowo zmiennych.

**Wzmocnienie** jest to stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do amplitudy sygnału wejściowego badanego układu (wzmacniacza, tłumika, filtru itp.):

$$K_U = \frac{A_{wy}}{A_{we}} .$$

Jeżeli wzmacnienie jest mniejsze od 1 to mamy do czynienia z tłumieniem sygnału. W praktyce zazwyczaj posługujemy się wzmacnieniem wyrażonym w decybelach (dB):

$$k_{dB} = 20 \log \frac{A_{wy}}{A_{we}} .$$

W skali decybelowej tłumienie ma ujemną wartość.

### 3.2. Pomiar napięć stałych i zmiennych

W przypadku pomiaru napięć stałych jako obraz otrzymamy poziomą linię przesuniętą, w zależności od wartości napięcia, względem położenia zerowego. W tym przypadku stosowanie oscyloskopu nie jest uzasadnione, ponieważ takiego pomiaru możemy dokonać prościej i dokładniej woltomierzem.

Znacznie bardziej interesująca jest obserwacja i pomiar sygnałów zmiennych. Wtedy na ekranie oscyloskopu można obserwować przebieg wartości chwilowej napięcia w czasie. Aby móc dokonywać obserwacji przebiegów okresowych należy odpowiednio dobrać nastawę podstawy czasu w zależności od częstotliwości mierzonego sygnału. Dobrze dobrana podstawa czasu powinna umożliwić nam obserwację stabilnego obrazu jednego lub kilku okresów sygnału mierzonego. Należy także ustawić odpowiednią wartość tłumienia wejścia tak, aby można było obserwować sygnał na całym ekranie. W przypadku przebiegów ze składową stałą istotne jest ustawienie wejścia do pomiarów napięć stałych (DC) lub zmiennych (AC). W przypadku pracy AC w tor wejścia włączony jest kondensator odcinający składową stałą sygnału (Rys. 1), co jest szczególnie przydatne przy obserwacji sygnałów z małą składową przemienną i dużą składową stałą. W trybie DC na ekranie oscyloskopu obserwujemy zarówno składową stałą jak i składową przemienną.

Aby uzyskać maksymalnie dokładny pomiar należy przestrzegać następujących zasad:

- obraz mierzonego przebiegu powinien zająć maksymalną wysokość ekranu,
- obraz na ekranie powinien być dobrze zogniskowany,
- z pomiaru powinno się wyeliminować grubość linii poprzez odczyt wartości odchylenia w kierunku pionowym przy tej samej krawędzi (dolnej albo górnej),
- oscyloskop powinien być zalegalizowany i wykalibrowany oraz stosowany w warunkach zgodnych ze znamionowymi,
- sonda powinna być skalibrowana,
- sonda powinna być łączona jak najkrócej do punktów pomiarowych,
- należy pamiętać o wpływie na pomiar parametrów wzmacniacza w zależności od częstotliwości przebiegu.

Ostrość plamki (FOCUS) należy wyregulować przy możliwie najmniejszej jaskrawości (INTENSITY), wtedy otrzymamy odpowiednio cienką linię na ekranie umożliwiającą dokładny odczyt. Przy podłączaniu oscyloskopu do źródła sygnału należy najpierw podłączyć zacisk odniesienia a potem zacisk pomiarowy. Przy spodziewanym przebiegu o dodatniej składowej stałej względem zacisku odniesienia linię odchylenia pionowego ustawia się na dole ekranu a przy ujemnym na górze.

### 3.3. Pomiar czasu oraz okresu, częstotliwości i amplitudy sygnału metodą bezpośrednią

Pomiar czasu metodą bezpośrednią polega na odczytaniu odległości  $l_X$  pomiędzy dwoma punktami przebiegu i pomnożeniu tej odległości przez wartość podstawy czasu  $C_{tX}$ :

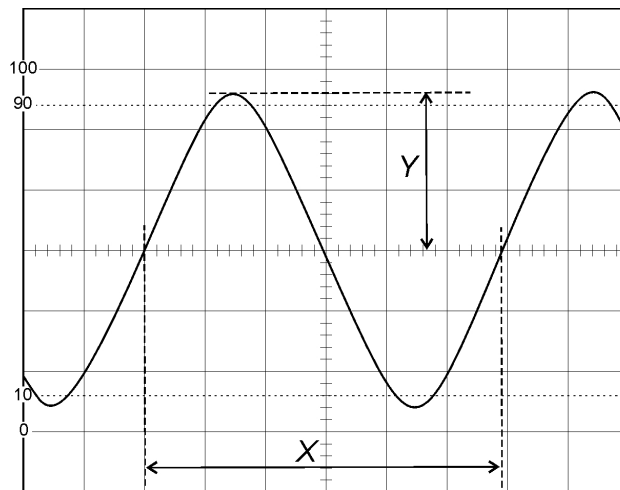
$$\Delta t = l_X C_{tX} .$$

W przypadku gdy oscyloskop ma płynną regulację podstawy czasu (VARIABLE) należy pamiętać aby przy pomiarach czas płynną nastawę podstawy czasu ustawić w pozycji skalibrowanej CAL.

Pomiar okresu sygnału  $T$  polega na pomiarze odległości  $X$  pomiędzy dwoma odpowiednio dobranymi punktami odległymi o jeden okres. Zasadę pomiaru przedstawiono na Rys. 4. Źródłami błędów w tej metodzie są:

- niedokładność odczytu odległości  $X$  (przyjmujemy 1/5 małej działki),
- trudności określenia dokładnych punktów przebiegu odległych o jeden okres,
- niedokładność generatora podstawy czasu (zazwyczaj około 3% - 5%).

Zaletą tej metody jest prostota oraz możliwość zmierzenia okresu sygnałów nieregularnych, natomiast poważną wadą mała dokładność. Aby uzyskać dużą dokładność pomiaru okresu należy odpowiednio wybrać punkty odległe o jeden okres. Należy wybierać punkty leżące na najbardziej stromych fragmentach przebiegu. Dla przebiegów sinusoidalnych i podobnych są to punkty przejścia przez poziom zerowy, tak jak na Rys. 4. Nie należy dokonywać pomiaru okresu pomiędzy wierzchołkami sinusoidy, gdyż jest ona w tych miejscach płaska. Dla dokładnego odczytu okresu należy jeden z punktów wyznaczających okres ustawić na pełnej działce. Przy odczycie amplitudy  $Y$  wygodnie jest ustawić wierzchołek przebiegu na środkowej linii z naniesionymi małymi działkami.



