

# OSCYLOSKOP CYFROWY

## 1. CEL ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z obsługą i możliwościami oscyloskopu cyfrowego.

## 2. WPROWADZENIE

### 2.1. Wstęp

Współczesny oscyloskop cyfrowy jest urządzeniem umożliwiającym akwizycję, wizualizację, analizę oraz pomiar wielu parametrów jednego lub kilku sygnałów napięciowych, doprowadzonych do jego wejść. Po zastosowaniu odpowiednich sond lub przetworników możliwe jest badanie sygnałów prądowych, ładunkowych, mocowych oraz sygnałów nieelektrycznych. Ponadto możliwy jest pomiar relacji fazowych i czasowych pomiędzy sygnałami doprowadzonymi do wejść oscyloskopu. Wbudowane funkcje matematyczne pozwalają na obliczanie i wyświetlanie sygnałów proporcjonalnych do sumy, różnicy lub iloczynu sygnałów. Wiele współczesnych oscyloskopów cyfrowych realizuje analizę widmową sygnałów metodą szybkiej transformaty Fouriera (ang. Fast Fourier Transform, FFT) [1]. Niektóre oscyloskopy cyfrowe posiadają także wbudowany wielokanałowy analizator stanów logicznych [2], umożliwiający wizualizację stanów logicznych na np. 20 liniach cyfrowych oraz przebiegów czasowych na kilku (maksymalnie 4) liniach analogowych. Te właściwości sprawiają, iż oscyloskop cyfrowy jest jednym z najbardziej uniwersalnych narzędzi pomiarowych.

### 2.2. Podstawowe układy oscyloskopu cyfrowego

W oscyloskopie cyfrowym wyróżnić można kilka podstawowych układów, których nazewnictwo nawiązuje do oscyloskopów analogowych z lampą elektronowopromieniową [3]. Układy te są sterowane pokrętkami/przełącznikami umieszczonymi na płycie czołowej (rys.1) i pogrupowanymi w następujące bloki:

- tor Y (blok odchylenia pionowego, ang. VERTICAL);
- tor X (blok odchylenia poziomego, ang. HORIZONTAL)
- układ wyzwalania (ang. TRIGGER)
- blok sterowania procesem akwizycji (ang. RUN CONTROL)
- blok konfiguracyjny tryb pracy i inne funkcje oscyloskopu, tworzący grupę przycisków oznaczoną na płycie czołowej jako MENU. Umożliwiają one sterowanie procesem próbkowania przebiegu (ang. ACQUIRE), sposobem wyświetlania próbek (ang. DISPLAY),

odczytu za pomocą kursorów (ang. CURSOR), pomiaru wybranych parametrów przebiegu (ang. MEASURE), zapisu i odczytu zapamiętanych przebiegów (ang. STORAGE) oraz dodatkowych funkcji (ang. UTILITY).

