

## POMIARY OSCYLOSKOPOWE - Ćwiczenie nr 2

### 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z oscyloskopem analogowym i cyfrowym oraz ich praktycznymi zastosowaniami. W trakcie ćwiczenia wykonywane jest wzorcowanie kanału Y, dokonywane są pomiary napięcia i czasu w układzie całkującym pobudzonym przebiegiem prostokątnym, obserwacja przebiegów w układach cyfrowych, pomiary parametrów impulsów, rejestracja pojedynczych impulsów oraz obserwacja charakterystyk  $I=f(U)$  diod półprzewodnikowych.

### 2. Wprowadzenie

#### 2.1. Budowa i właściwości oscyloskopu

##### 2.1.1. Zasada działania

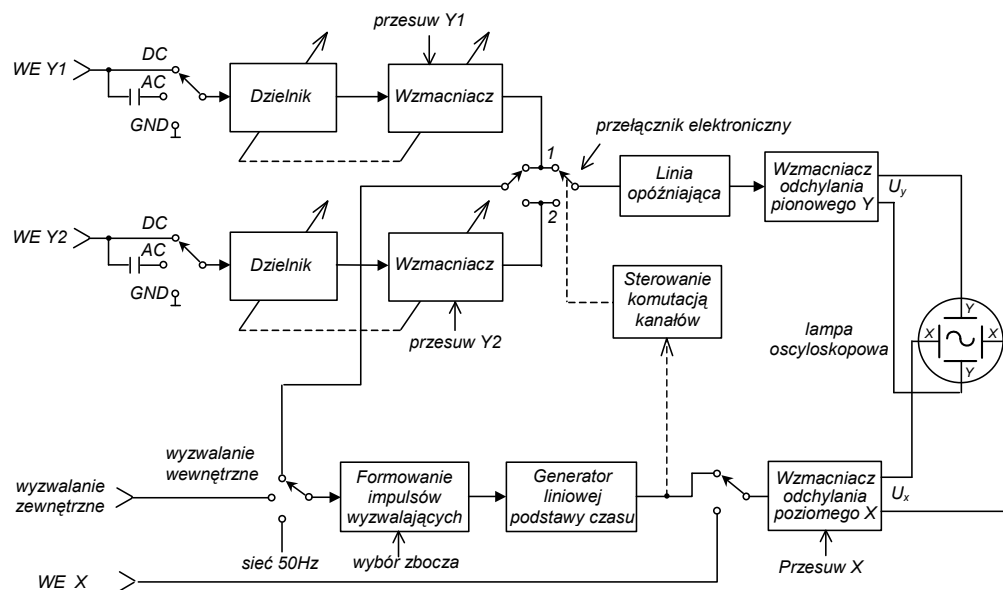
Oscyloskop jest przyrządem pomiarowym służącym do mierzenia lub obserwacji przebiegów elektrycznych. Do wytworzenia obrazu przedstawiającego chwilowe napięcie w funkcji czasu wykorzystano lampę oscyloskopową. Lampa zapewnia przetwarzanie napięcia chwilowego na przemieszczenie wiązki elektronów. Przemieszczenie jest obserwowane na fluorescencyjnym ekranie jako przemieszczenie plamki świecącej. Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy oscyloskopu dwukanałowego.

Mierzony sygnał przez dzielnik wejściowy o skokowo regulowanej wartości tłumienia steruje wzmacniaczem o skokowej i płynnej regulacji wzmocnienia. Regulacja skokowa tłumienia i wzmocnienia jest realizowana wspólnym przełącznikiem. Zadaniem dzielnika jest zmniejszenie sygnału wejściowego do wartości zależnej od czułości wzmacniacza i wymaganej wysokości obrazu na ekranie. Pokrętko płynnej regulacji wzmocnienia umożliwia uzyskanie obrazu przebiegu o dogodnej do obserwacji wysokości.

Realizuje się oscyloskopy wielokanałowe do równoczesnego obserwowania większej liczby niezależnych sygnałów. Typowe są oscyloskopy dwukanałowe. Wielokanałowość realizuje się za pomocą komutacji sygnałów wejściowych. Przełącznik elektroniczny przełącza sygnał z kilku (na rys. 1 z dwóch) wzmacniaczy wejściowych na jeden wspólny tor sterujący lampą oscyloskopową.

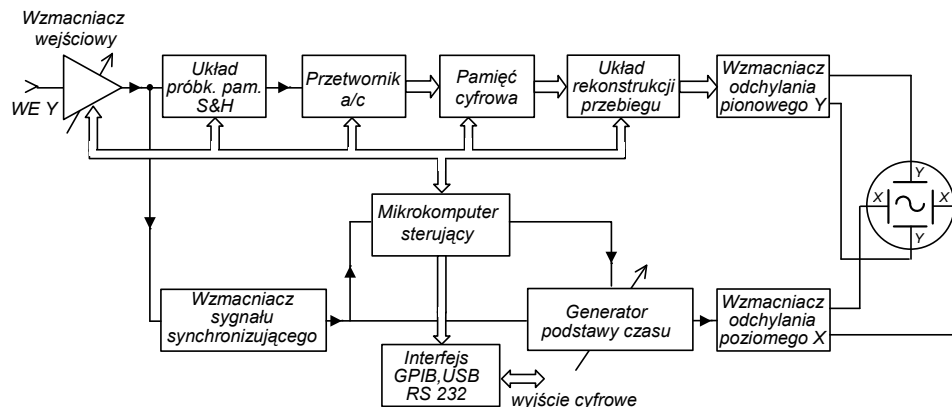
Opis pracy przełącznika elektronicznego przedstawiony będzie w dalszej części wprowadzenia. W torze wspólnym kanału Y znajduje się linia opóźniająca i wzmacniacz sterujący symetrycznie płytki odchylenia pionowego lampy oscyloskopowej. Pokrętko przesuwu ustala położenie obrazu na ekranie w kierunku pionowym oddzielnie dla każdego kanału w dogodnym miejscu ekranu.

Z każdego kanału Y może być pobrany mierzony sygnał, którego zadaniem jest uzyskanie synchronizacji podstawy czasu z mierzonym przebiegiem. Sygnał synchronizujący steruje układy wyzwalania i generacji podstawy czasu. Układ podstawy czasu generuje piłokształtne napięcie liniowo narastające. Napięcie to po wzmocnieniu we wzmacniaczu odchylenia poziomego X steruje symetrycznie płytki odchylenia X lampy oscyloskopowej.



Rys. 1. Schemat blokowy oscyloskopu dwukanałowego

Obecnie coraz powszechniejsze zastosowanie znajdują oscyloskopy cyfrowe. Uproszczony schemat oscyloskopu cyfrowego przedstawiony jest na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy oscyloskopu cyfrowego

Badany przebieg jest doprowadzony do wzmacniacza wejściowego, zawierającego tłumiki, układy zmiany sprzężenia (wejście zmiennie lub stałoprądowe) i przesuwu pionowego.

Sygnał ze wzmacniacza wejściowego podawany jest na układ próbkująco-pamiętający S&H (ang. *sample and hold*). W układzie S&H zostaje pobrana i zapamiętana analogowa wartość chwilowa przebiegu w chwili jego próbkowania. O chwili próbkowania i częstotliwości próbkowania decyduje układ sterowania zrealizowany najczęściej w postaci mikrokomputera.

Zapamiętana w postaci analogowej w układzie S&H wartość chwilowa przebiegu zostaje następnie przetworzona na słowo cyfrowe w przetworniku analogowo-cyfrowym (a/c). Liczba bitów w słowie decyduje o rozdzielczości w pionie oscyloskopu cyfrowego. Najczęściej stosowane jest słowo 8 bitowe.

Słowo cyfrowe, odpowiadające jednej pobranej próbce przebiegu, zostaje zapamiętane w pamięci. W celu zapamiętania całego przebiegu należy pobrać wiele próbek w odstępach czasu wynikających z częstotliwości próbkowania. Liczba próbek na jaką został podzielony przebieg nosi nazwę rekordu.

Zapamiętany przebieg, po pobraniu go z pamięci cyfrowej, steruje układem rekonstrukcji przebiegu. Podstawowym elementem tego układu jest przetwornik cyfrowo-analogowy. Na ekranie lampy oscyloskopowej uzyskujemy obraz przebiegu w postaci kropek, o których położeniu w kierunku pionowym decyduje przetwornik cyfrowo-analogowy, a w kierunku osi poziomej generator podstawy czasu.

Mierzony przebieg może być zamrożony na stałe w pamięci i pomimo odłączenia sygnału od wejścia oscyloskopu może być odtwarzany dowolnie długo na ekranie. Możliwe jest również uzyskanie obrazu aktywnego (tzw. praca z odświeżaniem) przez okresowe kasowanie zawartości pamięci i ponowne jej wypełnianie sygnałem o aktualnym kształcie.

Wzmacniacz sygnału synchronizującego pobiera sygnał mierzony w postaci analogowej i przesyła do mikrokomputera sterującego i generatora podstawy czasu w celu zsynchronizowania ich pracy z badanym przebiegiem.

