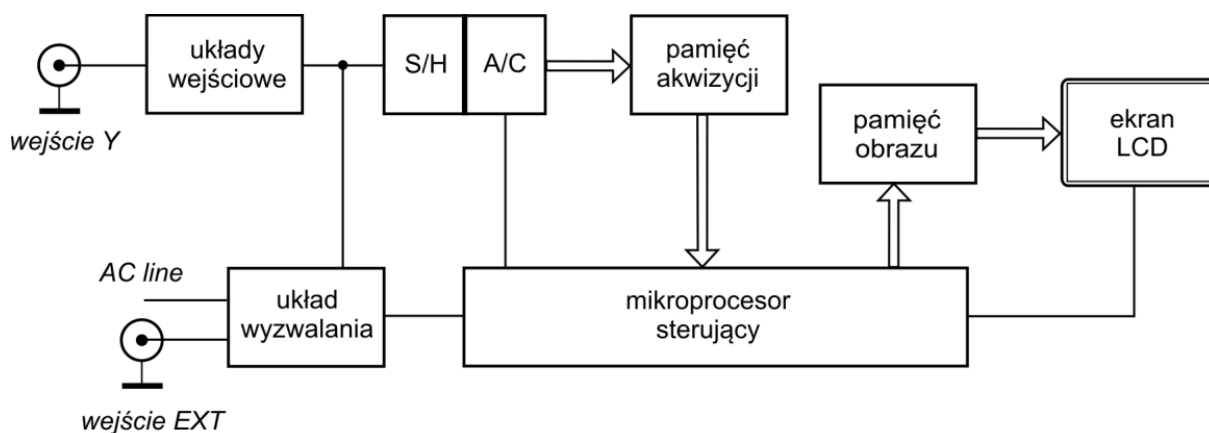


1. Wstęp

Oscyloskopy są urządzeniami pomiarowymi służącymi do wizualnej obserwacji, a także pomiarów parametrów przebiegów czasowych sygnałów oraz ich wzajemnych zależności. Należą one do najbardziej uniwersalnych przyrządów pomiarowych i znajdują zastosowanie niemal w każdej dziedzinie techniki. Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z zasadami eksploatacji oscyloskopów cyfrowych, ich funkcjonalnością oraz podstawowymi parametrami, a także sposobami wykonywania pomiarów parametrów czasowych i amplitudowych obserwowanych sygnałów.

2. Budowa i zasada działania oscyloskopów cyfrowych

Idea pracy oscyloskopu cyfrowego polega na pobieraniu próbek sygnału, zapisywaniu ich w pamięci w postaci cyfrowej, a następnie rekonstrukcji przebiegu na ekranie oscyloskopu. W przeciwieństwie do swoich poprzedników – oscyloskopów analogowych, oscyloskop cyfrowy nie zobrazowuje sygnałów w czasie rzeczywistym, co można uznawać za jego wadę. Natomiast jedną z zalet oscyloskopów cyfrowych jest możliwość wykonywania złożonych operacji matematycznych na sygnale, w tym analizy widmowej z wykorzystaniem algorytmów FFT. Schemat blokowy oscyloskopu cyfrowego przedstawiony jest na rysunku 1.



Rys. 1. Uproszczony schemat blokowy oscyloskopu cyfrowego [1]

W pierwszym etapie (faza akwizycji) badany sygnał napięciowy podany na wejście oscyloskopu przetwarzany jest na ciąg próbek, które odpowiadają wartości chwilowym napięcia pobieranym w ściśle określonych odstępach czasu i zapisywanym w postaci zbioru n -bitowych liczb w pamięci akwizycji. Proces ten rozpoczyna się od pobrania wartości chwilowej napięcia w określonych odstępach czasu (próbkowanie) przez układ próbkująco-pamiętający (S/H). Następnie próbki te są przetwarzane przez przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC) na wartości liczbowe, które zapisywane są w pamięci akwizycji (kwantyzacja i kodowanie). Po zapisaniu próbek sygnału w pamięci akwizycji, mikroprocesor sterujący przetwarza te dane i tworzy mapę bitową wyświetlaną na ekranie (faza rekonstrukcji). Mapa bitowa zapisywana jest

w osobnej pamięci obrazu. Skalę osi poziomej określa nastawa współczynnika podstawy czasu D_t , definiowanego jako przedział czasu odpowiadający jednej poziomej działce na ekranie oscyloskopu. Jednostką współczynnika czasu jest sekunda (lub jej podwielokrotność) na działkę np. s/dz, ms/dz, μ s/dz. Skalę osi pionowej określa ustawiony współczynnik napięcia D_Y , definiowany jako wartość napięcia odpowiadająca jednej pionowej działce na ekranie oscyloskopu. Jednostką współczynnika napięcia jest V (lub jego podwielokrotność) na działkę np. V/dz, mV/dz.

