

Ćwiczenie nr 2. Oscyloskop elektroniczny, generator, obserwacja i pomiar parametrów przebiegów okresowych.

Cel ćwiczenia:

1. Celem ćwiczenia jest poznanie zasady działania analogowego oscyloskopu elektronicznego i jego schematu blokowego.
2. Poznanie głównych parametrów charakteryzujących sygnał okresowy.
3. Wykorzystanie oscyloskopu do obserwacji i pomiarów podstawowych parametrów sygnału okresowego.

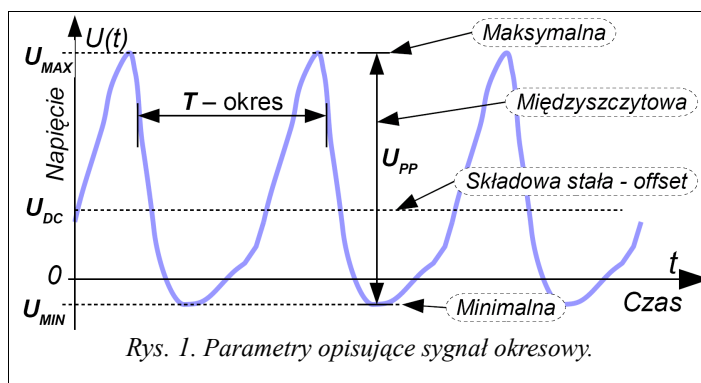
Wprowadzenie

I. Parametry sygnału okresowego. Wartości sygnału okresowego powtarzają się cyklicznie co odcinek czasu zwany okresem T sygnału. Opisuje to zależność: $f_T(t) = f_T(t+T)$, gdzie $f_T(t)$ – funkcja okresowa opisująca kształt sygnału. W sygnale wyróżnia się dwie składowe: stałą U_{DC} i zmienną $f_{AC}(t)$:

$$U(t) = U_{DC} + f_{AC}(t), \text{ które spełniają równania: } U_{SR} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt = U_{DC}, \quad U_{SR} = \frac{1}{T} \int_0^T f_{AC}(t) dt = 0.$$

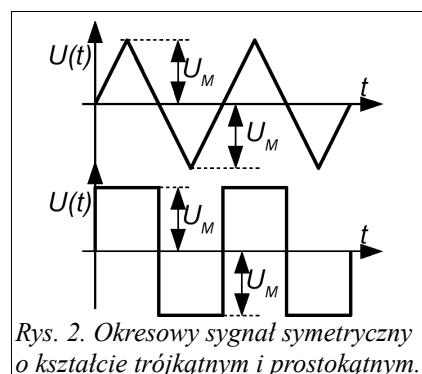
Wartość średnia za okres sygnału jest równa składowej stałej, a wartość średnia ze zmiennej jest zerowa. Wyróżnienie tych składowych jest istotne z uwagi na ich odmienne właściwości. Zwykle opisując sygnał okresowy pomija się składową stałą. Należy zwrócić uwagę, że jej obecność w sygnale okresowym może radykalnie zmienić odpowiedź obiektu lub wskazania przyrządów. Niektóre przyrządy są dedykowane oddzielnie do każdej z nich, np. woltomierze, amperomierze do prądów stałych i do zmiennych. W dziedzinie czasu sygnał okresowy opisuje się niżej wymienionymi parametrami – rys.1.

1. T – okres lub częstotliwość $f = 1/T$.
2. $U_{AC}(t)$ – funkcja opisująca kształt składowej zmiennej sygnału.
3. U_{MIN} , U_{MAX} – wartości: minimalna i maksymalna napięcia.
4. U_{DC} – wartość składowej stałej – wokół tej wartości oscyluje napięcie w przedziale od U_{MIN} do U_{MAX} .
5. U_{PP} – wartość międzyszczytowa, inaczej przedział zmian składowej zmiennej:
 $U_{PP} = U_{MAX} - U_{MIN}$.



6. U_{AC} – wartość skuteczna składowej zmiennej inaczej wartość średniokwadratowa (*ang. RMS*), jest to ważny parametr, mierzony zwykle woltmierzem napięć zmiennych. Jest proporcjonalna do wartości międzyszczytowej U_{PP} , zależy od kształtu sygnału.