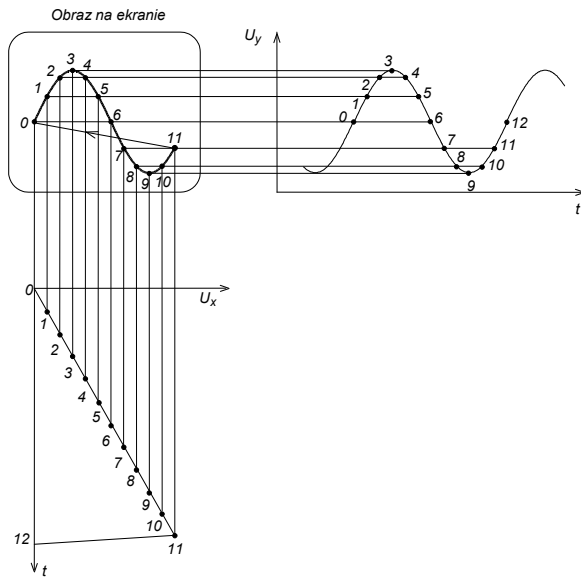
Oprócz możliwości bezpośredniego oglądania przebiegów na ekranie oscyloskop cyfrowy pozwala na przesłanie ich w postaci cyfrowej poprzez interfejs do dalszej obróbki i analizy. Interfejs taki pozwala również na zdalne sterowanie nastawami oscyloskopu i organizację pobierania próbek (ilość próbek w rekordzie, moment rozpoczęcia próbkowania, ilość zarejestrowanych rekordów). Najczęściej wykorzystywany w tym celu jest interfejs RS 232, USB i GPIB.

Obserwacja napięcia zmiennego na ekranie lampy wymaga jednoczesnego oddziaływania na strumień elektronów dwu sił. Odchylenie plamki w kierunku pionowym jest proporcjonalne do napięcia mierzonego (dołączonego do wejścia Y), a odchylenie plamki w kierunku poziomym musi być wprost proporcjonalne do czasu, co uzyskuje się przez doprowadzenie do płytek X napięcia narastającego liniowo w funkcji czasu.

Ponieważ ekran ma skończone wymiary, dlatego plamka po dojściu do prawego skrajnego pola ekranu musi powrócić z powrotem, a napięcie odchyłające powinno zmaleć do swej wartości początkowej. Wytworzony w ten sposób sygnał jest piłokształtny. Zasadę powstawania obrazu na ekranie pokazano na rys. 3.

Liniowo narastające napięcie przesuwają plamkę w prawo wzdłuż osi X. Ruch powrotny plamki odbywa się ze skończoną prędkością, co mogłoby spowodować rysowanie na ekranie rozciągniętego w czasie fragmentu przebiegu.

Aby temu zapobiec, w czasie trwania ruchu powrotnego plamki, do siatki lampy oscyloskopowej doprowadza się ujemny impuls wygaszający strumień elektronów.



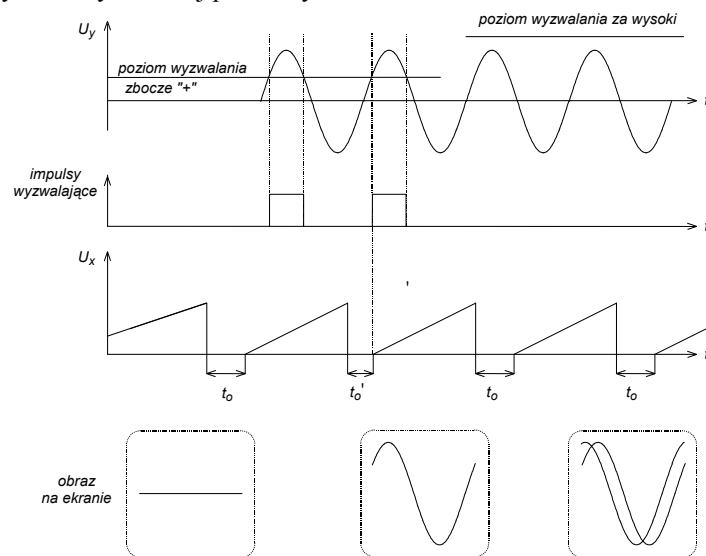
Rys. 3. Powstawanie obrazu na ekranie przy sterowaniu płytek X napięciem piłokształtnym, płytek Y napięciem sinusoidalnym

### 2.1.2. Synchronizacja obrazu

Aby obraz na ekranie mógł być obserwowany, powinien pojawiać się wielokrotnie w tym samym miejscu, a więc napięcie piłokształtne musi powtarzać się zgodnie z mierzonym sygnałem. Zgodność wzajemnego położenia napięcia podstawy czasu i sygnału jest warunkiem koniecznym do nałożenia na siebie kolejnych obrazów, a co za tym idzie powstania nieruchomego (dla oka) obrazu na ekranie. Tę zgodność zapewniają w oscyloskopie układy synchronizacji.

Synchronizowanie polega na oddziaływaniu sygnału synchronizującego na częstotliwość powtarzania generowanego napięcia podstawy czasu. W wyniku takiego oddziaływania zapewnia się zrównanie lub stałą krotność częstotliwości powtarzania generowanego napięcia podstawy czasu z częstotliwością przebiegu synchronizującego. Są dwa rodzaje wyzwalania układu generatora podstawy czasu: automatyczne i normalne.

W pierwszym przypadku generator podstawy czasu pracuje w sposób ciągły. Generuje napięcie piłokształtne również wtedy, gdy do jego wejścia nie dochodzą impulsy z układu formowania impulsów synchronizacji. Rys. 4 ilustruje działanie automatycznie wyzwalanej podstawy czasu.



Rys. 4. Ilustracja działania oscyloskopu przy automatycznie wyzwalanej podstawie czasu

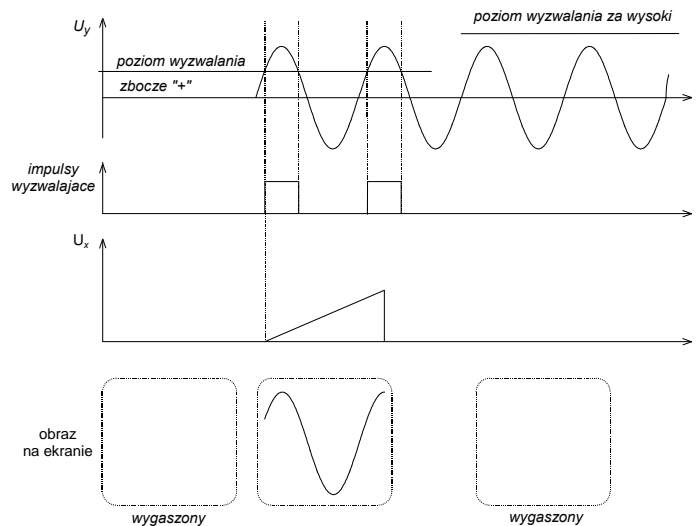
W przypadku braku sygnału  $U_y$  plamka rysuje linię poziomą na osi X z prędkością zadaną przez nastawę współczynnika czasu [s/cm]. Po dołączeniu sygnału  $U_y$  pojawiają się na wejściu generatora impulsy wyzwalające, które przestrajają częstotliwość generatora do wartości, dla której zachodzi synchronizacja przez wymuszenie

krótszego czasu oczekiwania  $t_0'$  między cyklami roboczymi generatora podstawy czasu. Nieprawidłowe ustawienie poziomu wyzwania powoduje brak efektu synchronizacji.

Synchronizację tego rodzaju stosuje się przede wszystkim podczas przygotowania oscyloskopu do pomiarów w celu wytworzenia obrazu na ekranie i ustalenia jego wymiarów. Ten tryb synchronizacji jest możliwy do wykorzystania tylko dla obserwacji przebiegów okresowych.

Ważną właściwością generatora podstawy czasu jest to, że jest on nieczuły na impulsy wyzwalające podczas trwania cyklu roboczego oraz że nie mają one wpływu na czas narastania napięcia piłokształtnego. Te właściwości generatora obowiązują również podczas wyzwania normalnego.

W trybie pracy normalnie wyzwanej generator podstawy czasu generuje jeden cykl roboczy tylko po otrzymaniu impulsu wyzwalającego. W czasie nieobecności sygnału  $U_y$  podstawa czasu nie pracuje i plamka świetlna znajduje się z lewej strony ekranu w stanie oczekiwania (wygaszenia). Zasadę działania normalnie wyzwanej podstawy czasu ilustruje rys. 5.



Rys. 5. Zasada działania oscyloskopu przy normalnie wyzwanej podstawie czasu

Przychodzący sygnał wytwarza impuls, który wyzwala jednorazowo podstawę czasu. Wybór dogodnego punktu na mierzonym przebiegu, od którego chcemy, by nastąpiło wyzwianie podstawy czasu, jest uzależniony od poziomu wyzwania i stanu przełącznika wyboru zbrocza. W położeniu "+" przełącznika wyboru zbrocza podstawa czasu będzie wyzwana narastającym zbroczem przebiegu, a w położeniu "-" zbroczem opadającym przebiegu. Normalnie wyzwana podstawa czasu umożliwia obserwację dowolnego przebiegu: okresowego, nieokresowego, pojedynczego impulsu itp.

Start podstawy czasu na skutek skończonej bezwładności układów elektronicznych następuje z pewnym opóźnieniem w stosunku do sygnału synchronizującego. Jeżeli przebiegiem badanym jest impuls o krótkim czasie narastania, to plamka na ekranie startująca z opóźnieniem nie narysuje przedniego zbrocza impulsu.

Aby uzyskać pełny obraz, należy badany przebieg doprowadzić do płytek Y z opóźnieniem większym niż opóźnienie startu podstawy czasu i opóźnienie wprowadzane przez wzmacniacz X. Uzyskuje się to przez dodanie przed wzmacniaczem odchylenia pionowej linii opóźniającej, o czasie opóźnienia ok.  $0,1 \div 0,2 \mu s$ .