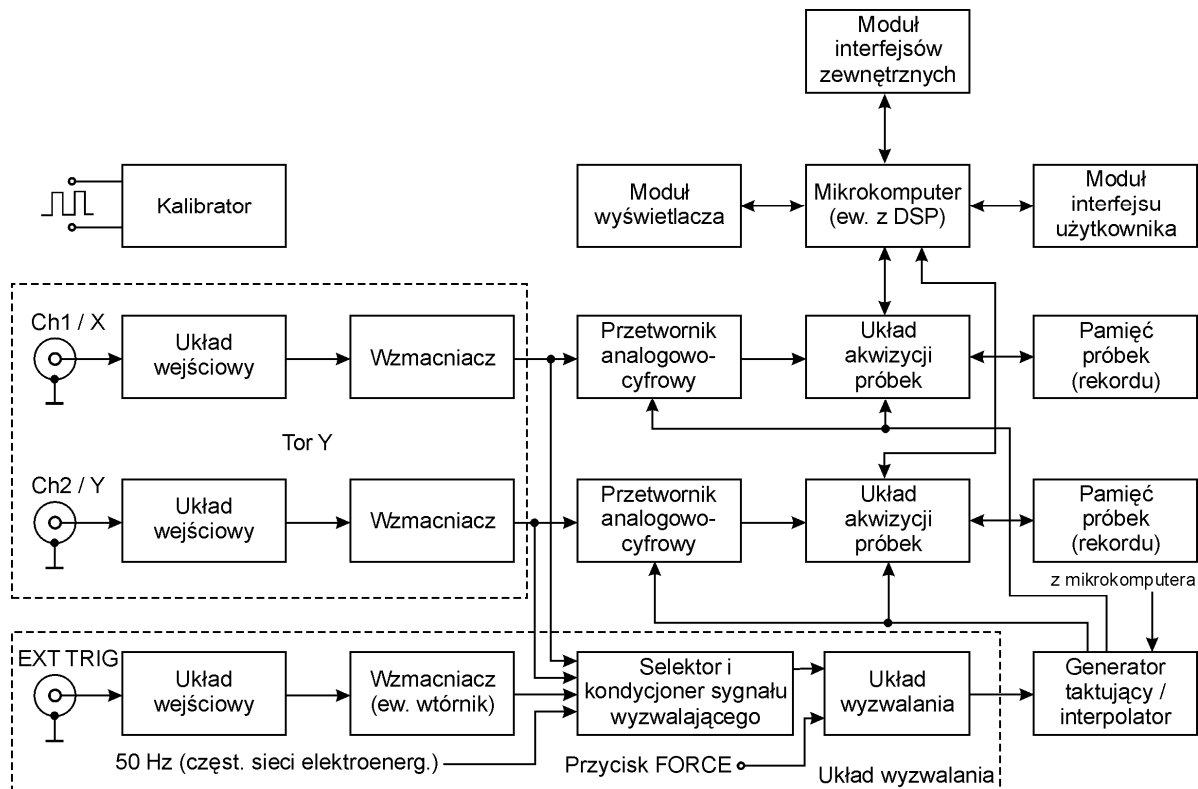


Rys.1. Fragment płyty czołowej dwukanałowego oscyloskopu cyfrowego Rigol DS1022C

Na płycie czołowej znajduje się także kilka klawiszy kontekstowych, których funkcja jest określona przez informację wyświetlaną na ekranie oscyloskopu.

Wszystkie współczesne oscyloskopy cyfrowe są wyposażone przycisk AUTO umożliwiający, dla większości sygnałów periodycznych, automatyczne i szybkie uzyskanie stabilnego przebiegu na wyświetlaczu oscyloskopu.

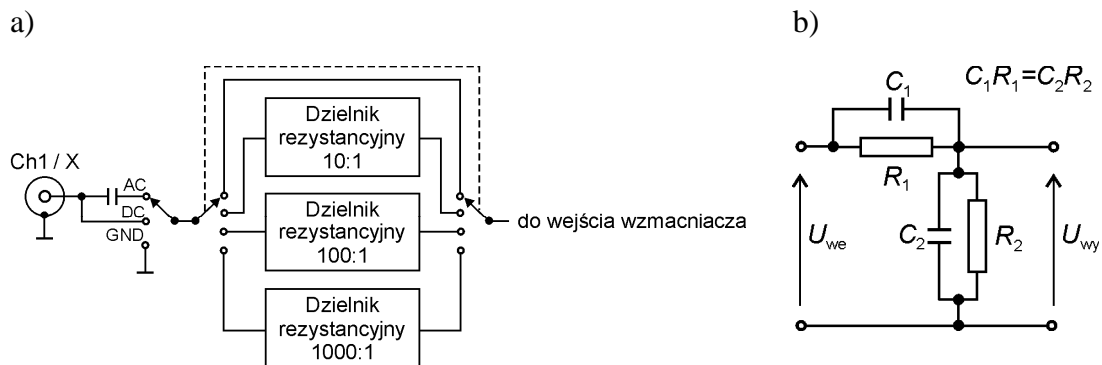
Uproszczony schemat blokowy dwukanałowego oscyloskopu cyfrowego przedstawiono na rys.2.



Rys.2. Uproszczony schemat blokowy dwukanałowego oscyloskopu cyfrowego

### 2.3. Tor odchylenia pionowego (tor Y) oscyloskopu cyfrowego

Badany sygnał, doprowadzony do wejścia pierwszego kanału (oznaczenie Ch1/X), przechodzi najpierw przez pasywny układ wejściowy, którego uproszczony schemat przedstawiono na rys.3.