Szczególnym przypadkiem sygnałów okresowych są sygnały symetryczne. Mają tę szczególną właściwość, że kształt sygnału w jednej połowie okresu różni się od drugiej tylko znakiem – polaryzacją. W tym przypadku wystarczy podać wartość amplitudy sygnału U_M , ponieważ $U_M = 1/2 U_{PP}$. Często spotykane kształty sygnałów to: sinusoidalny, trójkątny i prostokątny – rys. 2. Mogą one występować razem ze składową stałą, wtedy krzywa $U(t)$ na wykresie ulegnie jedynie przesunięciu (w górę lub w dół) zgodnie ze znakiem i wartością U_{DC} . Wartość skuteczna sygnału zależy od amplitudy i kształtu; sinusoidalny: $U_{AC} = U_M / \sqrt{2}$, trójkątny: $U_{AC} = U_M / \sqrt{3}$, prostokątny: $U_{AC} = U_M$.

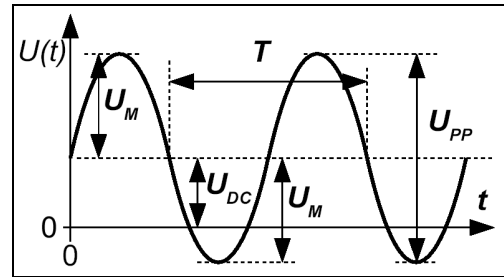


II. Generatory sygnałów okresowych.

Do wytwarzania napięć okresowo zmiennych stosowane są generatory. Są różne typy generatorów w zależności od przeznaczenia, zasady działania i żądanych parametrów. Niżej opisano w skrócie generator nazywany funkcyjnym. Generuje on przebiegi symetryczne o kształcie opisanym sinusoidą, trójkątem i prostokątem. Niektóre mają dodatkowo możliwość generowania przebiegów niesymetrycznych. Zwykle użytkownik oprócz wyboru kształtu generowanego sygnału ma możliwość nastawy w pewnym zakresie takich parametrów jak:

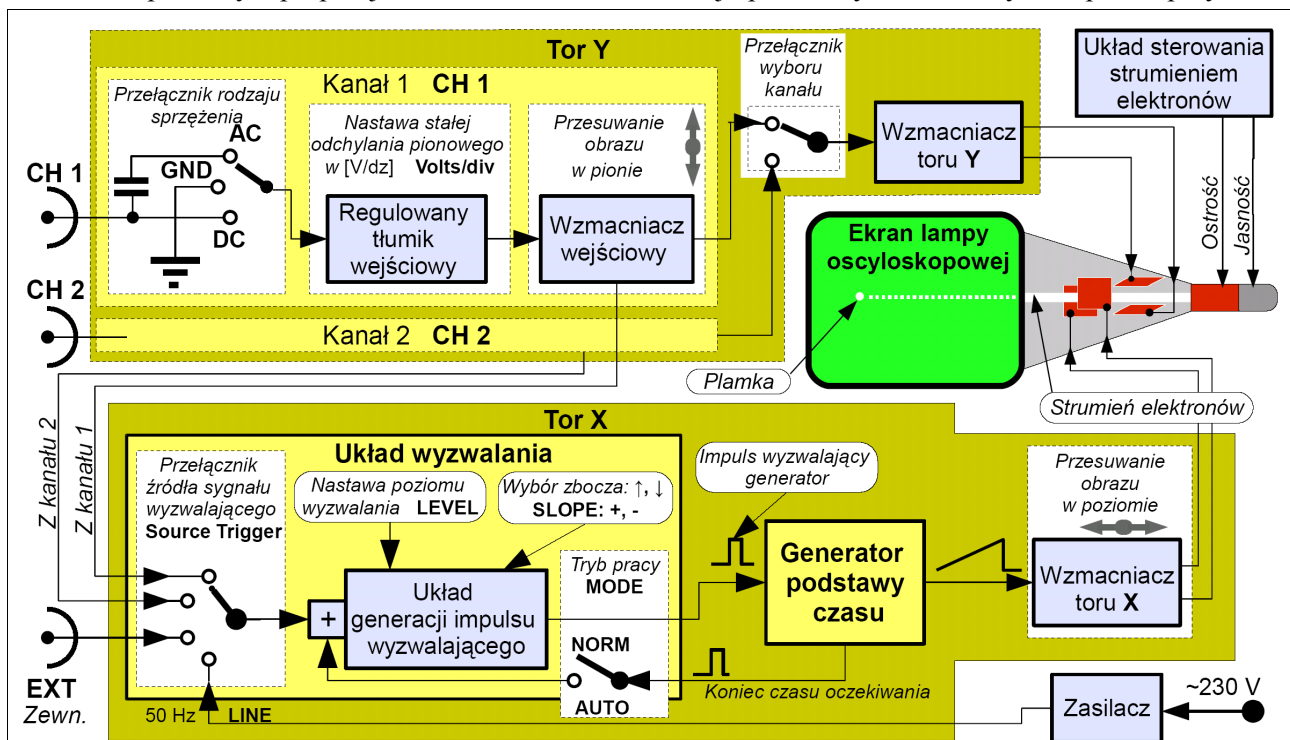
Ćwiczenie nr 2. Oscyloskop elektroniczny, generator, obserwacja i pomiar parametrów przebiegów okresowych.