Rys. 4. Pomiar amplitudy i okresu sygnału

Zgodnie z oznaczeniami z Rys. 4 amplituda  $A$  sygnału ma wartość:

$$A = Y \cdot C_Y ,$$

okres  $T$  sygnału wyrazić można:

$$T = X \cdot C_{tX} ,$$

a częstotliwość  $f$  sygnału:

$$f = \frac{1}{T} ,$$

gdzie:  $A$  - amplituda,

$T$  - okres,

$f$  - częstotliwość,

$C_Y$  - czułość wejścia odchylenia poziomego [V/DIV],

$C_{tX}$  - podstawa czasu [s/DIV],

$X, Y$  - odległości w działkach zmierzone zgodnie z rysunkiem 4.

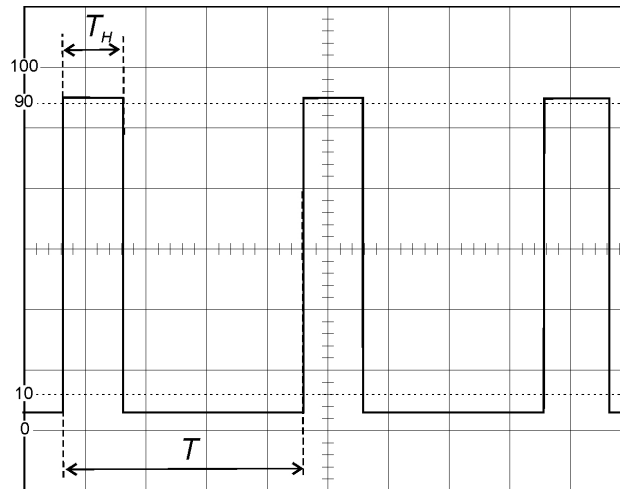
### 3.4 Pomiar współczynnika wypełnienia sygnału prostokątnego

Sposób pomiaru współczynnika wypełnienia przedstawiono na Rys. 5. Współczynnik wypełnienia  $W$  dla sygnału prostokątnego jest to stosunek czasu trwania stanu wysokiego  $T_H$  do okresu sygnału  $T$ :

$$W = \frac{T_H}{T} \cdot 100\% ,$$

gdzie:  $W$  - współczynnik wypełnienia w procentach,

$T_H, T$  - odległości odczytane zgodnie z rysunkiem 5.



Rys. 5. Pomiar współczynnika wypełnienia

### 3.5. Pomiary dwukanałowe

Większość współczesnych oscyloskopów ma możliwość pracy dwukanałowej. Daje to możliwość obserwacji dwóch sygnałów równocześnie np. na wejściu i wyjściu układu badanego. Praca dwukanałowa w rzeczywistości polega na szybkim przełączaniu kanałów i naprzemiennym wyświetlaniu ich na ekranie. Dostępne są dwa tryby pracy siekana (CHOP) i przełączana (ALT). Praca przełączana polega na podawaniu na ekran najpierw sygnału z jednego kanału, potem sygnału z drugiego kanału. W przypadku pracy siekanej na ekran są naprzemiennie podawane sygnały z obu kanałów, z tym, że przełączanie odbywa się podczas procesu wyświetlania przebiegu na ekranie. Praca ALT nadaje się lepiej dla dużych częstotliwości, CHOP dla małych.

W przypadku pomiarów dwukanałowych jest możliwość dodawania przebiegów do siebie. Jest to praca w trybie ADD. Ta właściwość jest szczególnie cenna w przypadku gdy musimy wykonać pomiar pomiędzy dwoma punktami nieziemionymi. W tym przypadku dodajemy do siebie sygnały z obu wejść, ale jeden z nich (CH2) z odwróconą polaryzacją (INV). Na ekranie otrzymamy obraz sygnału w kanale pierwszym względem kanału drugiego, czyli będziemy obserwować różnicę kanałów CH1-CH2.

### 3.6. Pomiar wzmocnienia i przesunięcia fazowego w trybie dwukanałowym DUAL

Aby można było wygodnie odczytywać przesunięcie fazowe pomiędzy dwoma sygnałami dołączonymi do kanałów CH1 i CH2, zaleca tak wyregulować płynnie podstawę czasu (pokrętko VARIABLE), aby okres sygnału na ekranie był równy  $T=7,2$  działki (36 małych działek po 2 mm), co odpowiada kątowi  $360^\circ$ . Zasadę pomiaru pokazano na Rys. 6. Dzięki temu jedna mała działka na ekranie oscyloskopu (2 mm) odpowiada kątowi przesunięcia fazowego  $\varphi=10^\circ$ , co bardzo ułatwia pomiar przesunięcia fazowego.

Przesunięcie fazowe  $\varphi$  w stopniach można wyznaczyć z następującej zależności:

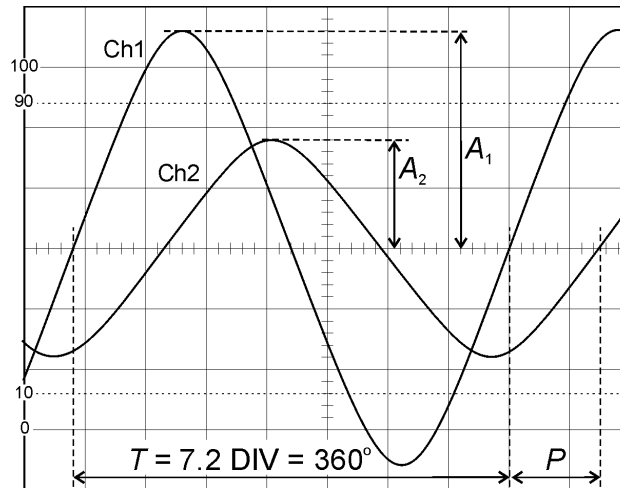
$$\varphi = \frac{P}{T} 360^\circ ,$$

gdzie:  $\varphi$  - przesunięcie fazowe w stopniach,

$P, T$  - odległości odczytane zgodnie z rysunkiem 6.

Przykład na Rys. 6 ilustruje przesunięcie fazowe  $\varphi=75^\circ$ .





Rys. 6. Pomiar wzmacnienia i przesunięcia fazowego

Dołączając do dwóch kanałów CH1 i CH2 odpowiednio sygnał wejściowy i wyjściowy badanego układu (wzmacniacza, tłumika, filtru itp.) można wyznaczyć jego wzmacnienie lub tłumienie. Zgodnie z oznaczeniami podanymi na Rys. 6 wzmacnienie (tłumienie) w skali liniowej można wyznaczyć według zależności:

$$K_U = \frac{A_2}{A_1},$$

gdzie:  $K_U$  - wartość wzmacnienia (tłumienia) w skali liniowej,

$A_1$  - amplituda przebiegu na wejściu,

$A_2$  - amplituda przebiegu na wyjściu.