Rys.3. Uproszczony schemat układu wejściowego znajdującego się na wejściu każdego z kanałów oscyloskopu (a) oraz schemat skompensowanego częstotliwościowo dzielnika rezystancyjnego (b).

Na wejściu tego układu znajduje się przełącznik, umożliwiający wybór sposobu sprzężenia źródła badanego sygnału z wejściem oscyloskopu. Przełącznik ten ma trzy pozycje:

- 1) sprzężenie zmiennoprądowe AC;
- 2) sprzężenie stałoprądowe DC;
- 3) GND (lub OFF) pozwalający także na odcięcie źródła sygnału od obwodu wejściowego (położenie GND).

Przy sprzężeniu zmiennoprądowym na wejściu kanału umieszczony jest filtr górnoprzepustowy o częstotliwości granicznej rzędu 10 Hz. Filtr ten umożliwia odcięcie składowej stałej obecnej w przebiegu badanym, ale może powodować zniekształcenia kształtu przebiegów impulsowych o małej częstotliwości.

Impedancja wejściowa toru Y jest zazwyczaj równoważna równoległemu połączeniu rezystora o rezystancji  $1\text{ M}\Omega$  oraz kondensatora o pojemności od kilkunastu do kilkudziesięciu pF. W oscyloskopach szerokopasmowych istnieje możliwość zmniejszenia impedancji wejściowej do  $50\ \Omega$ . Należy wówczas zachować szczególną ostrożność, aby nie uszkodzić obwodu wejściowego oscyloskopu np. na skutek doprowadzenia na wejście zbyt dużego napięcia.

W niektórych przypadkach impedancja wejściowa  $1\text{ M}\Omega/15\text{ pF}$  może stanowić zbyt duże obciążenie dla badanego układu. Wówczas badany układ łączy się z wejściem oscyloskopu za pomocą pasywnej sondy rezystancyjnej np. o współczynniku podziału 10:1. Sonda taka około dziesięciokrotnie zwiększa impedancję wejściową (np. do  $10\text{ M}\Omega/1,5\text{ pF}$ ). Przed użyciem sondy należy sprawdzić poprawność jej kompensacji częstotliwościowej. Do tego celu wykorzystuje się wbudowany w oscyloskop kalibrator, który wytwarza napięcie prostokątne o wartości międzyszczytowej rzędu kilku woltów i o częstotliwości rzędu 1 kHz. Zaciski sondy należy połączyć z zaciskami kalibratora i sprawdzić, czy widoczny na ekranie oscyloskopu przebieg jest niezniekształconym przebiegiem prostokątnym. Niektóre sondy są wyposażone w przełącznik umożliwiający wybór współczynnika podziału, np. 10:1 lub 1:1. Należy zachować ostrożność przy zmianie współczynnika podziału. Np. w położeniu 1:1 rezystancja wejściowa widziana z zacisków wejściowych sondy jest zbliżona do rezystancji wejściowej oscyloskopu, ale pojemność wejściowa jest powiększona o pojemność kabla i głowicy sondy. W położeniu tym pasmo analogowe oscyloskopu bywa ograniczone do kilku MHz, a dopuszczalne napięcie wejściowe sondy jest kilkakrotnie mniejsze od dopuszczalnego napięcia przy wyższych współczynnikach podziału sondy.

Za przełącznikiem wyboru sprzężenia (rys.3a) znajduje się zestaw skompensowanych częstotliwościowo dzielników rezystancyjnych o współczynnikach podziału równych 1000:1, 100:1, 10:1 oraz 1:1. Umożliwiają one zmniejszenie napięcia doprowadzonego do wejścia oscyloskopu do wartości akceptowanej przez półprzewodnikowy szerokopasmowy

wzmacniacz znajdujący za dzielnikami. Wybór właściwego dzielnika dokonywany jest przez użytkownika za pomocą pokrętki VERTICAL SCALE lub automatycznie, po naciśnięciu przycisku AUTO. Dany dzielnik jest wykorzystywany w obrębie jednej dekady napięcia, np. od 2 mV do 10 mV włączony jest dzielnik 1:1, od 20 mV do 100 mV dzielnik 10:1, itd.