1. amplituda składowej zmiennej U_M : zwykle $\{0 \div 10\}$ V,
2. składowa stała U_{DC} (*offset*): zwykle występuje ograniczenie na sumę napięć np.: $|U_{DC} + U_M| \leq 10$ V.
3. częstotliwość sygnału: od ułamków Hz do 1 MHz.
4. Zapis $U(t) = U_{DC} + U_M \sin(2\pi f \cdot t)$ należy interpretować jako sygnał sinusoidalny ze składową stałą U_{DC} , o amplitudzie U_M i częstotliwości f . Obok, na rysunku, interpretacja graficzna.



III. Oscyloskop elektroniczny – zasada działania

Analogowe oscyloskopy są przyrządami szeroko stosowanymi zarówno w laboratoriach badawczych jak i serwisie. Oscyloskop jest przyrządem elektronicznym przeznaczonym głównie do obserwacji i pomiarów przebiegów napięć cyklicznie zmiennych w czasie, tzn. okresowych, w zakresie do kilkuset MHz. Oscyloskop składa się z lampy oscyloskopowej i układów elektronicznych, które umożliwiają obrazowanie zmian napięć okresowo zmiennych na ekranie tej lampy w postaci wykresu X-T – zmiana napięcia w funkcji czasu. Oscyloskop może również pracować w trybie X – Y, tzn. obraz będzie tworzony przez dwa zewnętrzne sygnały: jeden dołączony do kanału 1 (X), a drugi do kanału 2 (Y). W ten sposób można na ekranie wykreślać charakterystyki obiektów, mierzyć przesunięcie fazowe metodą elipsy i częstotliwość z wykorzystaniem figur Lissajous. Schemat blokowy oscyloskopu przedstawiono na rys.3. Wyróżnia się trzy grupy układów: *blok obrazowania sygnału*, *tor Y* do sterowania plamką świetlną w kierunku pionowym proporcjonalnie do wartości napięcia badanego sygnału, *tor X* do przesuwania plamki w kierunku poziomym proporcjonalnie do czasu - os x. Niżej opisano wybrane układy i ich podzespoły.



Rys. 3. Uproszczony schemat blokowy oscyloskopu analogowego. Zwykle spotykane opisy i skróty na płycie czołowej oscyloskopu podano wytłuszczonym drukiem i dużymi literami.

1. **Blok obrazowania sygnału.** Zawiera on lampę oscyloskopową (szklana bańka w kształcie zbliżonym do stożka, ekran stanowi podstawa pokryta od wewnątrz luminoforem), układy elektroniczne zapewniające jej poprawną pracę, takie jak układ sterowania strumieniem elektronów służący do nastawy ostrości i jasności plamki oraz zasilacz, który dostarcza niezbędnych napięć zasilających wszystkie układy elektroniczne. Obraz na ekranie tworzy ruch świecącej plamki po ekranie. Świecąca plamka powstaje w wyniku zamiany na światło części energii kinetycznej wiązki elektronów uderzającej w luminofor.
2. **Tor Y.** Zawiera dwa identyczne kanały pomiarowe: 1 i 2, przełącznik wyboru kanału i wzmacniacz toru Y. Badane sygnały dołącza się do oscyloskopu poprzez gniazda typu BNC: CH 1, CH 2. Możliwa