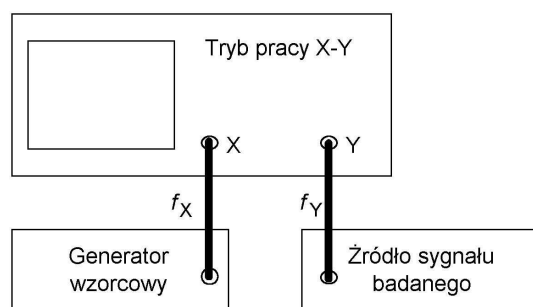
Wzmacnienie (tłumienie) w skali logarytmicznej wyrażone w decybelach (dB) wyznaczymy zgodnie z zależnością:

$$k_{dB} = 20 \log \frac{A_2}{A_1}.$$

Przykład na Rys. 6 ilustruje tłumienie w wartości -6dB, stosunek napięć  $A_2/A_1=1/2$ .

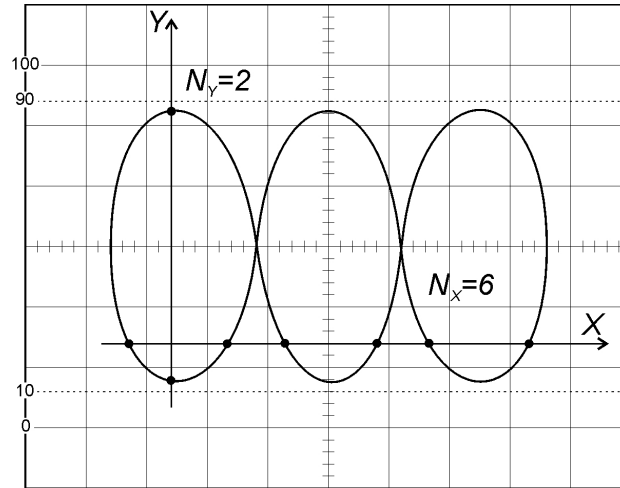
### 3.7. Pomiary częstotliwości pośrednią metodą krzywych Lissajus

W przypadku gdy mamy do czynienia z sygnałami sinusoidalnymi możemy ich częstotliwość wyznaczyć korzystając z oscyloskopu. W przypadku podania na wejścia X i Y oscyloskopu sygnałów sinusoidalnych zgodnie z Rys. 7 na ekranie zaobserwujemy powstawanie tzw. krzywych Lissajous. Kształt tych krzywych zależy od stosunku częstotliwości sygnałów doprowadzonych do wejść a także od przesunięcia fazowego pomiędzy nimi. Nieruchomy obraz uzyskamy wtedy, gdy stosunek obu częstotliwości będzie stały i równy stosunkowi dwóch liczb całkowitych.



Rys 7. Układ do pomiaru częstotliwości pośrednią metodą krzywych Lissajus

Przykładowy obraz uzyskany w tej metodzie przedstawiono na Rys. 8. Ze względu na niestabilność generatorów uzyskanie stałego obrazu jest w praktyce bardzo trudne, zazwyczaj obraz będzie wolno się przemieszczał. Porównywane sygnały powinny mieć stosunek częstotliwości co najwyżej 10, ponieważ przy wyższym stosunku odczyt będzie utrudniony ze względu na duże zagęszczenie linii na ekranie.



Rys.8. Pomiar częstotliwości pośrednią metodą krzywych Lissajous

Jeżeli uzyskaną na ekranie figurę przetniemy liniami poziomą i pionową tak jak na Rys. 8, w ten sposób aby żadna z linii nie przechodziła przez punkty węzłowe, to stosunek mierzonej częstotliwości  $f_y$  do częstotliwości wzorcowej  $f_x$  można wyrazić jako :

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_x}{N_y} ,$$

gdzie:  $f_x$ - częstotliwość sygnału na wejściu X (CH1)

$f_y$ - częstotliwość sygnału na wejściu Y (CH2)

$N_x$ - liczba przecięć z osią poziomą X

$N_y$ - liczba przecięć z linią pionową Y

W przykładzie przedstawionym na Rys. 8 mamy  $f_y = 3 f_x$  .

Dokładność pomiaru tą metodą zależy od dokładności źródła częstotliwości wzorcowej w przypadku gdy obraz jest nieruchomy. Ponieważ uzyskanie nieruchomego obrazu jest tym trudniejsze im wyższe są częstotliwości, to zakres pomiaru częstotliwości tą metodą jest ograniczony.

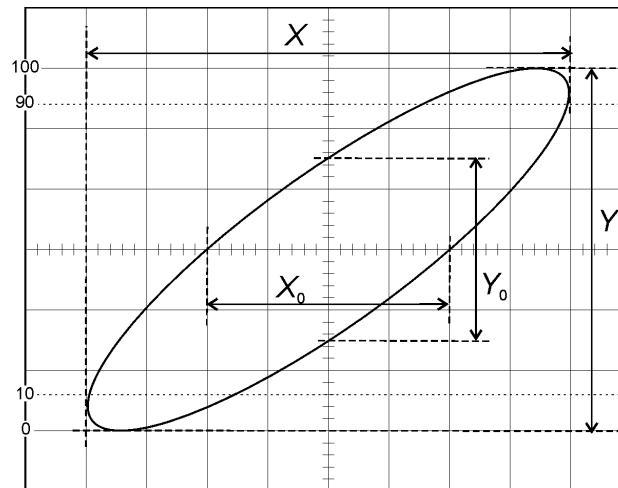
Jeśli częstotliwości  $f_x$  i  $f_y$  są stabilne i różnią się o niewielką wartość, tzn.  $f_x \approx f_y$ , wtedy otrzymana krzywa ma kształt elipsy zmieniającej powoli swój kształt z okresem  $T$ . Różnicę częstotliwości  $\Delta f$  można wtedy wyznaczyć z zależności:

$$\Delta f = f_x - f_y = \pm \frac{1}{T} .$$

W ten sposób można bardzo precyzyjnie porównywać częstotliwości generatorów wzorcowych, np. zegarów atomowych. Jeżeli przy porównaniu dwóch wzorcowych częstotliwości 10MHz krzywa Lissajous zmienia się z kresem  $T=10s$ , to względna różnica obu częstotliwości wynosi  $10^{-8}$ , czyli tylko 0,000001%. Niewiele jest znanych metod pozwalających na tak dokładny pomiar częstotliwości. Niestety metoda ta nie pozwala wyznaczyć znaku różnicy częstotliwości  $\Delta f$ , pozwala jednak bardzo precyzyjnie dostroić do siebie dwa generatory wzorcowe.