Sygnał z gniazda wejściowego oscyloskopu dołączany jest do toru przetwarzania przez przełącznik trójpozycyjny, który umożliwia wybranie jednego z następujących sprzężeń sygnału z kanałem wejściowym oscyloskopu:

DC – cały sygnał wejściowy (zawierający zarówno składową stałą jak i zmienną) jest pobierany, zapisywany w pamięci, a następnie wyświetlany na ekranie oscyloskopu.

AC – gniazdo wejściowe i dalsza część toru Y oscyloskopu połączone są za pomocą kondensatora włączonego szeregowo. Powoduje to wyeliminowanie składowej stałej sygnału, czyli przetwarzana i wyświetlana jest tylko składowa zmienna badanego sygnału.

GND – obwody wejściowe oscyloskopu dołączone są do masy. Umożliwia to dokładne wyznaczenie poziomu odniesienia oraz wyświetlenie go na ekranie.

3. Wyzwalanie

Obwód wyzwalania w oscyloskopach cyfrowych wykrywa spełnienie warunku wyzwalania, które rozpoczyna proces zobrazowania przebiegu na ekranie na podstawie próbek zapisanych w pamięci akwizycji. Standardowo przyjęto, że moment wyzwolenia w oscyloskopach cyfrowych ma położenie pośrodku ekranu, co odpowiada jego położeniu w połowie rekordu akwizycji. Dzięki temu możliwa jest obserwacja fragmentu zarejestrowanego przed wystąpieniem wyzwolenia oraz fragmentu zarejestrowanego po wystąpieniu wyzwolenia.

Układ wyzwalania w oscyloskopach cyfrowych może pracować w różny sposób. Podstawowymi trybami pracy układu wyzwalania są tryb automatyczny (AUTO) i tryb normalny (NORM).

W **trybie normalnym** aktualizacja zobrazowania na ekranie oscyloskopu występuje wyłącznie na skutek impulsu wyzwalającego, który pojawia się po spełnieniu warunku wyzwalania. Przy braku impulsów wyzwalania zobrazowany jest dotychczasowy cykl rejestracji lub brak jest zobrazowania przebiegu – w tym trybie oscyloskop nie wyświetla przebiegu do momentu pojawienia się pierwszego impulsu wyzwalania.

W **trybie automatycznym** przy braku impulsów wyzwalających (lub w sytuacji gdy impulsy te pojawiają się bardzo rzadko) aktualizacja zobrazowania następuje automatycznie z częstotliwością własną oscyloskopu. W takiej sytuacji oscylogram jest zazwyczaj niestabilny, ale obraz jest ciągle odświeżany na ekranie oscyloskopu. Przy ciągłym występowaniu impulsów wyzwalających praca układu wyzwalania w trybie automatycznym przebiega tak samo jak w trybie normalnym.

Oscyloskopy cyfrowe posiadają różne sposoby wyzwalania definiujące warunki wyzwalania. Podstawowym trybem wyzwalania jest wyzwalanie zboczem (ang. *edge*), w którym warunkiem wyzwania jest osiągnięcie przez sygnał z wybranego źródła wyzwalania określonego poziomu napięcia, zwanego poziomem wyzwalania, na wybranym zboczach (narastającym lub opadającym). Źródłem wyzwalania (ang. *trigger source*) może być kanał Y, do którego doprowadzony jest badany sygnał, jeden z pozostałych kanałów Y (zazwyczaj oscyloskopy cyfrowe mają przynajmniej 2 kanały Y), dodatkowe wejście wyzwalania (EXT) lub linia zasilania (AC LINE). Poziom wyzwalania (ang. *trigger level*) może być regulowany przez użytkownika za pomocą dedykowanego pokrętki na panelu czołowym przyrządu. Aby możliwe było spełnienie warunku wyzwalania, czyli osiągnięcie poziomu wyzwalania przez sygnał ze źródła wyzwalania, poziom wyzwalania musi mieć wartość z zakresu zmian wartości chwilowych tego sygnału. Za duża lub za mała wartość poziomu wyzwalania skutkuje brakiem impulsów wyzwalających.