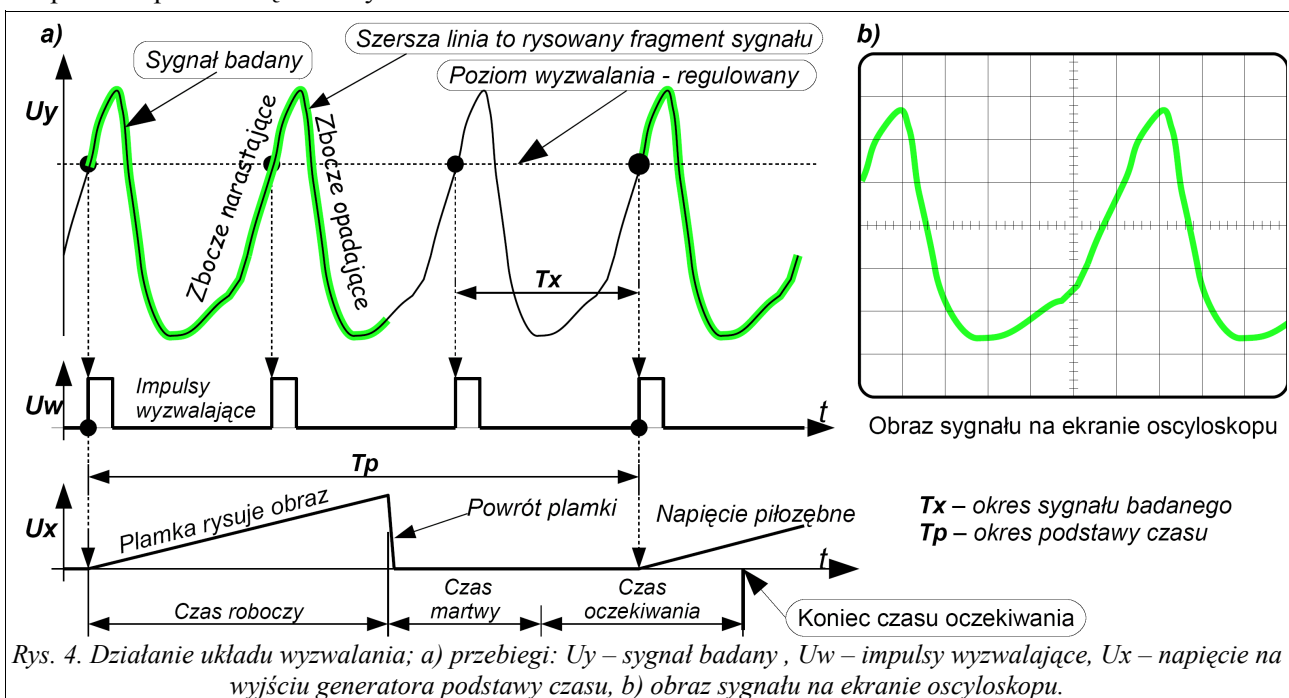
Ćwiczenie nr 2. Oscyloskop elektroniczny, generator, obserwacja i pomiar parametrów przebiegów okresowych.

jest obserwacja i pomiar dwóch różnych sygnałów okresowych w następujących kombinacjach:

- CH 1 – tylko sygnał z kanału 1
- CH 2 – tylko sygnał z kanału 2
- ADD – suma lub różnica napięć z dwóch kanałów; różnicę uzyskuje się przez zmianę polaryzacji w jednym z kanałów – przełącznik INVERSE.
- DUAL – jednocześnie sygnały z dwóch kanałów – możliwe są dwa rodzaje pracy:
 - ALT – alternatywna – stosowana przy przebiegach szybkozmiennych: w czasie trwania jednego cyklu generatora podstawy czasu jest kreślony obraz z jednego kanału, a w czasie następnego cyklu obraz z drugiego kanału. Przy długich czasach podstawy czasu jest widoczne migotanie obrazu.
 - CHOP – chopperowana, inaczej siekana – stosowana przy sygnałach wolnozmiennych: w czasie roboczym podstawy czasu na wzmacniacz Y jest podawany naprzemiennie sygnał z kanału 1 i 2. Przy dużej liczbie przełączeń na ekranie są widoczne obydwa przebiegi.

W niektórych oscyloskopach użytkownik nie ma możliwości wyboru pomiędzy pracą ALT a CHOP, wtedy to przełączanie jest realizowane automatycznie wraz ze zmianą czasu roboczego podstawy czasu – stałej odchylenia poziomego C_x .