### 3.8. Pomiar przesunięcia fazowego metodą pośrednią w trybie X-Y

Pomiar przesunięcia fazowego można zrealizować metodą krzywych Lissajus stosując oscyloskop dwukanałowy. W oscyloskopie należy wyłączyć podstawę czasu i przełączyć w tryb X-Y. Porównywane sygnały doprowadzamy do wejść X i Y oscyloskopu, analogicznie jak na Rys. 7, przy czym przy pomiarze przesunięcia fazowego obie częstotliwości muszą być oczywiście sobie równe  $f_x = f_y$ . Dobierając odpowiednio wzmocnienie w kanale X i Y otrzymujemy na ekranie oscyloskopu przebieg pokazany na Rys. 9. Dla wygody odczytu należy również za pomocą pokręteł płynnej regulacji wzmocnienia VARIABLE uzyskać szerokość i wysokość krzywej równą pełnym działkom na ekranie oscyloskopu.



Rys.9. Pomiar przesunięcia fazowego pośrednią metodą krzywych Lissajus

Wartość przesunięcia fazowego wyraża się zależnością:

$$\sin \varphi = \frac{Y_0}{Y} = \frac{X_0}{X} ,$$

gdzie:  $\varphi$  - przesunięcie fazowe,

$X, Y$  - szerokość i wysokość otrzymanej,

$X_0, Y_0$  - odległości pomiędzy punktami krzywej przecięć Lissajus z osią X i Y.

W przykładzie przedstawionym na Rys. 9  $\sin \varphi = 0,5$  oraz  $\varphi = 30^\circ$ .

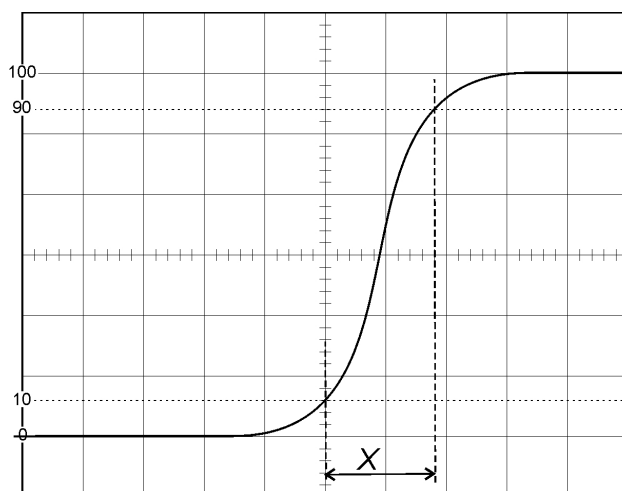
#### Pomiar czasów narastania i opadania zbocza sygnałów

Czas narastania zbocza sygnału  $t_{rise}$  jest to czas w którym wartość sygnału zmienia się od 10% do 90% wartości maksymalnej. Analogicznie zdefiniowany jest czas opadania zbocza  $t_{fall}$  przy zmianie sygnału od 90% do 10% wartości maksymalnej. Aby ułatwić pomiar czasu narastania i opadania, na ekranie oscyloskopu naniesione są dodatkowe linie oraz oznaczone są wartości 0%, 10%, 90% i 100%. Zasadę pomiaru czasu narastania przedstawiono na Rys. 10. Dla wygody odczytu należy za pomocą pokręteł płynnej regulacji wzmocnienia Y (pokrętko VARIABLE) uzyskać wysokość przebiegu równą odległości pomiędzy działkami 0% i 100% zaznaczonymi na ekranie oscyloskopu. Podstawa czasu musi być w pozycji skalibrowanej CAL. Z ekranu oscyloskopu należy odczytać odległość X pomiędzy punktami przecięcia przebiegu z liniami 10% i 90%. Czas narastania  $t_{rise}$  obliczamy z zależności:

$$t_{rise} = X \cdot C_{tX} ,$$

Analogicznie można wykonać pomiar czasu opadania zbocza  $t_{fall}$ . Dla większej dokładności należy jeden z punktów pomiędzy którymi odczytujemy odległość X ustawić na pełnej działce. Przydatne może być również dodatkowe dziesięciokrotne rozciągnięcie podstawy czasu (PULL x10MAG) poprzez pociągnięcie pokręteł VARIABLE w torze

podstawy czasu. Przy pomiarze czasu opadania zbocza korzystne może być również przełączenie synchronizacji na opadające zbocze poprzez wyciągnięcie pokrętła LEVEL.



Rys.10. Pomiar czasu narastania  $t_{rise}$  zbocza sygnału

## 4. Wykonanie ćwiczenia

### 4.1. Zapoznanie się z instrukcją obsługi i wybranymi parametrami oscyloskopu

Na podstawie instrukcji obsługi oscyloskopu zanotować do protokołu wybrane parametry oscyloskopu, niezbędne do prawidłowego wykonania sprawozdania:

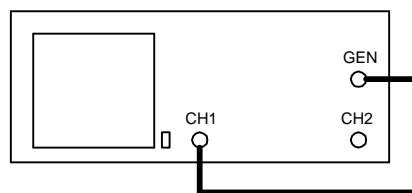
- Parametry lampy oscyloskopowej, zwrócić uwagę na rozmiar działki na ekranie oscyloskopu i odpowiednio zastosować tę informację podczas wykonywania szkiców przebiegów i obliczaniu wyników pomiarów,
- Dokładność toru odchylenia pionowego,
- Dokładność toru odchylenia poziomego, zwrócić uwagę na dwa zakresy temperatur,
- Zakresy temperatur pracy (znamionowy i rozszerzony) i składowania oscyloskopu. Odczytać i zanotować w protokole temperaturę w laboratorium, zapisać wniosek,
- Parametry napięcia wyjściowego z generatora wbudowanego w oscyloskop.

### 4.2. Pomiar amplitudy, okresu i częstotliwości sygnału sinusoidalnego

4.2.1. Podłączyć układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 11. Z generatora wewnętrznego oscyloskopu zadać sygnał sinusoidalny o częstotliwości od kilku do kilkudziesięciu kiloherców i maksymalnej amplitudzie, bez składowej stałej. W tym celu należy:

- pokrętło FREQUENCY ustawić dokładnie na dowolnie wybraną działkę skali (ale inną niż działka pierwsza 0.1 i ostatnia 1.0), zanotować nastawę do protokołu,
- przełącznik zakresów RANGE ustawić na dowolnie wybraną wartość od 10K do 1M, zanotować nastawę do protokołu, obliczyć i zanotować do protokołu wartość częstotliwości wynikającą z pozycji pokrętła FREQUENCY i przełącznika RANGE,
- amplitudę sygnału ustawić na wartość maksymalną (pokrętło AMPLITUDE ustawić w prawym skrajnym położeniu),
- wyłączyć składową stałą (wcisnąć pokrętło OFFSET),
- przełącznik FUNCTION ustawić na sinus.