Wadą omówionego trybu wyzwania jest brak obrazu przy braku sygnału  $U_y$ , ale również przy nieodpowiednim, zbyt wysokim (niskim) poziomie wyzwania.

Sygnał synchronizujący w układzie formowania przyjmuje postać impulsów synchronizujących. Zależnie od źródła sygnału synchronizującego rozróżnia się synchronizację wewnętrzną, zewnętrzną, 50 Hz (z sieci energetycznej). Wewnętrzna oznacza doprowadzenie sygnału synchronizującego z toru Y1 lub Y2 (odgaślenie wewnątrz oscyloskopu). Zewnętrzna synchronizacja musi korzystać z sygnału związanego ze źródłem badanym, lecz doprowadzona jest osobnym przewodem.

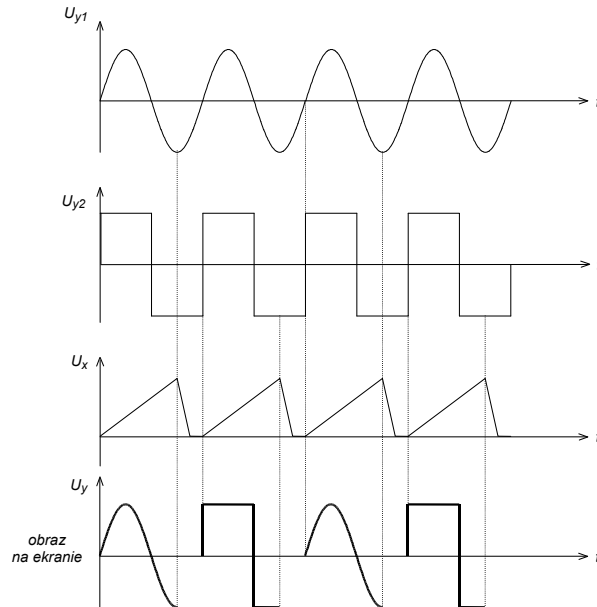
### 2.1.3. Jednoczesna obserwacja wielu przebiegów na ekranie

Przy pomiarach skomplikowanych urządzeń elektronicznych często zachodzi konieczność jednoczesnej obserwacji dwu lub więcej przebiegów. Możliwe jest to, jak już wcześniej wspomniano, przy zastosowaniu oscyloskopu z przełącznikiem elektronicznym. Przełącznik elektroniczny przełącza sygnały z kilku wzmacniaczy wejściowych (na rys. 1 z dwóch) na jeden wspólny tor sterujący płytkami Y lampy oscyloskopowej. Najbardziej popularny jest układ przełącznika dwukanałowego i taki zostanie niżej omówiony.

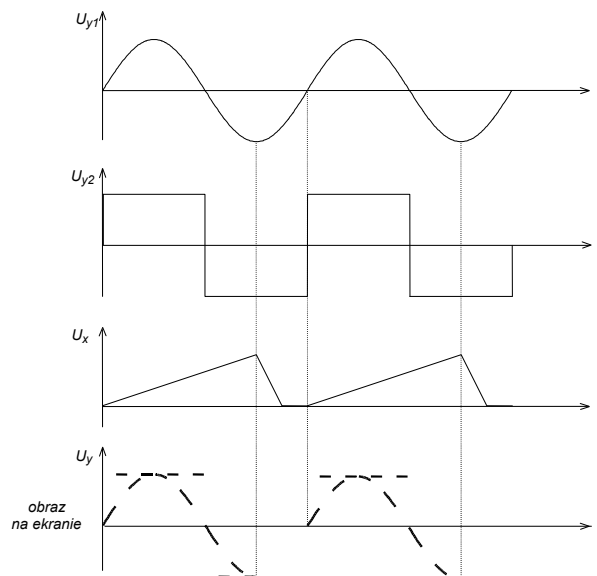
Przełącznik może mieć dwa tryby pracy:

- praca przemienna (alternating)
- praca siekana (chopped)

W sposobie pierwszym przełączanie kanałów zachodzi w czasie ruchu powrotnego plamki na ekranie i odbywa się z każdym ruchem powrotnym plamki. Podstawa czasu rysuje zatem na ekranie cały przebieg z toru Y1, a następnie z toru Y2. Obraz obu przebiegów powstaje na przemian. Dzięki bezwładności oka ludzkiego obrazy "nakładają się" i są odbierane jako równoczesne. Rys. 6 ilustruje tryb pracy przemiennej. Ten rodzaj pracy jest możliwy tylko przy przebiegach periodycznych. Częstotliwość powtarzania każdego obrazu na ekranie jest dwukrotnie mniejsza niż w przypadku pracy jednokanałowej. Dlatego przy badanych przebiegach małej częstotliwości powstaje migotanie obrazu.



Rys. 6. Ilustracja pracy przełącznika elektronicznego w oscyloskopie dwukanałowym w trybie przemiennej



Rys. 7. Ilustracja pracy przełącznika elektronicznego w oscyloskopie dwukanałowym w trybie siekanym

Wady tej pozbawiona jest praca siekana, polegająca na tym, że przełącznik elektroniczny przełącza się wielokrotnie w trakcie trwania przebiegu liniowej podstawy czasu. Rys. 7 ilustruje tryb pracy siekanej. Ponieważ przełączanie nie jest synchroniczne z podstawą czasu, dlatego nałożone na siebie posiekane obrazy zakrywają przerwy.

Tryb pracy siekanej stosuje się w dwóch przypadkach: przy pomiarze sygnałów o małej częstotliwości, w celu zmniejszenia migotania obrazu, oraz przy obserwacji dwu przebiegów jednorazowych (nieokresowych). Typowa wartość częstotliwości przełączania przy pracy siekanej wynosi od setek kHz do kilku MHz.

Oscyloskopy z dwoma kanałami Y (wzmacniaczami) mają możliwość sumowania lub odejmowania algebraicznego obu przebiegów.

Typowe są następujące rodzaje pracy:

- pracuje tylko kanał **Y1**. Przełącznik elektroniczny ustawiony jest w pozycji 1 (rys. 1);
- pracuje tylko kanał **Y2**. Przełącznik elektroniczny ustawiony jest w pozycji 2;
- na ekranie ogląda się jeden obraz, który jest sumą lub różnicą przebiegów wejściowych z toru Y1 i Y2 ( $\pm Y1 \pm Y2$ ).

## 2.2. Opis oscyloskopu analogowego HM 303-6

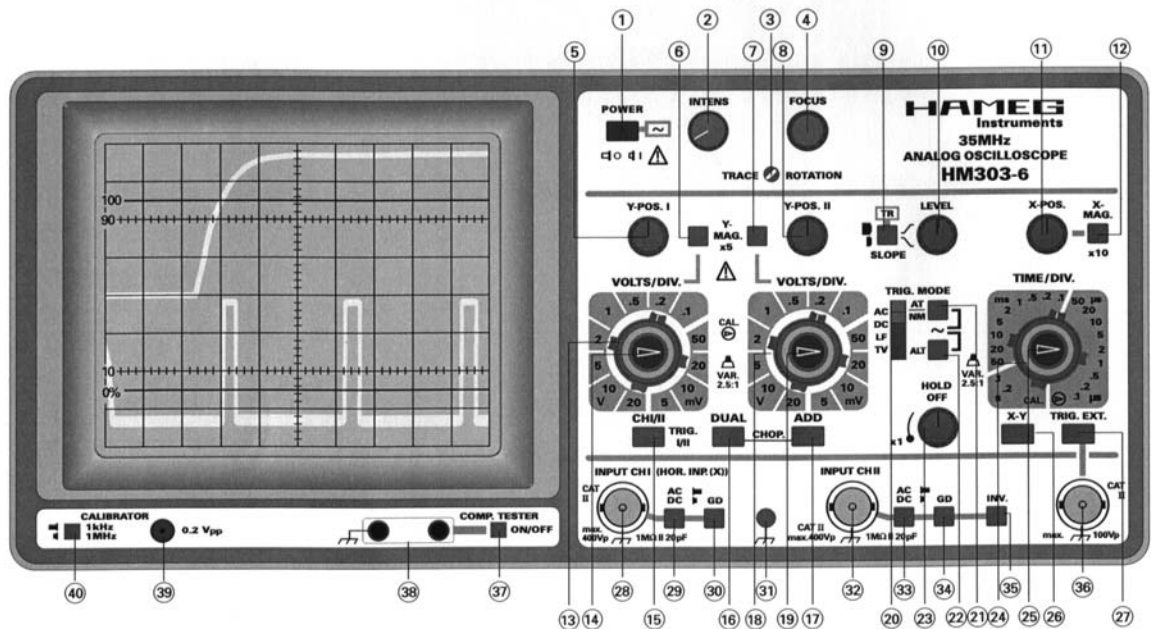
Przyrząd HM303-6 firmy Hameg jest popularnym dwukanałowym oscyloskopem analogowym. Oscyloskop posiada 3 dB pasmo przenoszenia 35 MHz, podstawę czasu regulowaną płynnie i skokowo w zakresie od 0,1  $\mu\text{s}/\text{cm}$  do 0,2 s/cm oraz dodatkowo wzmacniacz odchylenia poziomego x 10.

Wzmacniacz odchylenia pionowego zapewnia płynną i skokową regulację wzmocnienia w zakresie od 5 mV/cm do 20 V/cm oraz dodatkowo umożliwia wzmocnienie odchylenia pionowego x 5.