- Tor X.** Zawiera układ wyzwalania i generator podstawy czasu – GPCz. GPCz w odpowiedzi na impuls wyzwalający wytwarza napięcie liniowo narastające – z uwagi na kształt zwane też napięciem piłozębnym – rys.4. Napięcie to podane na płytki odchylenia poziomego X wymusza przesuwanie plamki po ekranie ze stałą prędkością, z lewej krawędzi ekranu do prawej – tworzy oś czasu. Potem następuje szybki powrót plamki do lewej krawędzi ekranu. Po powrocie plamki układ musi wrócić do stanu gotowości, co wymaga pewnego czasu, zwanego martwym. Warunkiem niezbędnym do uzyskania na ekranie stabilnego obrazu badanego sygnału o okresie T_x jest zapewnienie, aby okres podstawy czasu T_p był całkowitą wielokrotnością okresu sygnału badanego T_x , $T_p = n \cdot T_x$. Na okres T_p składają się trzy odcinki czasu: czas roboczy, martwy i czas oczekiwania. Obraz na ekranie jest rysowany w czasie roboczym, poza nim jasność plamki jest zerowa. Układ wyzwalania generuje impulsy wyzwalające w chwili, gdy napięcie na jego wejściu i na wybranym zboczach zrówna się z zadaniem napięciem zwanym poziomem wyzwalania; tylko ten impuls, który przyjdzie w czasie oczekiwania wyzwoli GPCz. W ten sposób zapewnia się stabilny obraz na ekranie.



Aby uzyskać stabilny obraz należy dobrać: poziom wyzwalania (LEVEL), zbocze (SLOPE) oraz rodzaj pracy GPCz: automatyczny (AUTO) lub normalny (NORM). Tryb pracy AUTO zapewnia zawsze obraz na ekranie, lecz może on być niestabilny. Niestabilność występuje wtedy, gdy nie ma impulsów wyzwalania np. zadano niewłaściwy poziom wyzwalania, wybrano niewłaściwe źródło sygnału

Ćwiczenie nr 2. Oscyloskop elektroniczny, generator, obserwacja i pomiar parametrów przebiegów okresowych.

wyzwalającego lub impulsy wyzwalające pojawiają się zbyt rzadko tzn. po upływie czasu oczekiwania. Wówczas układ sam wygeneruje impuls wyzwalający. Jeśli impulsy pojawiają się zbyt rzadko, stabilny obraz zapewni praca w trybie NORM.

Do wyboru są następujące źródła sygnału wyzwalającego:

- CH 1 – z kanału 1,
- CH 1 – z kanału 2,
- EXT – z zewnętrznego źródła dołączonego do gniazda, zwykle opisanego External Trigger,
- LINE – z sieci energetycznej zasilającej oscyloskop – tu 50 Hz.

4. Kanały pomiarowe toru Y. Każdy z nich zawiera gniazdo typu BNC do dołączenia badanego sygnału, przełącznik rodzaju sprzężenia, regulowany tłumik sygnału wejściowego i wzmacniacz wejściowy. We wzmacniaczu zawarty jest układ do przesuwania obrazu w kierunku pionowym, umożliwiający wygodniejsze wykonanie pomiarów. Natomiast przełącznik rodzaju sprzężenia jest przeznaczony do selekcji sygnału badanego – standardowo są trzy pozycje:

- GND – w tym położeniu na wejście podawane jest zerowe napięcie – służy do ustalenia na ekranie położenia plamki wskazującego zerową wartość napięcia.
- DC – obraz na ekranie jest utworzony z pełnego sygnału tzn. składowej stałej + składowa zmienna.
- AC – obraz utworzony jest tylko ze składowej zmiennej. To sprzężenie stosuje się w przypadku, gdy składowa stała może utrudniać obserwację składowej zmiennej.
- AC \Rightarrow DC – przełączenie z jednej pozycji do drugiej pozwala wprost wyznaczyć wartość składowej stałej. Zmiana położenia obrazu w kierunku pionowym świadczy o wartości i znaku tej składowej.