Podsumowując, źródło wyzwalania określa kanał, który jest monitorowany (przez układ wyzwalania) w celu wykrycia spełnienia warunku wyzwalania przez doprowadzony do niego sygnał. Natomiast poziom wyzwalania określa poziom napięcia jaki musi osiągnąć sygnał doprowadzony do wybranego źródła wyzwalania na wybranym zboczach (narastającym lub opadającym) w celu spełnienia warunku wyzwalania.

4. Podstawowe parametry oscyloskopów cyfrowych

Do najważniejszych parametrów oscyloskopów cyfrowych można zaliczyć:

Pasma przenoszenia – określa maksymalną częstotliwość sygnału sinusoidalnego, jaką oscyloskop jest w stanie poprawnie zmierzyć. Typowo szerokość pasma przenoszenia wynosi od kilkudziesięciu MHz do kilku GHz.

Częstotliwość próbkowania (ang. *sampling rate*) – maksymalna liczba próbek pobranych z sygnału w ciągu sekundy i zapisanych w pamięci oscyloskopu. We współczesnych oscyloskopach wyrażana jest ona w GSa/s (ang. *giga-samples per second*). Wartość ta odpowiada częstotliwości próbkowania przetwornika A/C, który w oscyloskopach cyfrowych pracuje ze stałą szybkością przetwarzania. Jednak, tylko przy najkrótszych podstawach czasu wszystkie próbki sygnału są zapisywane do pamięci. W pozostałych przypadkach do pamięci zapisywane są tylko niektóre próbki. Dlatego rzeczywista częstotliwość próbkowania nie jest stała i wynika z ustawień podstawy czasu oraz rozdzielczości ekranu (liczby pikseli) w osi X.

$$\text{rzeczywista częstotliwość próbkowania} = \frac{\text{rozdzielczość ekranu w osi X}}{\text{współczynnik czasu } D_t * \text{liczba działek osi X}}$$

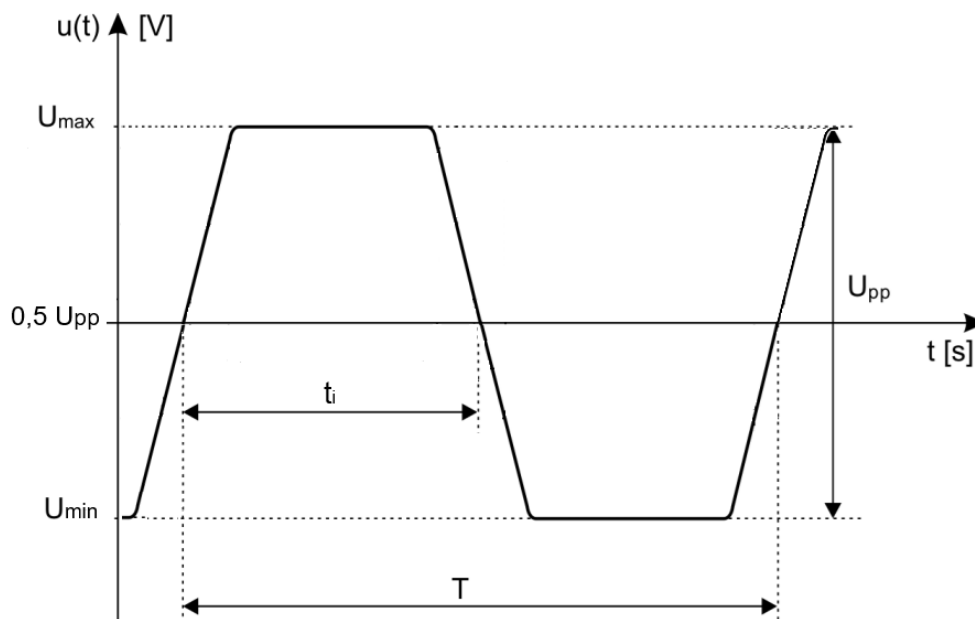
Głębokość pamięci (ang. *memory depth*), **długość rekordu akwizycji** – liczba próbek sygnału, które oscyloskop może przechowywać w pamięci przed przetworzeniem ich na ekranie. Im większa pamięć, tym dłuższy okres rejestrowanego sygnału. Głębokość pamięci wyrażana jest w Mpts (miliony punktów)