Układ wyzwalania oscyloskopu zapewnia stabilne wyzwalanie przebiegów o niskim poziomie (od 0,5 działki) i częstotliwości do ponad 100 MHz.

Oscyloskop wyposażony jest w rzadko spotykany w tego typu urządzeniach tester elementów elektronicznych. Tester pozwala na szybkie sprawdzenie rezystorów, kondensatorów, cewek indukcyjnych, diod i tranzystorów. Sprawdzenie odbywa się na zasadzie pobudzenia badanego elementu przebiegiem z wbudowanego do oscyloskopu generatora sinusoidalnego i wyświetlaniu na ekranie jego charakterystyki napięciowo-prądowej.

Wygląd płyty czołowej oscyloskopu przedstawiono na rys. 8. Poszczególne pokręta i przyciski oscyloskopu zgrupowano w blokach tematycznych.



Rys. 8. Wygląd płyty czołowej oscyloskopu HM303-6

Poniżej przedstawiono opis elementów wyszczególnionych na płycie czołowej:

1. **POWER** – włącznik zasilania.
2. **INTENS** – pokrętko regulacji jasności.
3. **TRACE ROTATION** – korekcja nachylenia linii zerowej.
4. **FOCUS** – pokrętko regulacji ostrości.
5. **Y-POS. I** pokrętko przesuwu w pionie kanału **CH1**.
- 6, 7. **Y-MAG. x5** – przełączniki włączania 5-krotnego dodatkowego wzmocnienia w kanałach Y; przy wciśniętym przycisku maksymalna czułość odchylenia pionowego wynosi 1 mV/cm.
8. **Y-POS. II** pokrętko przesuwu w pionie kanału **CH2**.
9. **SLOPE** – przełącznik wyboru zbocza wyzwalania; przycisk wciśnięty zbocze narastające, wciśnięty opadające. Umieszczona nad przyciskiem **SLOPE** dioda LED **TR** informuje, że sygnał wyzwalający osiągnął odpowiednią amplitudę, i nastąpiło wyzwolenie podstawy czasu.
10. **LEVEL** – pokrętko regulacji poziomu wyzwalania.
11. **X-POS.** – pokrętko regulacji położenia w poziomie.
12. **X-MAG.x10** – przełącznik włączania 10-krotnego rozciągu w osi X, przy wciśniętym przycisku maksymalna rozdzielczość 10 ns/dz.
- 13, 18. **VOLTS/DIV.** – pokręta skokowego wyboru stałych napięciowej wzmacniacza odchylenia pionowego.

- 14, 19. **VAR. GAIN** – pokrętła płynnej regulacji wzmacnienia w kanale **CH1** i **CH2**. W celu uzyskania wartości stałej napięciowej opisanej na pokrętkach (13), (18) pokrętła płynnej regulacji powinny być ustawione w położeniu kalibrowanym – skrócone w prawo do oporu.
  15. **CHI/II** – przełącznik wyboru kanału. Przy pracy jednokanałowej: przełącznik wyciśnięty – wybrany kanał **CH1** i wyzwalamie kanałem **CH1**, przełącznik wciśnięty wybrany kanał **CH2** i wyzwalamie kanałem **CH2**. Przy pracy dwukanałowej wybór odpowiednio źródła wyzwalamia.
  16. **DUAL** – przełącznik włączenia pracy dwukanałowej. Przy wciśniętym przełączniku praca dwukanałowa w trybie przemiennym **ALT**. Łączne wciśnięcie przełącznika **DUAL** i **ADD** - praca dwukanałowa w trybie siekanym **CHOP**.
  17. **ADD** – przełącznik włączenia pracy sumacyjnej.
  20. **TRIG. MODE** – przełącznik wyboru wyzwalamia podstawy czasu:
    - AC**: 10 Hz – 100 MHz,
    - DC**: 0 – 100 MHz,
    - LF**: 0 – 1.5 kHz,
    - TV**: wyzwalamie impulsami synchronizacji linii i ramki sygnału TV
    - ~: wyzwalamie przebiegiem sieci energetycznej (wciśnięte jednocześnie przyciski **AT/NM** i **ALT**).
  21. **AT/NM** – przełącznik wyboru trybu pracy podstawy czasu. Przełącznik wyciśnięty wyzwalamie automatyczne, przełącznik wciśnięty wyzwalamie normalne z regulacją poziomu wyzwalamia.
  22. **ALT** – przełącznik włączania wyzwalamia podstawy czasu na przemian sygnałami kanału **CH1** i **CH2**, aktywny tylko w trybie pracy dwukanałowej **DUAL**.
  23. **HOLD OFF** – pokrętło płynnej regulacji czasu podtrzymania między kolejnymi cyklami podstawy czasu. W położeniu podstawowym (normalny czas podtrzymania) pokrętło skrócono w lewo do oporu.
  24. **TIME/DIV** - pokrętło skokowego wyboru wartości współczynnika podstawy czasu.
  25. **Variable time base control** – pokrętło płynnej regulacji podstawy czasu. W celu uzyskania wartości współczynnika podstawy czasu opisanej na pokrętkę (24) pokrętło płynnej regulacji powinno być ustawione w położeniu kalibrowanym – skrócone w prawo do oporu.
  26. **X-Y** – przełącznik włączania trybu **XY** odchylenia (podstawa czasu nie pracuje). Odchylenie plamki w osi **X** sygnałem kanału **CH1**.
- UWAGA!** *Przy braku sygnału w trybie XY jest niebezpieczeństwo wypalenia luminoforu przy zbyt dużej jaskrawości !*
27. **TRIG. EXT.** – przełącznik włączania wyzwalamia zewnętrznego. Przełącznik wciśnięty - wyzwalamie sygnałem podanym na gniazdo wyzwalamia zewnętrznego (36), przełącznik wyciśnięty wyzwalamie wewnętrzne.
  - 28, 32. **INPUT CH1, INPUT CHII** - wejścia odpowiednio kanału **CH1** i **CH2**.
  - 29, 33. **AC/DC** – przełącznik rodzaju sprzężenia sygnału wejściowego odpowiednio kanału **CH1** i **CH2**. Przełącznik wciśnięty - sprzężenie bezpośrednio **DC**, wyciśnięty sprzężenie przez kondensator **AC**.
  - 30, 34. **GD** – przełączniki odłączania sygnału odpowiednio dla kanału **CH1** i **CH2**. Wejście wzmacniacza odchylenia pionowego na potencjale masy.
  35. **INV** – przełącznik odwracania fazy przebiegu z kanału **CH2**. W trybie pracy **ADD** umożliwia obserwowanie różnicy przebiegów w kanałach **CH1** i **CH2**.
  36. **TRIG. EXT** – gniazdo BNC, wejście sygnału synchronizacji zewnętrznej.
  37. **COMP. TESTER** – przełącznik włączania trybu testera elementów. Przełącznik wciśnięty - testowanie elementów, wyciśnięty - praca przyrządu w charakterze oscyloskopu.
  38. **COMP. TESTER** – gniazdo służące do podłączenia elementów testowanych za pomocą testera.
  39. **CALIBRATOR 0.2 V<sub>pp</sub>** – wyjście sygnału kalibratora (fala prostokątna o amplitudzie 0.2 V<sub>pp</sub>).
  40. **CALIBRATOR 1kHz/1MHz** – wybór częstotliwości sygnału kalibratora. Przełącznik wciśnięty wybrany przebieg o częstotliwości 1MHz, wyciśnięty 1kHz.

### 2.2.1. Rozpoczęcie pracy z oscyloskopem

Przed rozpoczęciem pracy zaleca się:

- wyciśnięcie wszystkich przełączników,
- ustawienie pokręteł płynnej regulacji wzmacnienia (14), (19) w prawej skrajnej pozycji,
- ustawienie pokręteł płynnej regulacji podstawy czasu (25) w prawej skrajnej pozycji,
- ustawienie pokręteł płynnej regulacji czasu podtrzymania **HOLD OFF** (23) w lewej skrajnej pozycji,
- ustawienie pozostałych pokręteł w środkowej pozycji (markery na gałkach w pozycji pionowej).

Po włączeniu oscyloskopu przyciskiem **POWER** (1) po ok. 10 s powinna pojawić się na ekranie linia zerowa. Ustawić pokrętkę **FOCUS** (4) ostrość a następnie pokrętkę **INTENS** (2) żadaną jaskrawość. Pokrętkami **Y-POS. I** (5) i **X-POS.** (11) ustawić linię zerową na środku ekranu. Dołączyć badany sygnał do oscyloskopu.

### 2.2.2 Kanały oscyloskopu

Sygnały mierzone doprowadza się do gniazd wejściowych BNC oznaczonych **INPUT CH1 (28)**, **INPUT CHII (32)** odpowiednio dla kanału **CH1** i **CH2**.

Zmiana położenia przebiegów na ekranie w pionie jest możliwa dzięki pokrętlom **Y-POS. I (5)** oraz **Y-POS. II (8)**. Zmianę położenia ekranu w poziomie uzyskujemy za pomocą pokrętła **X-POS. (11)**.

Stałą napięciową w kanale **CH1** i **CH2** zmienia się za pomocą przełączników **VOLTS/DIV (13)**, **(18)**.