Zmiana wzmocnienia za pomocą pokrętki VERTICAL SCALE w krokach 1/2/5 jest realizowana w układzie wzmacniacza szerokopasmowego. Trzydecybelowa częstotliwość graniczna tego wzmacniacza jest z reguły jednym z głównych parametrów oscyloskopu, podawanych przez producenta w dokumentacji przyrządu oraz eksponowanych na płycie czołowej jako tzw. pasmo analogowe oscyloskopu. Częstotliwość ta może być przez użytkownika zmniejszona do wartości równej około 20 MHz, np. w celu zmniejszenia wpływu szumów czy zakłóceń o dużej częstotliwości. Do tego celu służy przełącznik BandWidth Limit (BW Limit). Zmniejszenie szumów widocznych na ekranie oscyloskopu jest możliwe także przez matematyczne uśrednienie wartości wybranej przez użytkownika liczby próbek i wyświetlenie uśrednionej wartości (funkcja AVERAGE w menu ACQUIRE).

Ograniczone pasmo toru analogowego oscyloskopu jest przyczyną zniekształcania obserwowanych przebiegów impulsowych. Jednym z najczęściej obserwowanych zniekształceń jest zwiększenie czasu narastania i opadania przebiegów o stromych zboczach, np. przebiegu o kształcie prostokątnym. Trzydecybelowa częstotliwość graniczna  $f_{3dB}$  jest powiązana z czasem narastania  $t_{r,osc}$  zbocza przebiegu impulsowego następującą zależnością przybliżoną:

$$t_{r,osc} \approx \frac{350}{f_{3dB}} \quad (1)$$

gdzie  $f_{3dB}$  podstawia się w MHz, a  $t_{r,osc}$  ma wymiar ns.

Poprawną wartość czasu narastania  $t_{r,popr}$  mierzonego sygnału oblicza się ze wzoru

$$t_{r,popr} = \sqrt{t_{r,odczyt}^2 - t_{r,osc}^2} \quad (2)$$

gdzie  $t_{r,popr}$  jest czasem narastania odczytanym z ekranu oscyloskopu.

#### 2.4. Blok akwizycji i tor odchylenia poziomego (tor X) oscyloskopu cyfrowego

Z wyjścia wzmacniacza sygnał jest podawany na wejście bardzo szybkiego przetwornika analogowo-cyfrowego (a/c), który próbkuje sygnał analogowy, kwantuje go, a następnie przetwarza skwantowane wartości na ciąg liczb binarnych, zapisanych w odpowiednim kodzie. Proces próbkowania, kwantowania, kodowania oraz zapamiętywania próbek nazywany jest procesem akwizycji. Maksymalna szybkość przetwarzania przetwornika a/c zawiera się w przedziale od kilkuset milionów do kilkudziesięciu miliardów przetworzeń na

sekundę i w niektórych oscyloskopach może być dynamicznie dostosowywana do szybkości zmian sygnału badanego (tzw. próbkowanie adaptacyjne). Maksymalna szybkość z jaką oscyloskop może próbować przebieg jednorazowy (ang. real-time sampling rate) jest drugim głównym parametrem oscyloskopu podawanym przez producenta w dokumentacji przyrządu oraz na płycie czołowej. Jest ona wyrażana liczbą przetworzeń w jednostce czasu (ang. MegaSamples per Second, MSa/s lub GigaSamples per Second, GSa/s). Oprócz maksymalnej szybkości, z jaką oscyloskop może próbować przebieg jednorazowy, wyróżnia się także tzw. ekwiwalentną maksymalną szybkość próbkowania (ang. equivalent sampling rate), a z jaką oscyloskop może próbować przebieg periodyczny. Jest ona wielokrotnie większa od maksymalnej szybkości, z jaką oscyloskop może próbować przebieg jednorazowy. Na przykład oscyloskop próbujący przebieg jednorazowy z szybkością 400 MSa/s może charakteryzować się ekwiwalentną szybkością próbkowania 2,5 GSa/s. Tak duża szybkość próbkowania nie pozwala jednak na obserwację sygnałów o częstotliwości znacznie wykraczającej poza pasmo analogowe, które dla oscyloskopu o podanych szybkościach próbkowania może wynosić np. zaledwie 25 MHz. Wynika stąd, iż przetwornik a/c oscyloskopu pracuje z tzw. nadpróbkowaniem<sup>1</sup>. Umożliwia to zaobserwowanie większej liczby szczegółów w badanym przebiegu, pod warunkiem zapamiętania odpowiednio dużej liczby próbek. Odpowiedni układ cyfrowy zapisuje spróbkowane wartości w pamięci przebiegu, nazywanej rekordem. Od pojemności tej pamięci (długości rekordu) zależy liczba zapisanych próbek. Im rekord jest dłuższy, tym więcej szczegółów badanego przebiegu można zapamiętać oraz później zobrazować. Długość rekordu oscyloskopów zawiera się w przedziale od kilku tysięcy próbek (w przypadku starszych oscyloskopów cyfrowych), do kilkudziesięciu milionów próbek. W niektórych oscyloskopach pamięć przebiegu jest współdzielona przez kilka kanałów i jej efektywna pojemność zmniejsza się proporcjonalnie do liczby aktywnych kanałów.