Rozdzielczość przetwornika A/C – liczba bitów przetwornika analogowo-cyfrowego. Przekłada się to na liczbę poziomów kwantyzacji, na które dzielony jest zakres napięcia wejściowego. Na

przykład 8-bitowy przetwornik umożliwia kwantyzację na $2^8=256$ poziomach napięcia. Liczba poziomów kwantyzacji określa rozdzielczość pomiaru napięcia. Większa liczba poziomów kwantyzacji skutkuje lepszą rozdzielczością napięciową.

5. Pomiary parametrów sygnałów

Za pomocą oscyloskopu można wykonywać pomiary zarówno parametrów napięciowych sygnałów jak i parametrów czasowych. Na rysunku 2 przedstawiono przebieg sygnału napięcia okresowego $u(t)$, na którym zaznaczono podstawowe parametry napięciowe i czasowe sygnału.



Rys. 2. Podstawowe parametry napięciowe i czasowe sygnału

Do podstawowych parametrów napięciowych sygnału należą:

U_{max} – największa wartość chwilowa napięcia,

U_{min} – najmniejsza wartość chwilowa napięcia,

U_{pp} – wartość międzyszczytowa (ang. *peak to peak*), różnica między wartością U_{max} a U_{min} ,

Do podstawowych parametrów czasowych sygnału należą:

T – okres powtarzania przebiegu, czyli czas jednego pełnego cyklu sygnału,

t_i – czas trwania impulsu mierzony na połowie jego wysokości (ang. *width*), czyli czas, kiedy sygnał ma wartość większą niż 50% wartości międzyszczytowej.

t_n – czas narastania, czas w którym sygnał zmienia swoją wartość w zakresie od 10 % do 90 % wartości międzyszczytowej (ang. *rise time*),

t_o – czas opadania, czas w którym sygnał zmienia swoją wartość w zakresie od 90 % do 10 % wartości międzyszczytowej (ang. *fall time*).

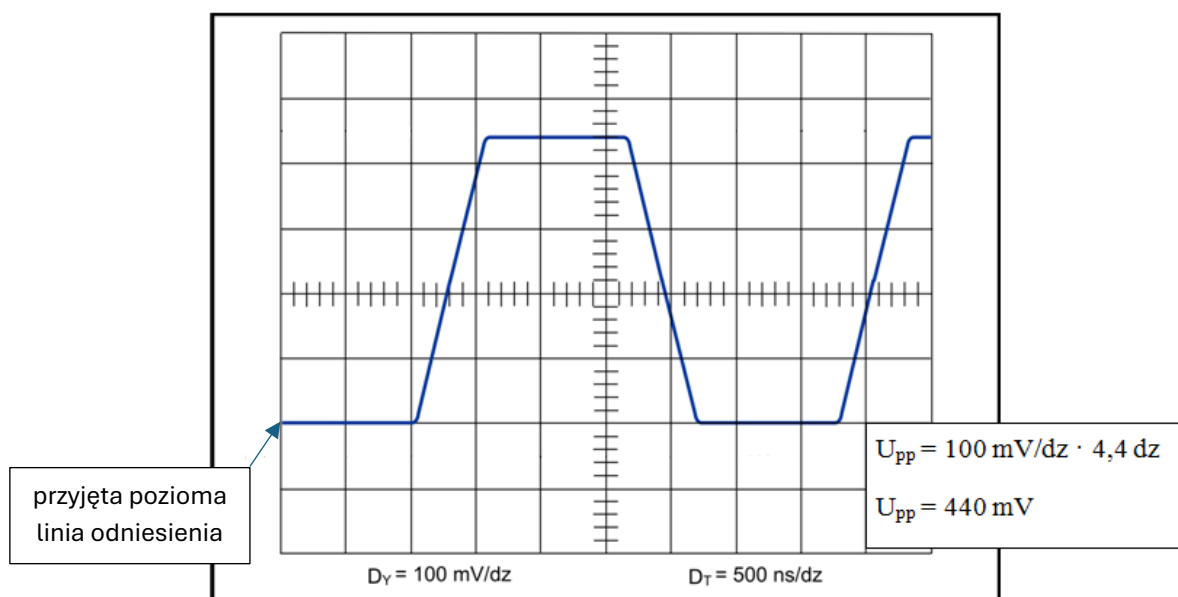
Do pomiaru parametrów sygnału za pomocą oscyloskopu można wykorzystać siatkę współrzędnych i współczynniki skali, kursory lub funkcje pomiarów automatycznych.