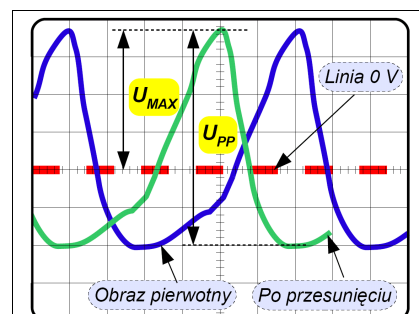
5. Stabilizowanie obrazu sygnału. Podany niżej zbiór czynności dotyczy sygnału z kanału 1:

- Przełącznik rodzaju sprzężenia w wybranym kanale ustawić w pozycji GND. Dołączyć badany sygnał do wejścia kanału, przełącznikiem wyboru kanału wybrać kanał 1.
- Przełącznik wyboru źródła sygnału wyzwalającego (TRIGGER SOURCE) ustawić w pozycji CH 1. Następnie przełącznik rodzaju pracy GPCz ustawić w pozycji AUTO, na ekranie powinna być widoczna linia pozioma.
- Przy braku linii, użyć pokręteł do przesuwania obrazu: w poziomie i w wybranym kanale w pionie w celu znalezienia linii, potem ją ustawić pośrodku ekranu tak, aby zajmowała całą jego długość.
- Przełącznik rodzaju sprzężenia w wybranym kanale ustawić w pozycji DC lub AC, na ekranie powinien być widoczny obraz sygnału badanego. Następnie należy tak dobrać stałą odchylenia pionowego, aby uzyskać maksymalnie duży rozmiar obrazu (lecz mieszczący się na ekranie). Stała odchylenia poziomego pozwala na uzyskanie na ekranie żądanej liczby okresów badanego sygnału – najczęściej od jednego do kilku. Jeśli obraz na ekranie nie jest stabilny należy ustawić poziom wyzwalania (LEVEL) tak, aby znalazł się w przedziale zmian wartości sygnału wyzwalającego.

6. Pomiary parametrów sygnału okresowego. Wprost z ekranu oscyloskopu można wyznaczyć czasy trwania wybranych fragmentów sygnału, w tym okres, jak i parametry amplitudowe: składową stałą, maksymalną, minimalną i międzyszczytową. Dla ułatwienia wykonywania pomiarów na ekran została naniesiona siatka, zwykle o rozmiarze 10 na 8 działek, 1 dz. – to około 1 cm. Na środkowych liniach siatki jest naniesiona dodatkowa podziałka zwykle co 0,2 dz. W celu zwiększenia precyzji pomiaru zalecana jest zmiana położenia obrazu odpowiednio do potrzeb pomiarowych. Niżej opisano zalecane czynności przy pomiarze wartości: U_{MAX} , U_{MIN} , U_{PP} i U_{DC} .

a) Ustawić stałe odchylenia poziomego C_X i pionowego C_Y w pozycji kalibrowanej CAL korzystając z odpowiednich przełączników, zwykle mechanicznie związanych z pokrętłami płynnej regulacji wyżej wymienionych stałych.

b) Przełącznik sprzężenia sygnału ustawić w pozycji GND, potem przesunąć obraz linii na ekranie na wybraną poziomą linię siatki uznaną za wartość 0 V. Następnie przełącznik ustawić w pozycji DC i wyznaczyć w działkach długości odpowiednich odcinków i zanotować je łącznie z aktualną stałą C_Y . W celu zwiększenia precyzji pomiaru U_{MAX} i U_{MIN} zaleca się przesunąć obraz w lewo (lub prawo) tak, aby odczyt żądanego odcinka wypadł na środkowej linii pionowej zawierającej dodatkową podziałkę – rys. 5. Podobnie postąpić przy pomiarze U_{PP} . Tutaj zaleca się



Rys. 5. Zalecane przesunięcie obrazu w celu pomiaru U_{PP} i U_{MAX} .

Ćwiczenie nr 2. Oscyloskop elektroniczny, generator, obserwacja i pomiar parametrów przebiegów okresowych.

przesunąć obraz w pionie, tak aby fragment krzywej oznaczający minimum leżał na poziomej linii siatki, potem postąpić jak wyżej. Natomiast pomiar składowej stałej U_{DC} wymaga przełączenia ze sprzężenia AC na DC i odczytania związanego z tym przełączeniem przesunięcia obrazu w pionie.

Analogicznie należy postępować przy pomiarze okresu. Tak dobrać stałą odchylenia poziomego C_X , aby obraz zawierał jak najmniej okresów (nie mniej niż jeden). Potem przesunąć obraz tak, aby zbocze o największym nachyleniu wypadło na skrzyżowaniu środkowej poziomej linii i jednej z pierwszych pionowych linii siatki. Następnie odczytać w działkach długość odcinka odpowiadającego okresowi.

c) Obliczanie wartości parametrów.