W wielu oscyloskopach układ akwizycji może pracować w trybie tzw. płynącej podstawy czasu (ang. ROLL MODE). W trybie tym sygnał badany jest cały czas próbkowany, a jego obraz przesuwa się od prawej strony wyświetlacz do lewej. Tryb ten wykorzystywany jest do rejestracji wolnozmiennych przebiegów.

Do obserwacji szczegółów badanego przebiegu można wykorzystać funkcję tzw. opóźnionej podstawy czasu (ang. DELAYED TIME BASE). Po włączeniu tej funkcji, wybrany przez użytkownika fragment przebiegu, jest obrazowany z odpowiednio mniejszym współczynnikiem skali podstawy czasu, co umożliwia obserwację szczegółów badanego przebiegu.

---

<sup>1</sup> Zgodnie z twierdzeniem o próbkowaniu częstotliwość próbkowania powinna być co najmniej dwukrotnie większa od częstotliwości próbkowanego sygnału sinusoidalnego.

Sposób w jaki na ekranie łączone są punkty odpowiadające poszczególnym próbkom nazywany jest metodą interpolacji przebiegu. Najczęściej spotykane są dwie metody:

- a) interpolacji odcinkowej, w której próbki łączone są za pomocą odcinków;
- b) interpolacji typu  $\sin x/x$ .

Interpolacja odcinkowa jest stosowana najczęściej, szczególnie w przypadku przebiegów impulsowych. Interpolacja typu  $\sin x/x$  jest używana przy obserwowaniu szybkich przebiegów sinusoidalnych, zwłaszcza gdy liczba próbek jest mała (np. kilka). Niektóre oscyloskopy automatycznie przechodzą w tryb interpolacji  $\sin x/x$  dla krótkich nastaw współczynnika skali podstawy czasu. Użytkownik może także wyłączyć interpolację, wówczas na ekranie wyświetlane są tylko punkty odpowiadające próbkom badanego sygnału.

Warto wspomnieć o dwóch użytecznych trybach pracy układu akwizycji, jakimi są:

- a) tryb wychwytywania zaburzeń krótkotrwałych (ang. GLITCH DETECT/CAPTURE);
- b) tryb pracy z obwiednią (ang. ENVELOPE MODE, PEAK DETECT MODE).

Pierwszy tryb umożliwia wykrycie krótkotrwałych zakłóceń nałożonych na badanych sygnał. Wykryte zaburzenie jest z reguły jedynie sygnalizowane na ekranie, np. za pomocą trzech punktów. Drugi z wyżej wymienionych trybów różni się od pierwszego tym, iż proces detekcji i sygnalizacji zaburzeń jest realizowany ciągle lub wielokrotnie. Tryb ten jest między innymi wykorzystywany do badań sygnałów zmodulowanych amplitudowo oraz do wykrywania zjawiska aliasingu [1].

Praca układu akwizycji może być wstrzymana lub wznowiona za pomocą przycisku RUN/STOP. Wstrzymanie procesu akwizycji pozwala na uzyskanie statycznego, nie aktualizowanego obrazu na wyświetlaczu oscyloskopu, celem np. zapisania go na zewnętrznej pamięci masowej.