Niezależnie od wyboru metody pomiarowej ważne jest aby podczas wykonywania pomiarów za pomocą oscyloskopu dobrać tak jego ustawienia żeby fragment oscylogramu odpowiadający mierzonemu parametrowi był możliwie jak największy i mieścił się w całości na ekranie. Wykonany w ten sposób pomiar będzie charakteryzował się największą możliwą dokładnością.

Metoda siatki współrzędnych

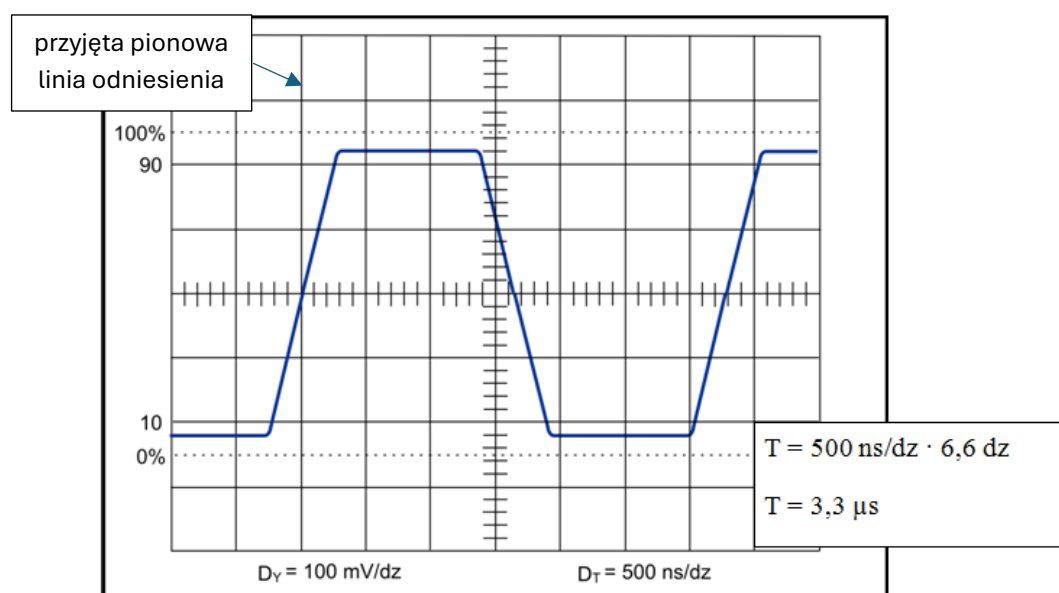
W metodzie tej pomiarów dokonuje się zliczając główne i pomocnicze działki siatki na ekranie oscyloskopu w osi pionowej (dla parametrów napięciowych) lub poziomej (dla parametrów czasowych), a następnie mnożąc ich liczbę przez odpowiedni współczynnik skali. Przy wykonywaniu pomiarów za pomocą oscyloskopu ważny jest odpowiedni dobór współczynników napięcia i/lub czasu po to, żeby fragment oscylogramu odpowiadający mierzonemu parametrowi zajmował możliwie jak największą liczbę działek. Dodatkowo, w metodzie siatki współrzędnych, ważne jest, żeby wykorzystać pokrętła umożliwiające przesunięcie oscylogramu w pionie lub poziomie w celu dokładnego odczytu liczby działek odpowiadających mierzonemu parametrowi. Ponadto, przy pomiarze tą metodą dobrze jest wykorzystać główne osie, na których są naniesione znaczki z rozdzielczością 0,2 działki.