UWAGA: Podczas dalszego wykonywania tego punktu ćwiczenia **NIE PRZESTAWIAĆ** nastaw generatora. W celu wykonania pomiarów wolno **REGULOWAĆ TYLKO NASTAWY OSCYLOSKOPU**.



Rys.11. Podłączenie oscyloskopu do wyznaczenia amplitudy, okresu i częstotliwości sygnału

4.2.2. Ustawić oscyloskop tak, aby można było przeprowadzić analizę sygnału i wykonać pomiary :

- dobrać wzmacnienie w kanale CH1 aby sygnał był możliwie najbardziej rozciągnięty w pionie i w całości widoczny na ekranie, zaobserwować jak zachowuje się obraz dla płynnej zmiany wzmacnienia (małe pokrętko VARIABLE), do dalszych pomiarów płynną regulację wzmacnienia ustawić w pozycji skalibrowanej (CAL). Należy pamiętać, że **prawidłowe pomiary napięcia są możliwe tylko w pozycji skalibrowanej CAL!!!**
- ustawić właściwe źródło sygnału wyzwalania (przełącznikiem SOURCE),
- ustawić tryb pracy (MODE) na AUTO, zaobserwować jak zmienia się obraz w trybie NORMAL dla przebiegu zsynchronizowanego oraz niesynchronizowanego (regulować pokrętkiem LEVEL),
- ustawić właściwy poziom wyzwalania (pokrętko LEVEL), zaobserwować jak zmienia się początek obrazu dla przebiegu sinusoidalnego w przypadku zmiany poziomu synchronizacji oraz co się stanie w przypadku zmiany wyzwalania z IN na OUT (poprzez pociągnięcie pokrętki LEVEL),
- ustawić podstawę czasu aby można było wyznaczyć okres sygnału, zaobserwować obraz na ekranie dla różnych nastaw pokrętki VARIABLE, do wyznaczenia okresu ustawić pokrętko VARIABLE w pozycji skalibrowanej (CAL). Należy pamiętać, że **prawidłowe pomiary czasu są możliwe tylko w pozycji skalibrowanej CAL!!!**
- ustawić właściwą jaskrawość (INTENSITY) oraz ostrość (FOCUS) przebiegu. Nie wolno ustawiać zbyt wysokiej jaskrawości ze względu na wypalanie luminoforu lampy oscyloskopowej. Jaskrawość należy ustawiać możliwie niską, co umożliwi uzyskanie cieńszej linii i dokładniejsze odczyty.
- narysować w protokole szkic uzyskanego przebiegu z zaznaczonymi i zwymiarowanymi w działkach odpowiednimi odległościami (według przykładu na Rys. 4). Zanotować niezbędne nastawy oscyloskopu i wykonać obliczenia amplitudy, okresu i częstotliwości mierzonego sygnału. Porównać uzyskane wartości z parametrami nastawionego sygnału. Rzeczywistą częstotliwość sygnału zmierzyć częstotlicznym cyfrowym i porównać z wartością nastawioną pokrętkiem FREQUENCY i przełącznikiem zakresów RANGE. Obliczyć błędy pomiaru oscyloskopem i porównać z dopuszczalnymi wartościami błędów podanymi przez producenta w instrukcji obsługi oscyloskopu. Obliczyć błąd nastawy częstotliwości na generatorze wbudowanym w oscyloskop.
- sprawdzić dla jak małej i jak dużej częstotliwości można praktycznie za pomocą oscyloskopu wyznaczyć parametry sygnału, zanotować wniosek do protokołu.

### 4.3. Pomiar składowej stałej i składowej przemiennej sygnału

4.3.1. Układ połączeń jak w punkcie poprzednim (Rys. 11). Z generatora wewnętrznego oscyloskopu zadać przebieg prostokątny ze składową stałą. Amplitudę sygnału ustawić na wartość minimalną (pokrętko AMPLITUDE ustawić w lewym skrajnym położeniu), natomiast składową stałą ustawić na wartość maksymalną dodatnią (składową stałą załącza się poprzez wyciągnięcie pokrętła OFFSET, należy je ustawić w prawym skrajnym położeniu). Przełącznik FUNCTION ustawić na prostokąt. Po przełączeniu przełącznika AC/DC na GND ustawić linię przebiegu tak, aby pokrywała się z linią środkową na skali oscyloskopu.

4.3.2. Zmierzyć składową zmienną i składową stałą przebiegu:

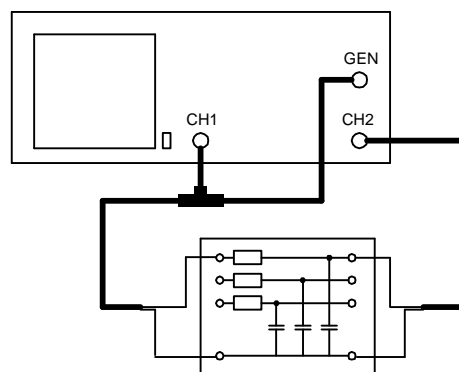
- W pozycji AC przełącznika AC/DC dobrać czułość toru odchylenia pionowego odpowiednią do zmierzenia amplitudy składowej przemiennej sygnału. Podstawę czasu dobrać odpowiednią do zmierzenia okresu i częstotliwość przebiegu. Narysować w protokole szkic uzyskanego przebiegu z zaznaczonymi i zwymiarowanymi w działkach odpowiednimi odległościami. Zanotować niezbędne nastawy oscyloskopu i wykonać obliczenia amplitudy, okresu i częstotliwości mierzonego sygnału.

- W pozycji DC przełącznika AC/DC dobrać czułość toru odchylenia pionowego odpowiednią do zmierzenia składowej stałej sygnału. Narysować w protokole szkic uzyskanego przebiegu z zaznaczonymi i zwymiarowanymi w działkach odpowiednimi odległościami. Zanotować niezbędne nastawy oscyloskopu i wykonać obliczenie składowej stałej sygnału. Porównać zmierzona składową stałą z parametrami podanymi przez producenta oscyloskopu, zapisać wniosek do protokołu.