## 2.5. Układ wyzwalania oscyloskopu cyfrowego

Proces akwizycji jest sterowany sygnałami uzyskiwanymi z układu wyzwalania. W tradycyjnych oscyloskopach analogowych układ wyzwalania umożliwiał uzyskanie stabilnego przebiegu na ekranie lampy oscyloskopowej. Impuls wyzwalający był wytwarzany gdy sygnał badany osiągał wartość napięcia nastawionego potencjometrem POZIOM WYZWALANIA (TRIGGER LEVEL) na określonym (dodatnim lub ujemnym) zboczach (SLOPE) badanego przebiegu. Impuls ten inicjował start generatora podstawy czasu (w postaci generatora przebiegu piłokształtnego) i rozpoczynał kreślenie przebiegu na ekranie lampy oscyloskopowej. W oscyloskopach cyfrowych układ wyzwalania funkcjonuje podobnie, lecz z reguły jest znacznie bardziej złożony. Od możliwości układu wyzwalania zależy

funkcjonalność oscyloskopu i jego przydatność do obserwacji złożonych sygnałów występujących w różnych dziedzinach nauki i techniki.

Układ wyzwalania może pracować w jednym z trzech trybów, wybieranych przełącznikiem SWEEP:

- 1) NORMAL – w którym próbkowanie i akwizycja przebiegu oraz odświeżanie ekranu oscyloskopu jest realizowane wyłącznie przy obecności sygnału wyzwalającego. Przy braku tego sygnału wyżej wymienione procesy są wstrzymane, a na ekranie wyświetlany jest przebieg uzyskany przy ostatnim impulsie wyzwalającym; przebieg ten nie jest odświeżany;
- 2) AUTO - w którym próbkowanie i akwizycja przebiegu oraz odświeżanie ekranu oscyloskopu jest realizowane nie tylko przy obecności sygnału wyzwalającego. Jeśli ten sygnał jest niedostępny przez czas dłuższy od kilkudziesięciu milisekund, wyżej wymienione procesy są kontynuowane, dzięki czemu na ekranie uzyskuje się przebieg, ale z reguły niestabilny. Trybu tego nie należy używać do obserwacji sygnałów wolnozmiennych;
- 3) SINGLE – układ wyzwalania jest inicjowany tylko jeden raz. Po inicjalizacji realizowane jest próbkowanie i akwizycja przebiegu oraz odświeżenie ekranu oscyloskopu. Użytkownik musi ponownie zainicjować układ wyzwalania, posługując się odpowiednim przełącznikiem.

Z reguły układ akwizycji próbkuje i zapamiętuje odpowiadające próbkom wartości w ten sposób, aby na ekranie oscyloskopu wyświetlane były wartości próbek znajdujących się przed i za punktem wyzwalania. Wyświetlenie próbek znajdujących się przed punktem wyzwalania ułatwia obserwację przyczyny inicjującej impuls układu wyzwalającego. Właściwość ta jest niedostępna w prostych oscyloskopach analogowych, pozbawionych analogowej linii opóźniającej. Liczbę próbek przed i za punktem wyzwalania, wyświetlanych na wyświetlaczu oscyloskopu, można wybrać pokrętelem HORIZONTAL SCALE. Często w górnej części wyświetlacza wyświetlany jest zakres wizualizowanych próbek.

## **2.6. Wybrane układy i funkcje dodatkowe oscyloskopu cyfrowego**

Jak już wspomniano, oscyloskopy cyfrowe umożliwiają dokonywanie wielu złożonych pomiarów. Do tego celu służy funkcja pomiaru automatycznego, oraz tzw. kursory.

Funkcja pomiaru automatycznego umożliwia pomiar kilkunastu parametrów badanego przebiegu, jak np. wartości skutecznej, międzyszczytowej, średniej, okresu, częstotliwości, czasu narastania, czasu opadania itp. Z reguły co najmniej kilka tych parametrów może być mierzonych i wyświetlanych jednocześnie.



Za pomocą kursorów można dokonać bardziej analitycznych pomiarów przebiegu. Kursory ogólnie podzielić można na służące do pomiaru czasu (kursory X lub T) oraz na służące do pomiaru napięcia (kursory Y lub V).