Na rys. 3 przedstawiono pomiar wartości międzyszczytowej badanego sygnału. Poprawne wykonanie tego pomiaru wymaga ustawienia możliwie jak najmniejszej wartości współczynnika napięcia w celu uzyskania maksymalnej wysokości obserwowanego oscylogramu oraz przesunięcia oscylogramu w pionie tak, żeby wartość minimalna napięcia pokrywała się z jedną z poziomych linii siatki i w poziomie po to, żeby wierzchołek sygnału znajdował się na osi Y. Takie ustawienie oscylogramu umożliwia określenie poprawnej liczby działek odpowiadających wartości międzyszczytowej z wykorzystaniem osi Y, czyli 4,4 działki. Mnożąc tą wartość przez ustawiony współczynnik napięcia, czyli 100 mV/dz, otrzymujemy wartość mierzonego parametru napięciowego. Zatem wartość międzyszczytowa sygnału, którego oscylogram przedstawiony został na rys. 3 wynosi 440 mV.



Rys. 3. Pomiar wartości międzyszczytowej sygnału metodą siatki współrzędnych [1]

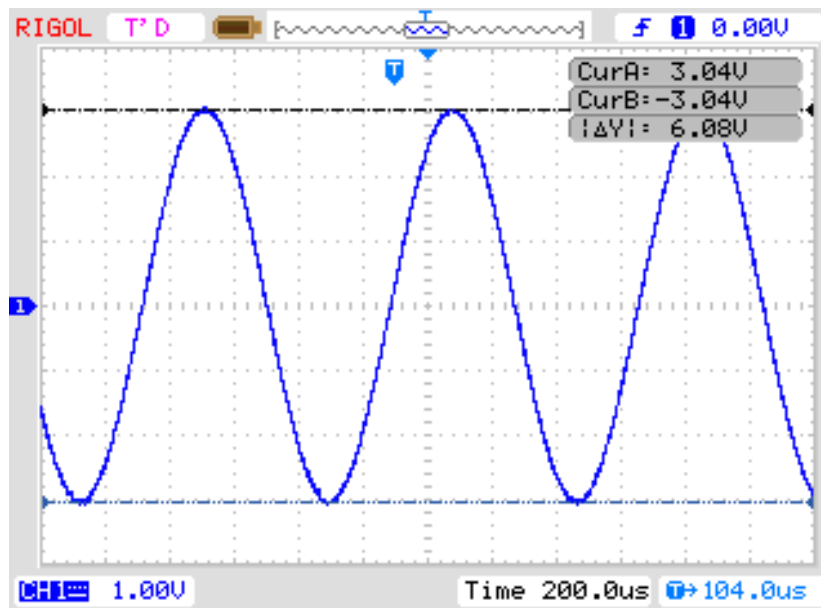
Na rys. 4 przedstawiono pomiar okresu badanego sygnału. Poprawne wykonanie tego pomiaru wymaga ustawienia możliwie jak najmniejszej wartości współczynnika czasu umożliwiającej uzyskanie oscylogramu przedstawiającego minimum jeden pełny okres badanego sygnału oraz przesunięcia oscylogramu w poziomie tak, żeby oscylogram badanego sygnału przecinał się z osią X w miejscu jej przecięcia z dowolną linią pionową. Takie położenie oscylogramu na ekranie oscyloskopu umożliwia poprawne określenie liczby działek odpowiadających okresowi badanego sygnału z wykorzystaniem osi X, czyli 6,6 działki. Mnożąc tą wartość przez ustawiony współczynnik czasu, czyli 500 ns/dz otrzymujemy wartość mierzonego parametru czasowego. Zatem okres sygnału, którego oscylogram przedstawiony został na rys. 4 wynosi 3,3 μ s.