Rodzaj sprzężenia wzmacniacza wejściowego oscyloskopu z gniazdem wejściowym wybierany jest za pomocą przełącznika **AC/DC (29)** i **(33)** odpowiednio dla kanałów **CH1** i **CH2**. Odłączenie sygnału badanego od oscyloskopu i wyświetlenie linii zerowej następuje po naciśnięciu przełącznika **GD (30)** i **(34)** odpowiednio dla kanałów **CH1** i **CH2**.

Przy pracy jednokanałowej wyboru kanału dokonuje się za pomocą przełącznika **CHI/II (15)**. Przy przełączniku wyciśniętym (tzn. nie wciśniętym) jest wybrany kanał **CH1** i wyzwalamie podstawy czasu następuje sygnałem z kanału **CH1**. Dla przełącznika wciśniętego wybrany jest kanał **CH2** i wyzwalamie podstawy czasu kanałem **CH2**.

Dla pracy dwukanałowej powinien być wciśnięty przełącznik **DUAL (16)**. Przełączanie kanałów odbywa się w trybie przemiennym **ALT**. Łączne wciśnięcie przełączników **DUAL** i **ADD** powoduje pracę dwukanałową w trybie siekanym **CHOP**.

Tryb sumacyjny wybiera się przez wciśnięcie przełącznika **ADD**. W trybie sumacyjnym suma sygnałów z kanału **CH1** i **CH2** wyświetlana jest w postaci jednego przebiegu. Przesuwanie linii zerowej w trybie sumacyjnym można wykonać zarówno za pomocą pokrętła **Y-POS. I (5)** jak i **Y-POS. II (8)**.

### 2.2.3 Podstawa czasu

Nastawę współczynnika podstawy czasu dokonuje się pokrętlą **TIME/DIV (24)**.

Możliwe są następujące rodzaje źródła synchronizacji podstawy czasu:

- synchronizacja przebiegiem z kanału **CH1**, wyciśnięty przełącznik **CHI/II (15)**,
- synchronizacja przebiegiem z kanału **CH2**, wciśnięty przełącznik **CHI/II (15)**,
- synchronizacja częstotliwością sieci energetycznej, wciśnięty jednocześnie **AT/NM (21)** i **ALT (22)**,
- synchronizacja przebiegiem dołączonym do wejścia **TRIG. EXT (36)**.

Przełącznik **AT/NM (21)** przełącza układ wyzwalamia pomiędzy dwoma rodzajami pracy **NORMALNYM** i **AUTOMATYCZNYM**. Przy wybranym normalnym wyzwalamiu (przełącznik **AT/NM** wciśnięty) układ podstawy czasu uruchamiany jest tylko wtedy, gdy do wejścia dołączone są sygnały spełniające ustawione warunki wyzwalamia. Brak takich sygnałów powoduje, że na ekranie nie ma żadnego obrazu. Wybór automatycznego wyzwalamia (przełącznik **AT/NM** wyciśnięty) powoduje, że oscyloskop automatycznie generuje sygnał wyzwalamiający podstawę czasu, przez co na ekranie nawet przy braku sygnału kreślona jest linia pozioma.

Pokrętko **LEVEL (10)** pozwala ustawić poziom, przy przekroczeniu którego następuje wyzwolenie układu podstawy czasu.

Dioda LED **TR** umieszczona nad przyciskiem **SLOPE (9)** jest wskaźnikiem otrzymywania przez układ wyzwalamia oscyloskopu impulsów, które odpowiadają ustawionym kryteriom wyzwalamia. Dioda ta jest rozświetlana na okres kilkuset milisekund po otrzymaniu każdego impulsu spełniającego warunki wyzwalamia.

Wybór zbrocza wyzwalamia następuje przełącznikiem **SLOPE (9)**.

Wyboru rodzaju sprzężenia sygnałów wyzwalamia z układem wyzwalamia dokonuje się za pomocą przełącznika **TRIG. MODE (20)**:

**AC** – sprzężenie pojemnościowe AC, eliminowana jest składowa stała,

**DC** – sprzężenie bezpośrednie DC,

**LF** – sprzężenie przez filtr górnoprzepustowy,

**TV** – wyzwolenie sygnałem TV.

### 2.3. Opis oscyloskopu cyfrowego TDO2062B

Oscyloskop TDO2062B jest dwukanałowym oscyloskopem cyfrowym o paśmie 60 MHz i maksymalnej częstotliwości próbkowania 1GSa/s. Przyrząd wyposażony jest w kolorowy ekran LCD o rozdzielczości 320x240 i przekątnej 15 cm.

Funkcja automatycznego skalowania **AUTOSET** pozwala szybko wyświetlić dowolny przebieg automatycznie dobierając optymalne nastawy oscyloskopu. Zaawansowane opcje wyzwalamia pozwalają na tryb wyzwalamia automatycznego, wyzwalamia zbroczem, szerokością impulsu, bądź też liniami sygnału wizyjnego.

Przyrząd posiada możliwość pomiarów za pomocą kursorów oraz funkcje pomiarów automatycznych przebiegów okresowych, pozwalającą na szybkie pomierzenie i wyświetlenie do 24 parametrów przebiegu na ekranie (m.in. wartość skuteczna, średnia, maksymalna i minimalna napięcia, częstotliwość, okres, współczynnik wypełnienia, szerokość impulsów, czasy narastania i opadania).

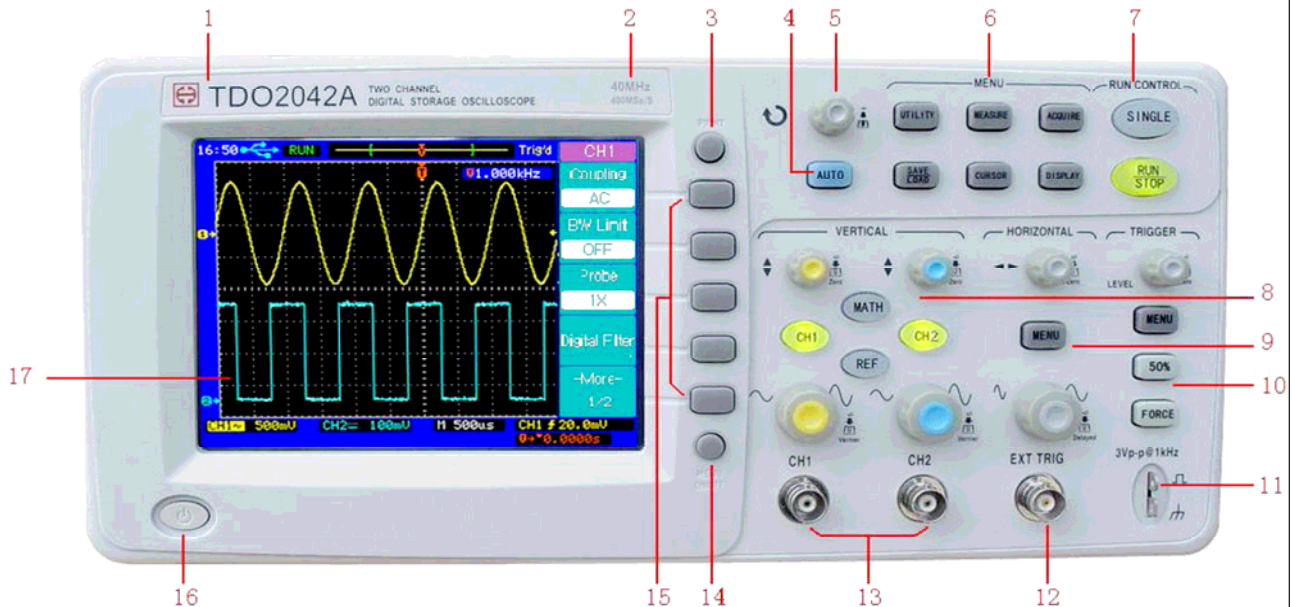
Wbudowane funkcje matematyczne pozwalają na dodawanie, odejmowanie i mnożenie przebiegów oraz na analizę FFT. Możliwe jest również automatyczne porównywanie przebiegów z zadanymi granicami tolerancji.



Oglądany obraz można zapisać poprzez znajdujące się na płycie czołowej gniazdo USB po podłączeniu pamięci masowej (pendrive) w formacie Excela CSV lub plików BMP ze zrzutami ekranu. Możliwe jest również bezpośrednie wydrukowanie zrzutu ekranu na drukarce wyposażonej w złącze USB.

Oscyloskop jest przystosowany do współpracy z komputerem PC. Dzięki dołączonemu oprogramowaniu oraz kablowi USB pomiary mogą być prowadzone za pomocą komputera; na ekranie komputera wyświetlana jest wirtualna płyta czołowa oscyloskopu, a jego obsługa przebiega podobnie do obsługi ręcznej. Oscyloskop dysponuje pamięcią wewnętrzną, do której można zapisywać dane pomiarowe oraz pliki konfiguracji.

Wygląd płyty czołowej oscyloskopów serii TDO 2000 przedstawiono na rys. 9. Poszczególne pokrętki i przyciski oscyloskopu zgrupowano w 5 blokach tematycznych: **MENU**, **RUN/CONTROL**, **VERTICAL**, **HORIZONTAL**, **TRIGGER**.



Rys. 9. Wygląd płyty czołowej oscyloskopów serii TDO2000



Wykorzystywany w ćwiczeniu oscyloskop TDO2062B dodatkowo na płycie czołowej ma umieszczone gniazdo USB. Poniżej przedstawiono opis elementów wyszczególnionych na płycie czołowej:

1. **Znak firmowy i oznaczenie modelu.**

2. **Pasmo i próbkowanie** - określa wartości parametrów danego oscyloskopu – pasmo oraz maksymalną częstotliwość próbkowania.