Z reguły oscyloskop wykorzystywany jest do obrazowania przebiegów napięciowych zmiennych w czasie (tryb Y-T). W niektórych zastosowaniach bada się przebieg, który powstaje po doprowadzeniu dwu różnych sygnałów napięciowych do wejść obu układów odchylenia (pionowego i poziomego). Ten tryb nazywany jest trybem X-Y. Po doprowadzeniu do wejść X i Y oscyloskopu dwóch sygnałów sinusoidalnych przesuniętych w fazie, na ekranie powstaje obraz nazywany figurą Lissajous [4].

Oscyloskopy cyfrowe pozwalają na zapisanie w pamięci masowej zewnętrznej lub wewnętrznej spróbkowanych i wyświetlanych wartości, obrazu wyświetlanego na ekranie oraz ustawień oscyloskopu.

### 3. PROGRAM ĆWICZENIA

1. Zapoznać się z instrukcją obsługi oscyloskopu [5], a przede wszystkim z zasadami bezpieczeństwa obsługi przyrządu, podanymi we wstępie instrukcji.
2. Zaznajomić się z płytą czołową oscyloskopu.
3. Po uzyskaniu zgody prowadzącego włączyć oscyloskop i zapoznać się z funkcją poszczególnych przycisków i pokręteł oscyloskopu, wykorzystując do tego celu instrukcję obsługi oraz funkcję pomocy kontekstowej przyrządu (HELP).
4. Za pomocą kabla koncentrycznego z wtykami BNC na obu końcach połączyć wejście kanału pierwszego oscyloskopu z wyjściem generatora funkcyjnego. Dobrać nastawę generatora tak, aby wytwarzał on przebieg sinusoidalny o częstotliwości ok. 1 kHz i o amplitudzie 1 V. Korzystając z odpowiednich przycisków i pokręteł starać się uzyskać stabilny obraz na ekranie. W razie trudności nacisnąć przycisk AUTO oscyloskopu.
5. Zapoznać się z funkcjami wszystkich przycisków/pokręteł w bloku odchylenia pionowego.
6. Zapoznać się z funkcjami wszystkich przycisków/pokręteł w bloku odchylenia poziomego.
7. Zapoznać się z funkcjami wszystkich przycisków/pokręteł układu wyzwiania.
8. Korzystając z kursorów dokonać pomiaru podanych przez prowadzącego parametrów obserwowanego przebiegu (ewentualnie zmienić kształt przebiegu wytwarzanego przez generator).

9. Korzystając z funkcji pomiaru automatycznego dokonać pomiaru podanych przez prowadzącego parametrów przebiegu.
10. Zapisać obserwowany przebieg w pamięci zewnętrznej (USB pendrive).
11. Odłączyć od wejścia oscyloskopu kabel BNC/BNC i dołączyć pasywną sondę 10:1. Za pomocą wbudowanego w oscyloskop kalibratora sprawdzić poprawność kompensacji sondy (zgodnie z instrukcją obsługi).

#### **4. PYTANIA KONTROLNE**

1. Podać ważniejsze funkcje, jakie realizują współczesne oscyloskopy cyfrowe.
2. Jak interpretować stwierdzenie „oscyloskop o paśmie 25 MHz”?
3. Podać relację między czasem narastania/opadania a trzydecybelową częstotliwością analogowego toru Y oscyloskopu.
4. Podać interpretację ekwiwalentnej maksymalnej szybkości próbkowania oscyloskopu.
5. Jak sprawdzić poprawność kompensacji częstotliwościowej pasywnej sondy oscyloskopowej?

#### **5. LITERATURA**

- [1] Lyons R., „Wprowadzenie do cyfrowego przetwarzania sygnałów”, WKŁ, Warszawa 1999
- [2] Stabrowski M., „Cyfrowe przyrządy pomiarowe”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002
- [3] Rydzewski J., „Oscyloskop elektroniczny”, Wyd.3, WKŁ, Warszawa 1982
- [4] Rydzewski J., „Pomiary oscyloskopowe”, WNT, Warszawa 1999
- [5] Rigol, „Oscyloskopy cyfrowe serii DS1000, DS1000CD, DS1000C, DS1000M. Instrukcja obsługi”, NDN, Warszawa 2007

Opracował: dr inż. Marian Kampik

v.3 / 5 X 2008