- Wyłączyć składową stałą w sygnale z generatora (w tym celu należy wcisnąć pokrętko OFFSET). Korzystając z przełącznika AC/DC zwrócić uwagę jak zmienia się kształt wyświetlanego przebiegu prostokątnego o małej częstotliwości (kilkanaście Hz) dla różnych położenia przełącznika AC/DC. Narysować w protokole przykładowe szkice przebiegów zaobserwowane w położeniu AC i DC. Zapisać wniosek. W sprawozdaniu korzystając ze schematu przełącznika AC/DC przedstawionego na rys. 1 wyjaśnić zaobserwowany efekt.

### 4.4. Pomiar tłumienia i przesunięcia fazowego w układzie czwórnika RC

4.4.1. Podłączyć układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 12. Na wejście czwórnika RC podać sygnał sinusoidalny o częstotliwości 50Hz, amplituda dobrana tak, aby uzyskać możliwie duży przebieg na oscyloskopie, składowa stała wyłączona. Oscyloskop ustawić na tryb pracy dwukanałowej (przełącznik MODE w pozycji DUAL), podstawę czasu dobrać odpowiednio do częstotliwości sygnału, wyzwalanie w kanale CH1. Nastawy czułości w kanałach CH1, CH2 dobrać odpowiednio do poziomów sygnałów na wejściu i wyjściu czwórnika RC. Uzyskać obraz zbliżony do przedstawionego na rysunku 6.



Rys. 12. Układ pomiarowy do wyznaczenia wzmocnienia i przesunięcia fazowego

4.4.2. Wyznaczyć tłumienie i przesunięcie fazowe wnoszone przez czwórnik RC dla sygnału sinusoidalnego (analiza sygnału w dziedzinie częstotliwości). W tym celu należy:

- Wyregulować płynnie podstawę czasu (pokrętko VARIABLE w bloku HORIZONTAL) tak, aby można było wygodnie odczytać przesunięcie fazowe sygnałów. Producent oscyloskopu zaleca tak wyregulować płynnie podstawę czasu, aby okres sygnału był równy 7.2 działki (36 małych działek po 2mm), co odpowiada kątowi  $360^\circ$ . Dzięki temu jedna mała działka na ekranie oscyloskopu (2mm) odpowiada kątowi przesunięcia fazowego  $10^\circ$ .
- Narysować w protokole szkic uzyskanych przebiegów w obu kanałach z zaznaczonymi i zwymiarowanymi w działkach odpowiednimi odległościami umożliwiającymi zmierzenie amplitudy sygnałów na wejściu i wyjściu układu RC oraz przesunięcia fazowego (według przykładu na rysunku 6). Zanotować niezbędne nastawy oscyloskopu i wykonać obliczenia amplitud i kąta fazowego.
- Wyznaczyć tłumienie jako stosunek amplitudy przebiegu wyjściowego do wejściowego. Wyznaczyć przesunięcie fazowe w stopniach.
- Powtórzyć pomiary dla kilku wartości większych częstotliwości. Bez wykonywania szkiców przebiegów wyznaczyć wzmocnienie i przesunięcie fazowe. Wyniki notować w Tabeli 1. Dobrać częstotliwości sygnału tak, aby można było określić pasmo przenoszenia dla czwornika RC (osiągnąć tłumienie -3dB i więcej). Dla ostatniej nastawionej częstotliwości przełączyć oscyloskop do pracy X-Y i dokonać pomiaru kąta fazowego metodą krzywych Lissajus (według rysunku 8). Narysować w protokole szkic uzyskanego przebiegu z zaznaczonymi i zwymiarowanymi w działkach odpowiednimi odległościami umożliwiającymi zmierzenie przesunięcia fazowego. Porównać wyniki pomiaru przesunięcia fazowego otrzymane dwoma metodami.

Tabela 1. Charakterystyka amplitudowa i fazowa czwornika RC

lp	$f$	Kanał CH1			Kanał CH2			Tłumienie	Kąt		
		$Y_1$	$C_{Y1}$	$A_1$	$Y_2$	$C_{Y2}$	$A_2$		$T$	$P$	$\varphi$
-	Hz	DIV	V/DIV	V	DIV	V/DIV	V	dB	DIV	DIV	stopnie
1											
2											
3											
4											
5											

#### 4.5. Pomiar stałej czasowej układu RC oraz czasu narastania sygnału

4.5.1. Układ pomiarowy jak w punkcie poprzednim. Na wejście czwornika RC podać sygnał prostokątny o częstotliwości 50Hz, amplituda maksymalna, składowa stała wyłączona. Oscyloskop ustawić na tryb pracy dwukanałowej (przełącznik MODE w pozycji DUAL), podstawę czasu dobrać odpowiednio do częstotliwości sygnału, wyzwalenie w kanale CH1. Nastawy czułości w kanałach CH1, CH2 dobrać odpowiednio do poziomów sygnałów na wejściu i wyjściu układu RC.

4.5.2. Wyznaczyć stałą czasową układu RC za pomocą sygnału prostokątnego (analiza sygnału w dziedzinie czasu). W tym celu należy:

- Ustawić podstawę czasu w pozycji skalibrowanej (pokrętko VARIABLE w bloku HORIZONTAL w pozycji CAL), aby można było poprawnie wykonać pomiary czasu.
- Narysować w protokole szkic uzyskanych przebiegów w obu kanałach z zaznaczonymi i zwymiarowanymi w działkach odpowiednimi odległościami umożliwiającymi zmierzenie amplitudy sygnałów na wejściu i wyjściu układu RC oraz stałej czasowej układu RC. Zanotować niezbędne nastawy oscyloskopu i wykonać obliczenia amplitud i stałej czasowej.

Porównać stałą czasową RC uzyskaną z pomiarów i obliczoną z parametrów obwodu RC. Porównać amplitudę sygnału na wejściu czwórnika i na jego wyjściu, określić tłumienie sygnału.

- Sprawdzić jak zmieni się przebieg na wyjściu czwórnika (amplituda, stała czasowa) dla wyższej częstotliwości sygnału podanego z generatora. Zanotować niezbędne nastawy oscyloskopu i wykonać obliczenia amplitud. Porównać amplitudę sygnału na wejściu czwórnika i na jego wyjściu, określić tłumienie sygnału. Zanotować wnioski.