3. **PRINT** – wciśnięcie tego przycisku powoduje wydruk aktualnego przebiegu przez podłączoną drukarkę USB lub zapisuje przebieg w podłączonej pamięci masowej USB (pendrive).

4. **AUTO** – uruchomienie automatycznego skalowania **AUTOSET**. Wciśnięcie tego przycisku powoduje ustalenie, do których kanałów doprowadzony jest sygnał, a następnie ustawienie optymalnej do doprowadzonych sygnałów podstawy czasu, wzmocnienia oraz warunków wyzwania.

5. **Pokrętko wyboru**  - pokrętko to służy do wyboru elementów menu oraz do wprowadzania określonych wartości. Jego właściwości zmieniają się w zależności od wyświetlanego menu. Pokrętko to jest aktywne gdy symbol  na płycie czołowej jest podświetlony.

6. **MENU** - wciśnięcie jednego z klawiszy menu na płycie czołowej spowoduje wyświetlenie menu kontekstowego w prawej części ekranu. Menu to pokazuje opcje, do których dostęp możliwy jest po wciśnięciu klawiszy funkcyjnych po prawej stronie ekranu. Na płycie czołowej znajduje się 6 klawiszy menu:

**UTILITY** - dostęp do funkcji użytkowych, takich jak ustawienia językowe (**Language Setup**), ustawienia systemowe (**System Setup**), ustawienia drukowania (**Print Setup**) itp,

**MEASURE** - menu pomiarów automatycznych,

**ACQUIRE** - pozwala na ustawienie pobierania próbek w trybie **Normal**, **Peak Detect** (wykrywanie wartości szczytowych), **Average** (uśrednianie) oraz wybór pomiędzy próbkowaniem **Real Time** (próbkowanie w czasie rzeczywistym) lub **Equivalent** (ekwiwalentna podstawa czasu),

**SAVE/LOAD** - bieżące ustawienia i przebiegi można zapisać w wewnętrznej pamięci oscyloskopu lub podłączonej pamięci masowej USB a następnie w późniejszym czasie je odtworzyć,

**UWAGA!** W menu **SAVE/LOAD** opcja **FACTORY** pozwalana na przywrócenie fabrycznych nastaw oscyloskopu !

**CURSOR** - aktywuje menu kursorów pozwalając na pomiary w postaci cyfrowej parametrów napięciowych i czasowych badanych sygnałów,

**DISPLAY** - pozwala zmieniać nastawy wyświetlacza, wygląd przebiegów, kolor tła czy kontrast.


7. **RUN/CONTROL** - dwa przyciski **RUN/STOP** i **SINGLE** do sterowania podstawą czasu.

Przycisk **RUN/STOP** jest podświetlony na żółto, kiedy oscyloskop czeka na sygnał wyzwalający. Jeśli tryb wyzwalania ustawiony jest na normalny **Normal**, ekran nie będzie odświeżany, dopóki nie pojawi się zdarzenie wyzwalające. Jeśli wyzwalanie jest ustawione w tryb automatyczny **Auto**, oscyloskop czeka na sygnał wyzwalający i jeśli taki się nie pojawi, oscyloskop zostanie automatycznie wyzwolony po określonym czasie.

W celu zatrzymania akwizycji danych należy wcisnąć przycisk **RUN/STOP** – przycisk **RUN/STOP** podświetli się na czerwono. Zatrzymany przebieg jest gotowy do analizowania, przeglądania i powiększania/pomniejszania. powtórne przyciśnięcie przycisku **RUN/STOP** uruchamia powtórnie akwizycję danych – przycisk **RUN/STOP** podświetla się na żółto.

Wciśnięcie przycisku **SINGLE** przy wybranym wyzwalaniu podstawy **Normal** powoduje pojedynczą akwizycję danych. Przycisk będzie podświetlony na pomarańczowo, aż do chwili wyzwolenia, po wyzwoleniu podświetlenie zgaśnie. Przygotownie do następnej akwizycji wymaga powtórnego wciśnięcia przycisku **SINGLE**.



8. **VERTICAL** - grupa pokręteł i przycisków regulacji odchylenia pionowego.

Pokrętko regulacji pionowej  pozwala ustalać pozycję przebiegu, przesuwając go na ekranie w górę i w dół. Każdy z kanałów kontrolowany jest oddzielnym pokrętkiem.


Wciśnięcie przycisków **CH1** lub **CH2** powoduje włączanie/wyłączanie danego kanału oraz dostęp do ich menu za pomocą klawiszy funkcyjnych (15).



Wciśnięcie przycisku **MATH** włącza dostęp do operacji dodawania, odejmowania i mnożenia przebiegów oraz do szybkiej transformaty Fouriera **FFT** (Fast Fourier Transform).

Wciśnięcie przycisku **REF** powoduje zapisanie/załadowanie przebiegu odniesienia z wewnętrznej pamięci oscyloskopu lub z pamięci masowej USB.

Przy użyciu pokręteł   można zmieniać stałą napięciową **volt/div**.

9. **HORIZONTAL** - grupa pokręteł i przycisków odchylenia poziomego.

W trakcie pracy pokrętko regulacji poziomej  pozwala przesuwać okno akwizycji w stosunku do momentu wyzwolenia. Gdy rejestracja jest zatrzymana, pokrętko to pozwala przewijać przebieg w poziomie. Pozwala to obejrzeć kształt przebiegu przed i po wyzwoleniu.

Pokrętko  służy do zmian podstawy czasu. Podstawa czasu zmienia się w sekwencji 1-2-5. Aktualna wartość podstawy czasu jest wyświetlana w białym kolorze u dołu ekranu z indeksem **M** dla głównej podstawy czasu i indeksem **Z** dla opóźnionej podstawy czasu. Włączenie opóźnionej podstawy czasu następuje po naciśnięciu pokrętkła .

Wciśnięcie przycisku **MENU** otwiera dostęp do menu, dzięki któremu można podzielić ekran na dwie części – ekran główny i z opóźnioną podstawą czasu, wybrać tryb **X-Y** lub **Roll**, ustawić czas podtrzymania **Holdoff**.

10. **TRIGGER** - grupa pokręteł i przycisków pozwalająca regulować i zmieniać ustawienia wyzwalania podstawy czasu.

11. **Wyjścia sygnału kompensacji sond** - sygnał 3 Vpp 1kHz służący do kontroli dopasowania sond do obwodów wejściowych oscyloskopu.

12. **EXT TRIG** - gniazdo BNC do dołączenia zewnętrznego wyzwalania.

13. **CH1, CH2** – gniazda wejściowe BNC do dołączenia kanału **CH1** i **CH2**.

14. **MENU ON/OFF** – przycisk włączania/wyłączania wyświetlania menu po prawej stronie ekranu.

15. **Przyciski funkcyjne** (softkeys) menu wyświetlanego na ekranie. Po prawej stronie ekranu, na płycie czołowej, znajduje się 5 przycisków funkcyjnych, które używane są do kontrolowania funkcji i parametrów. Aktualne znaczenie każdego przycisku wyświetlane jest po jego lewej stronie.

16. **Wyłącznik sieciowy**.

17. **Ekran LCD** - wyświetla przebiegi rejestrowane z kanałów pomiarowych, informacje o ustawieniach, wyniki pomiarów oraz menu ekranowe związane z przyciskami funkcyjnymi.

Na ekranie oscyloskopu wyświetlone są przebiegi z kanałów, informacje o ustawieniach, wyniki pomiarów oraz menu ekranowe. Poszczególne elementy ekranu pokazane są na rys. 10.

1. Zegar czasu rzeczywistego.

2. Ikona USB wyświetlana w czasie podłączenia do oscyloskopu urządzenia USB.

3. Status akwizycji danych: **RUN** (rejestracja), **STOP**, **WAIT** (czekanie) oraz **ROLL** (przewijanie).

4. Nawiasy kwadratowe wskazują, który fragment zarejestrowanego przebiegu jest aktualnie wyświetlany na ekranie. Kolor paska rejestracji jest adekwatny do koloru danego przebiegu.

5. Marker wyzwolenia – wskazuje miejsce wyzwolenia na pasku rejestracji.

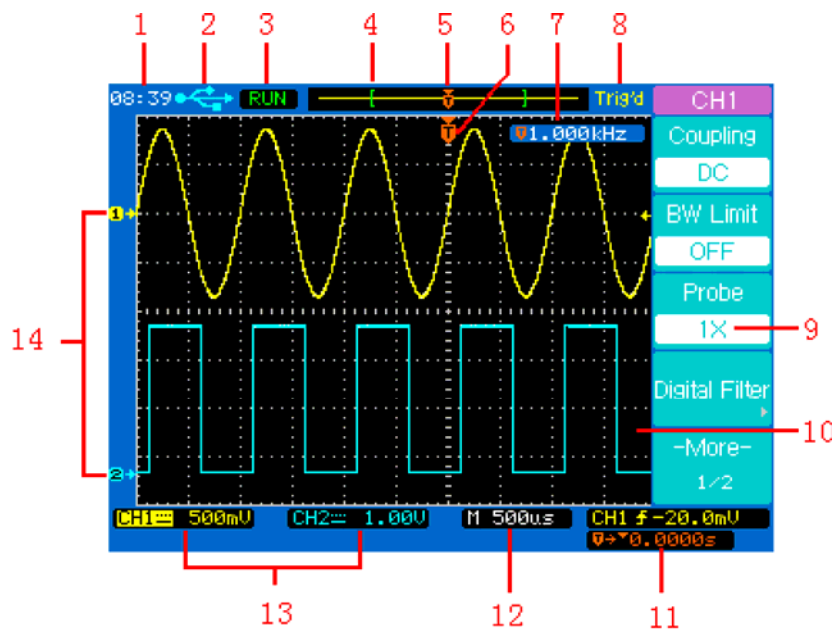
6. Ikona wyzwolenia – wskazuje miejsce wyzwolenia na aktualnie wyświetlanym przebiegu.