Przykład: Na podstawie rys. 5 wyznaczyć międzyszczytową wartość napięcia i jej niepewność.

Odczytana długość odcinka: $Y_{PP} = 5,7$ dz., wartość stałej $C_Y = 0,5$ V/dz.

- Błąd nieliniowości torów odchylenia poziomego i pionowego – typowe wartości: $\delta C_X = \delta C_Y = 3\%$,
- Niedokładność (starannego) odczytu długości odcinka z oscyloskopu: $\Delta X = \Delta Y = 0,1$ dz.

- Dane do obliczeń: $Y_{PP} = (5,7 \pm 0,1)$ dz, $C_Y = 0,5$ V/dz $\pm 3\%$, (0,03); szukane: U_{PP} , ΔU_{PP} i δU_{PP}

Ponieważ: $U_{PP} = Y_{PP} \cdot C_Y$, stąd niepewność wyznaczona metodą różniczki zupełnej: $\delta U_{PP} = \delta Y_{PP} + \delta C_Y$.

$U_{PP} = Y_{PP} \cdot C_Y = 5,7$ dz $\cdot 0,2$ V/dz = 2,85 V.

$$\delta U_{PP} = \frac{\Delta Y_{PP}}{Y_{PP}} + \delta C_Y = \frac{0,1 \text{ dz}}{5,7 \text{ dz}} + 0,03 = 0,0175 + 0,03 = 0,0475 \quad (4,75 \%),$$

$$\Delta U_{PP} = \delta U_{PP} \cdot U_{PP} = 0,0475 \cdot 2,85 \text{ V} = 0,1354 \text{ V}$$

Zapisz wynik pomiaru: $U_{PP} = 2,85 \text{ V} \pm 0,14 \text{ V}$, lub $U_{PP} = 2,85 \text{ V}, \pm 5 \%$.

Zadania pomiarowe

1. Opanować obsługę toru wyzwiania oscyloskopu w takim stopniu, aby zawsze uzyskiwać nieruchomy obraz na ekranie oscyloskopu.
2. Zaobserwować zmiany położenia obrazu w obu trybach pracy (AUTO, NORM) wywołane zmianą:
 - a) poziomu wyzwiania,
 - b) zbocza wyzwającego,
 - c) źródła sygnału wyzwającego.
3. Zmierzyć parametry czasowe sygnału sinusoidalnie zmiennego z generatora funkcyjnego. Wyniki zapisać w tabeli 1. Wykonać pomiary tego samego sygnału dla trzech kolejnych różnych stałych C_X , zaczynając od wartości C_X , która zapewni aby obraz zawierał jak najmniej okresów (nie mniej niż jeden). Zanotować wskazania miernika częstotliwości (f_M). Celem pomiarów jest porównanie uzyskanych wyników i stwierdzenie ich zgodności ze sobą (lub braku zgodności).
4. Zmierzyć parametry amplitudowe sygnału sinusoidalnie zmiennego. Wyniki zapisać w tabeli 2. Wykonać pomiary tego samego sygnału dla trzech kolejnych różnych stałych C_Y , zaczynając od wartości C_Y , która zapewni największy obraz (lecz mieszczący się na ekranie). Zanotować wskazania woltomierza napięcia zmiennego ($U_{AC,V}$). Porównać uzyskane wyniki ze sobą.

Uwaga. Pomiary wykonywać w przedziale częstotliwości 100 Hz ÷ 400 Hz – z uwagi zakres pracy woltomierza napięcia zmiennego
5. Zmierzyć składową stałą przebiegu okresowo zmiennego oscyloskopem i woltomierzem napięcia stałego.

Tabela 1: Pomiar okresu i wyznaczenie częstotliwości

Lp	Pomiar okresu oscyloskopem						f_x , obliczone z T_x			Wynik
	X_T	C_X	T_x	δT_x	ΔT_x	$T_x \pm \Delta T_x$	f_x	δf_x	Δf_x	$f_x \pm \Delta f_x$
	dz	ms/dz	ms	%	ms	ms	Hz	%	Hz	Hz
1										
2										
3										
4	Pomiar częstotliwości miernikiem - f_M									

Ćwiczenie nr 2. Oscyloskop elektroniczny, generator, obserwacja i pomiar parametrów przebiegów okresowych.