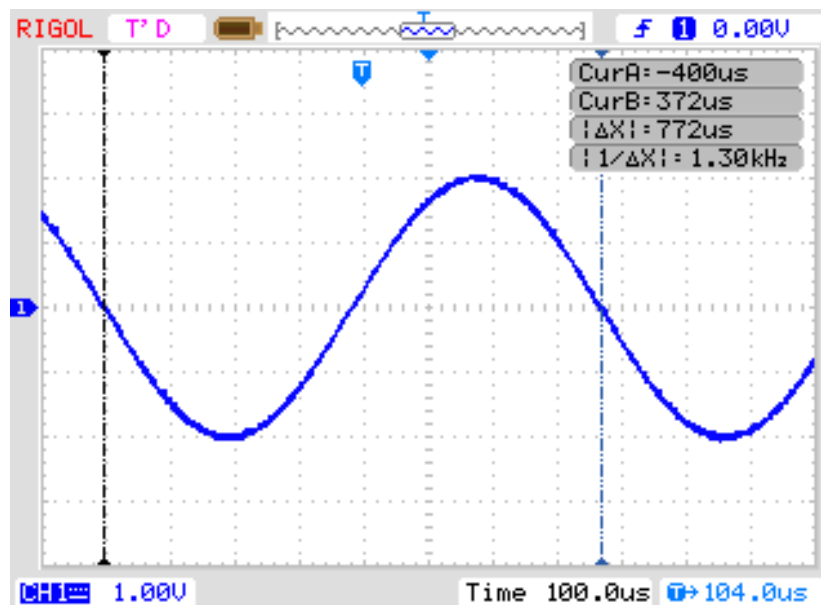
Rys. 4. Pomiar okresu sygnału metodą siatki współrzędnych [1]

Metoda kursorów

Metoda ta polega na wykonywaniu pomiarów za pomocą kursorów występujących parami i odczytywania wartości liczbowych z ekranu. Kursory napięciowe pojawiają się jako poziome linie na ekranie i umożliwiają pomiar parametrów amplitudowych (rys. 5). Kursory czasowe pojawiają się jako pionowe linie na ekranie i mierzą parametry czasowe (rys. 6). Położenie kursorów na ekranie regulowane jest za pomocą odpowiedniego pokręćła na panelu czołowym przyrządu. Położenie każdego z kursorów podczas przesuwania pokazywane jest w postaci liczbowej na ekranie. Podobnie pokazywana jest odległość między kursorami oznaczająca bezpośrednią wartość mierzonego parametru napięciowego lub czasowego badanego sygnału.



Rys. 5. Pomiar wartości międzyszczytowej sygnału za pomocą kursorów napięciowych



Rys. 6. Pomiar okresu badanego sygnału za pomocą kursorów czasowych

Metoda automatyczna

Oscyloskopy cyfrowe mają wbudowane automatyczne funkcje pomiarowe, co znacznie ułatwia i przyspiesza analizę sygnałów. Zamiast ręcznego odczytywania parametrów z ekranu, oscyloskop sam wylicza i prezentuje wartości kluczowych parametrów. W przypadku parametrów napięciowych są to najczęściej wartości: minimalna i maksymalna, wartość średnia, wartość skuteczna i wartość międzyszczytowa. W przypadku parametrów czasowych dostępne są pomiary automatyczne częstotliwości, okresu, czasów narastania i opadania oraz czasu trwania impulsu. Niektóre z tych parametrów są trudne (np. czas narastania lub opadania zbocza) lub wręcz niemożliwe (np. wartość skuteczna sygnału) do zmierzenia metodą siatki współrzędnych lub kursorów. Należy jednak pamiętać, że nawet w przypadku pomiarów

automatycznych uzyskanie poprawnych wyników wymaga odpowiedniego doboru nastaw oscyloskopu. Złe nastawy mogą skutkować brakiem możliwości wykonania pomiaru lub co gorsze otrzymaniem całkowicie błędnego wyniku.

6. Tryb X-Y

Tryb pracy oscyloskopu umożliwiający obserwację przebiegów czasowych sygnałów, czyli zmian ich wartości chwilowych w czasie jest nazywany trybem Y-T. Oscyloskop może również pracować również w trybie X-Y, który umożliwia przedstawienie zależności między dwoma sygnałami poprzez wykreślenie ich na płaszczyźnie współrzędnych, gdzie napięcie podane na kanał X steruje odchyleniem poziomym, a napięcie na kanale Y – odchyleniem pionowym. Pozwala to na analizę relacji fazowej i częstotliwościowej sygnałów, co znajduje zastosowanie m.in. w badaniu charakterystyk elementów elektronicznych (np. diod czy tranzystorów) oraz w wizualizacji krzywych Lissajous, które służą do oceny różnicy faz i stosunku częstotliwości pomiędzy dwoma przebiegami.

Literatura

Miernictwo Elektroniczne – Laboratorium, Wojskowa Akademia Techniczna, 2016

J. Dusza, P. Gąsior, G. Tarapata, *Podstawy pomiarów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2019