7. Odczyt częstotliwości sygnału wyzwalającego.

8. Status wyzwalania.

9. Menu ekranowe dla klawiszy funkcyjnych znajdujących się na prawo od ekranu na panelu przednim.

10. Powierzchnia, na której wyświetlane są przebiegi, znaczniki kanałów, poziom wyzwalania. Informacje dla każdego kanału wyświetlane są innym kolorem.



Rys. 10. Wygląd ekranu oscyloskopu TDO2062B

11. Wyświetlanie informacji o nastawie opóźnionej podstawy czasu, źródle wyzwalania, rodzaju i poziomie wyzwalania.
12. Wyświetlanie nastaw głównej lub opóźnionej podstawy czasu.
13. Wyświetlanie wzmocnienia kanału, rodzaju sprzężenia (DC, AC, GND), statusu włączenia filtra cyfrowego oraz statusu odwrócenia przebiegu.
14. Znaczniki linii zerowej – dla każdego kanału znacznik linii zerowej ma taki sam kolor jak kolor wyświetlanego przebiegu (żółty CH1, niebieski CH2).

### 2.3.1. Rozpoczęcie pracy z oscyloskopem

Rozpoczynając po raz pierwszy prace z oscyloskopem najwygodniej jest skorzystać z funkcji **Autoset**, która zapewnia automatyczne ustawienie regulacji odchylenia pionowego, poziomego oraz wyzwalania, tak by były one dopasowane do dołączonego przebiegu.

Funkcja **Autoset** włącza kanał jeżeli doprowadzony jest do niego sygnał okresowy o współczynniku wypełnienia większym niż 0,5% i amplitudzie powyżej 10 mV<sub>pp</sub>. Kanał niespełniający tych założeń pozostaje wyłączony. We włączonym kanale ustawiane są wzmocnienie, podstawa czasu oraz wyzwalanie zapewniające optymalne wyświetlanie obrazu na ekranie. W przypadku używania więcej niż jednego kanału, **Autoset** ustawia wzmocnienie indywidualnie dla każdego kanału, natomiast skalę czasu i wyzwalanie, wg kanału o najniższym numerze.

Funkcję **Autoset** uruchamia się wciskając przycisk **AUTO**. Aby ustawić wyświetlanie wielu okresów przebiegu należy wybrać z menu ekranowego funkcji **AUTO Multi-Cycle**, natomiast dla wyświetlania jednego okresu **Single Cycle**.

### 2.3.2 Kanały oscyloskopu

Sygnaly mierzone doprowadza się do gniazd wejściowych BNC oznaczonych **CH1, CH2 (13)**. Liczby w nawiasach określają lokalizację opisywanego elementu na rys. 9.

Aby przesuwać w pionie przebieg należy użyć pokrętki regulacji pionowej  $\blacklozenge$  znajdującego się nad przyciskiem włączającym kanał. Wraz z przesuwaniem przebiegu przesuwa się równocześnie znacznik linii zerowej  $\blacktriangleright$ .

W trakcie przesuwania wyświetlane jest wartość napięcia, mówiąca o przesunięciu linii zerowej od położenia środkowego. Aby powrócić, do domyślnego ustawienia linii zerowej, tj. w środku ekranu należy wcisnąć pokrętkę regulacji pionowej  $\blacklozenge$  danego kanału.

Przyciski **CH1, CH2** służą do włączania/wyłączania wyświetlania przebiegu danego kanału. Ponadto ich wcisnięcie powoduje wyświetlenie menu dla danego kanału.

W menu kanału najważniejsza jest pozycja odpowiadająca za rodzaj sprzężenia **Coupling**. Najczęściej używane jest sprzężenie bezpośrednie **DC**. Sprzężenie **AC** poprzez kondensator eliminuje składową stałą. Sprzężenie **AC** jest przydatne do obserwacji przebiegów zmiennych z dużą składową stałą. Sprzężenie **GND** odłącza badany przebieg od oscyloskopu i pozwala na ustawienie linii zerowej.

Do zmiany stałej napięciowej kanału służy pokrętko  $\sim$  znajdujące się poniżej przycisku kanału. Pokrętko pozwala na skokową zmianę stałej napięciowej kanału zgodnie z sekwencją 1-2-5. Aktualna wartość stałej napięciowej kanału wyświetlana jest w lewym dolnym rogu ekranu.

Wcisnąc pokrętkę regulacji poziomej, można przełączać cykl regulacji: zgrubna (**Coarse**) – dokładna (**Fine**). Regulacja dokładna zapewnia regulację z lepszą rozdzielczością, natomiast zgrubna na skalowanie skokowe.


Na przebiegach dołączonych do oscyloskopu możliwe jest wykonywanie operacji matematycznych po wciśnięciu przycisku **MATH**. W menu **Operate** możliwe jest wybranie następujących operacji:

- A+B** - wyświetlana jest suma przebiegów,
- A-B** - wyświetlana jest różnica przebiegów,
- AxB** - wyświetlana jest iloczyn przebiegów,
- FFT** - wyświetlana jest transformata Fouriera dołączonego przebiegu.

W trakcie pomiarów możliwe jest zapamiętanie wyświetlanego aktualnie przebiegu w pamięci referencyjnej. Aby zapamiętać przebieg należy wcisnąć przycisk **REF** a następnie **Internal Storage Save**. Zapamiętany przebieg jest wyświetlany w kolorze białym i może być porównywany z aktualnie wyświetlanymi przebiegami (kolor żółty dla **CH1**, niebieski dla **CH2**).

**UWAGA!** Funkcja **REF** nie jest dostępna podczas używania trybu **XY**.


### 2.3.3 Podstawa czasu

Pokrętki i przyciski związane z podstawą czasu zgrupowane są w bloku **HORIZONTAL**. Nastawę współczynnika podstawy czasu dokonuje się pokrętką  umieszczoną nad gniazdem **BNC EXT TRIG**. Nastawy współczynnika podstawy czasu są w sekwencji 1-2-5. Aktualna wartość współczynnika podstawy czasu jest wyświetlana w białym kolorze u dołu ekranu.

Wciśnięcie pokrętki współczynnika podstawy czasu pozwala włączyć opóźnioną podstawę czasu **Delayed** i obserwować powiększony w poziomie interesujący nas fragment przebiegu.

Wybór pracy w trybie **X-Y**, **ROLL** oraz ustawienie czasu podtrzymania **Holdoff** są możliwe po wciśnięciu przycisku **MENU** nad pokrętką nastawy współczynnika podstawy.

Tryb **ROLL** sprawia, że przebieg przemieszcza się po ekranie od prawej do lewej bardzo powoli. Działa tylko przy podstawie czasu 500 ms/div lub wolniejszej. W trybie **ROLL** nie ma wyzwalań. W celu zatrzymania przewijania przebiegu należy wcisnąć klawisz **SINGLE**.

Regulacja położenia przebiegu w osi poziomej jest realizowana pokrętką . W trakcie pracy oscyloskopu regulacja ta pozwala zmieniać położenie okna akwizycji względem punktu wyzwalań. Kiedy akwizycja jest zatrzymana, pokrętkę to służy do przesuwania przebiegu po ekranie. Pozwala to na obejrzenie przebiegu przed i po wyzwoleniu. Moment wyzwolenia oznaczony jest na przebiegu literką **“T”** w górze okna akwizycji oraz na górze ekranu na pasku położenia. Mały odwrócony trójkąt jest oznaczeniem odniesienia czasowego. Podczas zmian skali poziomej przebieg rozciąga się lub kurczy względem tego punktu.

#### Wyzwalanie podstawy czasu

Ustawienia wyzwalań podstawy czasu określają, kiedy ma się rozpocząć proces akwizycji danych i wyświetlania przebiegu. Kiedy pojawi się zdarzenie wyzwalań oscyloskop rozpoczyna akwizycję wystarczającej ilości danych, aby móc wyświetlić przebieg.

Pokrętki i przyciski związane z wyzwaniem zgrupowano w bloku tematycznym **TRIGGER**. Najczęściej do prawidłowego wyzwalań dla sygnałów okresowych wystarczy ustawić poziom wyzwalań na połowie amplitudy sygnału wyzwalań, poprzez naciśnięcie przycisku **50%**. W przypadku gdy potrzebny jest inny poziom wyzwalań, właściwą jego wartość ustawiamy pokrętką **LEVEL**. Podczas zmian poziomu wyzwalań, na ekranie chwilowo wyświetla się czerwona linia określająca aktualny poziom wyzwalań, natomiast cały czas wyświetlany jest z prawej strony ekranu kursor określający poziom wyzwolenia.

W przypadku potrzeby wymuszenia wyzwolenia, np. przy braku sygnału wyzwalań, wyzwolenie możemy uzyskać naciskając przycisk **FORCE**.

Szczegółowy opis opcji związanych z wyzwaniem jest przedstawione poniżej. Opcje te są dostępne po naciśnięciu przycisku **MENU**.