4.5.3. Zmierzyć czasy narastania i opadania sygnału. W tym celu należy:

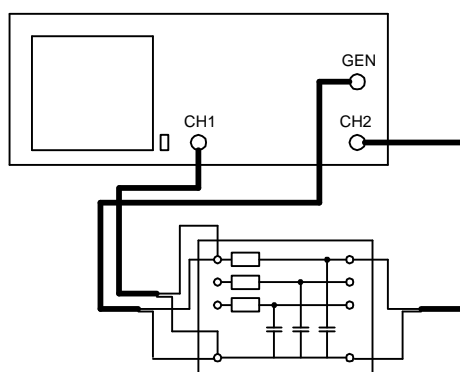
- Ustawić ponownie sygnał zgodnie z p. 4.5.1. Zapoznać się ze sposobem pomiaru czasów narastania i opadania sygnałów. Zwrócić uwagę na dodatkowe linie na ekranie oscyloskopu ułatwiające określenie poziomu 10% i 90% amplitudy sygnału oraz poprawny sposób płynnej regulacji wzmocnienia w torze odchyłania pionowego.

- Przełączyć oscyloskop do pracy jednokanałowej w kanale CH1. Ustawić pokrętkę płynnej regulacji wzmocnienia zgodnie z zaleceniami do pomiaru czasów narastania i opadania. Rozciągnąć sygnał pomiędzy linie 0% - 100%. Wyzwalanie podstawy czasu ustawić na zbocze narastające. Dobrać podstawę czasu odpowiednio do stromości zbocza narastającego. Ewentualnie zastosować dodatkowe rozciągnięcie podstawy czasu  $\times 10$ . Zmierzyć czas narastania sygnału w kanale CH1. Wyzwalanie podstawy czasu przestawić na zbocze opadające. Dobrać podstawę czasu odpowiednio do stromości zbocza opadającego. Zmierzyć czas opadania sygnału w kanale CH1. Narysować w protokole szkice uzyskanych przebiegów z zaznaczonymi i zwymiarowanymi w działkach odpowiednimi odległościami umożliwiającymi zmierzenie czasów narastania i opadania.

- Powtórzyć pomiary w kanale CH2. Zmierzyć czas narastania i opadania sygnału w kanale CH2. Narysować w protokole szkic uzyskanego przebiegu z zaznaczonymi i zwymiarowanymi w działkach odpowiednimi odległościami umożliwiającymi zmierzenie czasów narastania i opadania.

#### 4.6. Pomiary między dwoma punktami nieziemionymi

Podłączyć układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 13.



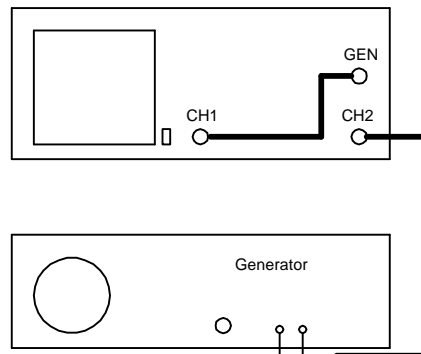
Rys.13. Układ do pomiaru między dwoma punktami nieziemionymi

Ustalić gdzie w układzie są dwa punkty nieziemione. Ustawić oscyloskop w tryb pracy sumacyjnej ADD. W obu kanałach ustawić jednakowe wzmocnienie, kanał 2 przestawić na pracę z odwróconą polaryzacją (INV). Narysować w protokole szkic uzyskanego przebiegu z zaznaczonymi i zwymiarowanymi w działkach odpowiednimi odległościami umożliwiającymi zmierzenie amplitudy napięcia na rezystorze oraz okresu przebiegu. Zanotować w protokole wartość elementów  $R$ ,  $C$ . Obliczyć amplitudę prądu w rezystorze i jego częstotliwość.



#### 4.7. Pomiary częstotliwości pośrednią metodą krzywych Lissajus

Podłączyć układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 14. Do kanału X (CH1) dołączyć sygnał z badanego generatora wbudowanego w oscyloskop. Do kanału Y (CH2) dołączyć sygnał sinusoidalny z zewnętrznego generatora wzorcowego.

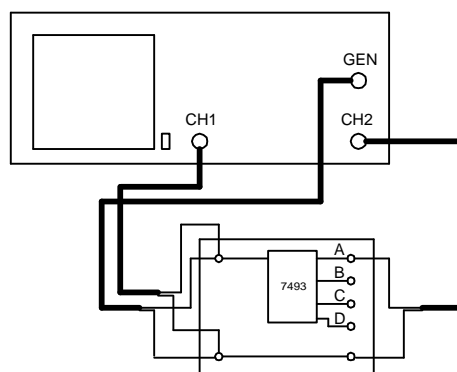


Rys. 14. Układ do pomiaru częstotliwości metodą pośrednią krzywych Lissajus

Przełączyć oscyloskop w tryb pracy X-Y (podstawa czasu wyłączona). Ustawić w kanale X częstotliwość na badanym generatorze 1000Hz. Zmieniając częstotliwość generatora wzorcowego w kanale Y doprowadzić do otrzymania stabilnego obrazu. Przerysować otrzymany przebieg do protokołu. Wyznaczyć częstotliwość sygnału z badanego generatora przyjmując generator zewnętrzny jako wzorcowy i korzystając z metody krzywych Lissajus. Porównać otrzymaną wartość z nastawą generatora badanego. Obliczyć błąd badanego generatora.

#### 4.8. Pomiar sygnałów cyfrowych

Podłączyć układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 15.

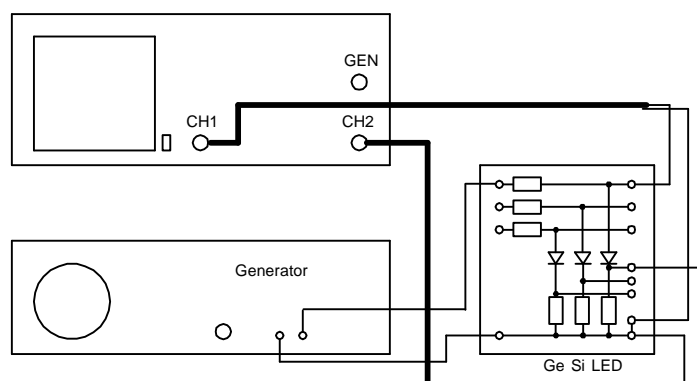


Rys. 15. Układ do pomiaru sygnałów cyfrowych

Na wejście licznika podać sygnał prostokątny o poziomie TTL, częstotliwość 1000Hz. Zaobserwować przebiegi na wejściu i wyjściach ABCD licznika. Aby otrzymać stabilny przebieg należy pamiętać o wybraniu źródła sygnału wyzwalającego o najniższej częstotliwości. Z zaobserwowanych przebiegów wyznaczyć współczynnik podziału licznika dla poszczególnych wyjść.