Tabela 2: Pomiar napięcia międzyszczytowego i wyznaczenie wartości skutecznej

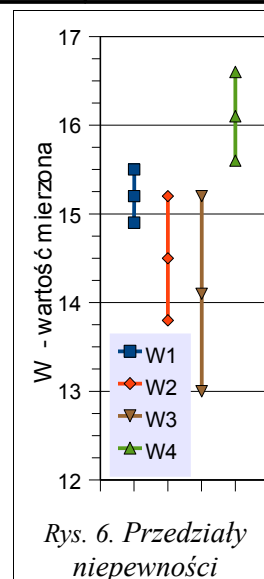
Lp.	Pomiar oscyloskopem U_{PP}					Obliczone z U_{PP}			Obliczone z U_{PP}			Wynik
	Y_{PP}	C_Y	U_{PP}	δU_{PP}	ΔU_{PP}	U_{MAX}	δU_{MAX}	ΔU_{MAX}	U_{AC}	δU_{AC}	ΔU_{AC}	
	dz	V/dz	V	%	V	V	%	V	V	%	V	V
1												
2												
3												
4	Pomiar napięcia woltomierzem AC - $U_{AC,V}$											

Tabela 3: Pomiar składowej stałej przebiegu okresowo zmiennego

Przyrząd pomiarowy	Y_{DC}	C_Y	U_{DC}	δU_{DC}	ΔU_{DC}	$U_{DC} \pm \Delta U_{DC}$
	dz	V/dz	V	%	V	V
Oscyloskop						
Woltomierz DC						

Zgodność wyników pomiarowych. Wyniki pomiarów są zgodne ze sobą jeśli mają wspólny przedział niepewności. **Przykład:** Oto wyniki pomiarów tej samej wielkości: $W1 = 15,2 \pm 0,3$; $W2 = 14,5 \pm 0,7$; $W3 = 14,1 \pm 1,1$; $W4 = 16,1 \pm 0,5$;

Na rys.6 przedstawiono graficzną ilustrację wyników z przedziałami niepewności. Tylko wyniki $W1$, $W2$, $W3$ są zgodne ze sobą.



Rys. 6. Przedziały niepewności

Przykłady zadań i pytania kontrolne

- Wyjaśnić działanie wyzwalanej podstawy czasu w analogowym oscyloskopie elektronicznym.
- Narysować przebieg sygnału z generatora podstawy czasu w torze X oscyloskopu w funkcji czasu, zaznaczyć i objaśnić jego charakterystyczne fragmenty i powiązać je z działaniem toru odchylenia. Czy sygnał odchylający działa w każdym okresie sygnału mierzonego?
- W pomiarze napięcia sinusoidalnego za pomocą oscyloskopu odczytano jego wartość międzyszczytową jako 6,8 dz. Stała odchylenia w torze Y wynosiła $C_Y = 20$ mV/dz. Obliczyć wartość skuteczną mierzonego sygnału oraz niepewność jej wyznaczenia.
- W pomiarze okresu sygnału sinusoidalnego za pomocą oscyloskopu odczytano jego długość jako 8,2 dz. Stała odchylenia w torze X była równa $50 \mu\text{s}/\text{dz}$. Określić wartość okresu oraz względną i bezwzględną niepewność jego wyznaczenia.
- W pomiarze częstotliwości sygnału prostokątnego za pomocą oscyloskopu zmierzono jego okres. Odczyt wynosił 6,5 dz przy nastawie $C_X = 1 \mu\text{s}/\text{dz}$. Określić częstotliwość tego sygnału i niepewność jej określenia (względna i bezwzględna).
- Wyjaśnić sposób pomiaru napięcia stałego za pomocą oscyloskopu.

Zestaw przyrządów pomiarowych

- Oscyloskop elektroniczny 1 szt.
- Generator funkcyjny 1 szt.
- Woltomierz cyfrowy napięcia stałego i zmiennego (Multimetr) 1 szt.
- Miernik częstotliwości (ewentualnie wykorzystać multimetr) 1 szt.

Wrocław, marzec 2008

Opracowanie: mgr inż. Beata Krzywaźnia,
dr inż. Adam Krzywaźnia

Instytut Inżynierii Biomedycznej i Pomiarowej Wydziału PPT Politechniki Wrocławskiej