#### 4.9. Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych elementów półprzewodnikowych

Podłączyć układ pomiarowy zgodnie z rysunkiem 16. Korzystać z generatora wewnętrznego oscyloskopu. Amplitudę sygnału ustawić na maksimum, przebieg sinusoidalny o częstotliwości 1kHz. Oscyloskop ustawić w tryb pracy XY.



Rys.16. Układ do pomiaru charakterystyk elementów półprzewodnikowych

Nastawy wzmacnienia kanałów:

X: 0.1V/DIV dla diody germanowej, 0.2V/DIV dla diody krzemowej, 0.5V/DIV dla LED,  
Y: 10mV/DIV.

Za pomocą oscyloskopu zaobserwować charakterystykę diody germanowej, krzemowej i LED. Przerysować otrzymane przebiegi, wyznaczyć spadki napięcia na przewodzącej diodzie oraz maksymalny prąd płynący przez diody.

### 5. Opracowanie sprawozdania

W sprawozdaniu należy zamieścić uzyskane przebiegi sygnałów wraz z zastosowanymi nastawami oscyloskopu i schematem układu pomiarowego. Przebiegi należy odpowiednio zwymiarować w sposób umożliwiający przeprowadzenie obliczeń wyników pomiarów. Do każdego zrealizowanego pomiaru należy zamieścić odpowiedni wzór obliczeniowy, podstawić do niego odczyty z ekranu oscyloskopu (w działkach) oraz nastawy oscyloskopu (w odpowiednich jednostkach). Upewnić się, czy uzyskano dla każdego wyniku pomiaru odpowiednią jednostkę: czas w sekundach, napięcie w woltach, przesunięcie fazowe w stopniach, częstotliwość w hercach itp.

Dla każdego uzyskanego wyniku pomiaru należy także oszacować jego dokładność obliczając błąd graniczny na podstawie danych oscyloskopu. Zwrócić uwagę na znaczenie temperatury w pomieszczeniu laboratorium. Wyjaśnić, w których pomiarach zastosowano nastawy skalibrowane (CAL), a w których płynną regulację (VAIABLE) i dlaczego?

Jeśli znane są również parametry mierzonego sygnału z innych źródeł (np. zmierzono częstotliwość sygnału częstościomierzem cyfrowym, obliczono stałą czasową na podstawie znanych parametrów RC układu, odczytano parametry napięciowe generatora z dokumentacji oscyloskopu wg pkt. 4.1 itp.), to należy porównać te wartości ze sobą i obliczyć rzeczywiste błędy pomiaru.

Jeśli podczas wykonywania ćwiczenia wykonywano fotografie przebiegów uzyskanych na ekranie oscyloskopu, to należy zastosować się do dodatkowych uwag zamieszczonych w dalszej części instrukcji.

## 6. Dodatkowe uwagi o sposobie wykonywania ćwiczenia

- Podczas realizacji ćwiczenia można wykonywać dodatkowo fotografie przebiegów uzyskanych na ekranie oscyloskopu. **Wykonanie fotografii nie zwalnia z konieczności wykonania odpowiedniego szkicu przebiegu w protokole i zanotowania nastaw oscyloskopu.** Odpowiednio zwymiarowany szkic przebiegu z zapisanymi nastawami jest podstawą wykonania poprawnych obliczeń i sprawozdania. W protokole należy zapisać uwagę, że wykonywano fotografie przebiegów, podać typ urządzenia, które zastosowano do fotografowania, podać łączną liczbę wykonanych fotografii, format graficzny fotografii i ich rozdzielczość. Obok każdego szkicu zamieszczonego w protokole należy zapisać nazwę pliku zawierającego fotografię przebiegu. W chwili podpisywania protokołu przez prowadzącego zajęcia należy zademonstrować wykonane fotografie. W sprawozdaniu można wykorzystać tylko te fotografie, które zostały odpowiednio udokumentowane w protokole. Fotografie zamieszczane w sprawozdaniu muszą być odpowiednio opracowane: należy uzupełnić je o linie wymiarujące odczyty zgodnie z notatkami w protokole, podać nastawy oscyloskopu, wykonać obliczenia wyników pomiarów. Każde zdjęcie należy podpisać podając nazwę pliku ze zdjęciem, punkt ćwiczenia w którym wykonano fotografię i rodzaj wykonywanych pomiarów.

- Gdy jest brak sygnału wejściowego **NIE WOLNO** zostawiać oscyloskopu w trybie pracy X-Y, gdyż grozi to wypaleniem luminoforu w jednym punkcie.

- Zwracać uwagę na nastawianie właściwego kształtu (sinus, prostokąt) i amplitudy sygnału do realizowanego punktu ćwiczenia (szczególnie pomiar sygnałów cyfrowych).

- Podczas przełączania oscyloskopu do kolejnych pomiarów nie ma potrzeby jego wyłączenia, należy pamiętać jedynie o zmniejszeniu amplitudy przebiegu wyjściowego z generatora na minimum.

- Podczas pomiarów napięcia i czasu należy pamiętać o ustawieniu płynnej regulacji wzmocnienia oraz płynnej regulacji podstawy czasu w pozycji skalibrowanej **CAL** aby można było skorzystać ze skalowanego wzmocnienia i skalowanej podstawy czasu.

- Podczas pomiarów przesunięcia fazowego należy wykorzystać płynną regulację podstawy czasu, a podczas pomiaru czasów narastania i opadania zboczy należy wykorzystać płynną regulację wzmocnienia.

## 7. Pytania kontrolne

- Czym różni się praca układu wyzwalania AUTO od NORMAL ?

- Jakie znaczenie ma regulacja poziomu wyzwalania LEVEL ?

- W jaki sposób można wyznaczyć podstawowe parametry sygnału: amplitudę, okres i częstotliwość ?

- Do czego służy układ generacji podstawy czasu ?

- Jak wyznaczyć składową stałą przebiegu ?

- Jak wyznaczyć wzmocnienie oraz przesunięcie fazowe ?

- W jakich pomiarach korzystamy z nastaw skalibrowanych (CAL), a kiedy z płynnej regulacji podstawy czasu i płynnej regulacji czułości (VARIABLE) ?

- Jakie pomiary można wykonać w trybie XY oscyloskopu ?

- W jakich pomiarach i w jaki sposób wykorzystujemy tryb sumowania kanałów ADD ?

## 8. Literatura

- Jerzy Rydzewski "Oscyloskop elektroniczny" WKiŁ Warszawa 1982

- Jerzy Rydzewski "Pomiary oscyloskopowe" WNT, 1999

- Piotr Górecki "Oscyloskop w pytaniach i odpowiedziach" Elektronika Praktyczna 4/1994

- Instrukcja obsługi oscyloskopu GoldStar OS-9020G