**Type** -rodzaj wyzwalań:

- Edge** - wyzwalań zboczem; najczęściej używane,
- Pulse** - wyzwalań po osiągnięciu przez impuls wcześniej ustawionej szerokości,
- Video** - wyzwalań sygnałem wizyjnym.

**Source** - wybór źródła wyzwalań

- CH1** - wyzwalań przebiegiem w kanale **CH1**,
- CH2** - wyzwalań przebiegiem w kanale **CH2**,
- EXT** - wyzwalań przebiegiem dołączonym do gniazda **EXT TRIG**,
- EXT/5** - wyzwalań przebiegiem dołączonym do gniazda **EXT TRIG**, sygnał - stłumiony 5x,
- Alternating** - wyzwalań alternatywne **CH1** lub **CH2**, w tym trybie możliwe jest wyświetlanie w dwóch kanałach przebiegów o różnych częstotliwościach, nieskorelowanych ze sobą.

**Slope** - wybór wyzwalającego zbocza

$\overline{\uparrow}$  - wyzwalanie zboczem narastającym,

$\overline{\downarrow}$  - wyzwalanie zboczem opadającym.

**Mode** - tryb pracy podstawy czasu

**Auto** - wyzwalanie podstawy czasu automatyczne, nawet przy braku sygnału wyzwalającego możliwa jest obserwacja sygnałów DC lub wyświetlanie linii zerowej,

**Normal** - wyzwalanie podstawy normalne po osiągnięciu ustawionych wcześniej warunków wyzwolenia (w przypadku braku sygnału lub jego parametrów niezgodnych z warunkami wyzwolenia wyzwolenie nie nastąpi i na ekranie będzie wyświetlany ostatnio zapamiętany przebieg lub pozostanie on ciemny).

**Coupling** - sprzężenie

**DC** - sygnał wyzwalający podawany bezpośrednio,

**AC** - sygnał wyzwalający podawany poprzez kondensator,

**LF Reject** - odfiltrowanie z sygnału wyzwalającego składowych o niskich częstotliwościach,

**HF Reject** - odfiltrowanie z sygnału wyzwalającego składowych o wysokich częstotliwościach.

### Akwizycja przebiegów

Akwizycja przebiegów określa sposób pobierania i wyświetlania przebiegów na ekranie. Dostęp do menu akwizycji jest po naciśnięciu przycisku **ACQUIRE** umieszczonego u góry z prawej strony płyty czołowej oscyloskopu. Dostępne są następujące opcje menu akwizycji:

**Mode** - tryby akwizycji

**Normal** - tryb ten jest najczęściej używany i daje dobre wyniki dla większości przebiegów,

**Average** - tryb uśredniania używany do redukcji przypadkowych lub nieskorelowanych szumów i zakłóceń w wyświetlanym przebiegu,

**Peak Detect** - tryb używany do wykrywania wąskich impulsów zakłócających, szczególnie w przebiegach o niskich częstotliwościach.

**Sampling** - próbkowanie

**Real Time** - tryb najczęściej używany, użyteczny szczególnie do przebiegów okresowych o niskich lub średnich częstotliwościach oraz do rejestracji jednorazowych sygnałów,

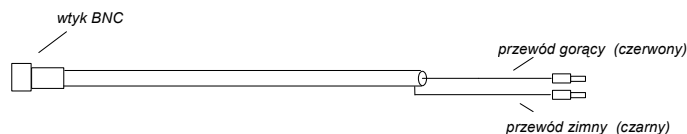
**Equivalent** - tryb używany przy sygnałach okresowych o b.wysokiej częstotliwości. Wyświetlany przebieg jest kompletowany z próbek pobranych z wielu okresów sygnału.

## 2.4. Podstawowe zasady obserwacji przebiegów za pomocą oscyloskopu

W celu eliminacji zakłóceń pochodzących od zewnętrznych pól elektrycznych, szczególnie przy pomiarach małych sygnałów, do łączenia przyrządów pomiarowych wykorzystuje się przewody koncentryczne. Przewód taki składa się z przewodu sygnałowego, nazywanego przewodem "gorącym", i otaczającego go ekranu, nazywanego przewodem "zimnym". Przewód gorący łączy się ze źródłem sygnału, natomiast przewód zimny łączy się z masą układu.

Przewody koncentryczne zakończone są wtykami BNC lub banankami. Wtyki BNC łączy się z odpowiadającymi im gniazdami BNC przez lekkie wciśnięcie wtyku i obrót w prawo (zgodnie z ruchem wskazówek zegara). Rozłączenia dokonuje się przez wciśnięcie wtyku i obrót w lewo. W przypadku potrzeby dołączenia do jednego gniazda BNC dwóch przewodów należy skorzystać z trójnika BNC.

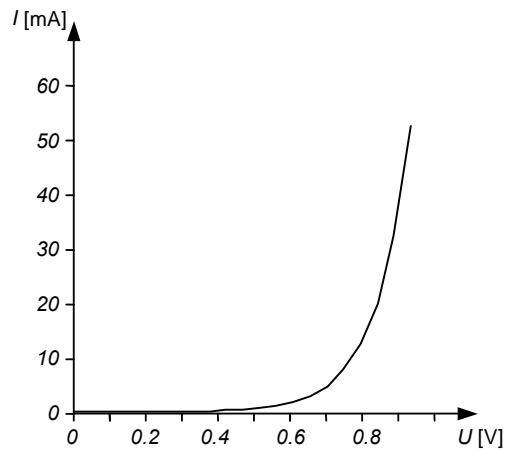
Konstrukcja wtyków i gniazd BNC eliminuje możliwość omyłkowej zamiany przewodu gorącego z zimnym. W przewodach koncentrycznych zakończonych banankami (rys. 11) konieczne jest rozróżnienie przewodu gorącego i zimnego. Najczęściej przewód gorący oznacza się kolorem czerwonym, natomiast przewód zimny kolorem czarnym lub niebieskim.



Rys. 11. Konstrukcja przewodów połączeniowych BNC – bananki

Przewody zimne łączymy zawsze z masą układu, natomiast przewody gorące ze źródłami sygnału. Ewentualna pomyłka i dołączenie przewodu zimnego do źródła sygnału może spowodować uszkodzenie badanego układu.

W trakcie pomiarów z wykorzystaniem oscyloskopu należy do sprawozdania dołączyć oscylogramy. Oscylogramy należy wykonywać na papierze milimetrowym. Każdy oscylogram powinien mieć zaznaczone położenie linii zerowej, a oscylogramy z wykorzystaniem kanału X położenie początku układu współrzędnych, tj. położenie spoczynkowe plamki przed dołączeniem napięcia do układu. Oscylogramy powinny mieć również opisane osie. Przykładowy oscylogram zamieszczony jest na rys. 12.



Rys. 12. Przykład oscylogramu przebiegów dołączonych do kanału X i Y

## 2.5. Słownik terminologii angielskiej

**Acquire** - akwizycja, proces pobierania i umieszczania w pamięci próbek sygnału wejściowego.

**AUTO** - automatycznie wyzwalana podstawa czasu,

**CH1 - channel 1** - kanał Y<sub>1</sub>,

**CH2 - channel 2** - kanał Y<sub>2</sub>,

**Coupling** - sprzężenie:

**DC** - bezpośrednie sprzężenie sygnału z oscyloskopem,

**AC** - sprzężenie sygnału z oscyloskopem przez kondensator,

**GND - ground** - masa, przełącznik odłączający sygnał w torze odchylenia pionowego i dołączający wejście wzmacniacza do masy, służy do ustawiania linii zerowej,

**delayed** - opóźniona podstawa czasu, umożliwia powiększenie wybranego fragmentu przebiegu w osi czasu,

**EXT - external** - wyzwalanie podstawy czasu przebiegiem zewnętrznym,

**fine** - przesuw precyzyjny toru odchylenia poziomego,

**focus** - regulacja ostrości,

**gain** - wzmacnienie (pokrętko kalibracji wzmacnienia),

**hold off** - czas podtrzymania (czas po którym może nastąpić powtórne wyzwolenie podstawy czasu)

**intensity** - jasność,

**level** - poziom wyzwalania,

**magnifier** - wzmacniacz,

**NORM - normal** - wyzwalana podstawa czasu,

**position** - przesuw toru odchylenia pionowego lub poziomego,

**power on/off** - włączenie/ wyłączenie zasilania,

**slope** - wybór zbocza przebiegu, od którego ma nastąpić wyzwolenie podstawy czasu ,

**trig ext - triggering external** - wejście zewnętrznego sygnału wyzwalającego podstawę czasu,

**trig mode - triggering mode** - sposób wyzwalania podstawy czasu,

**trig source - triggering source** - źródło sygnałów wyzwalających podstawę czasu,

**var - variable** - płynna regulacja wzmacnienia lub współczynnika podstawy czasu, w prawym skrajnym położeniu pokrętkła ("CAL") wzmacnienie lub współczynnik podstawy czasu jest zgodny z opisem na przełączniku.

## 3. Wykaz sprzętu pomiarowego

1. Oscyloskop analogowy Hameg HM303-6
2. Oscyloskop cyfrowy TDO2062B
3. Generator funkcyjny Agilent 33210A
4. Generator funkcyjny Hameg HM 8131-2
5. Multimetr cyfrowy Agilent 34405A
6. Zasilacz Agilent E3640A
7. Układy laboratoryjne:
  - układ całkujący,
  - układy cyfrowe,
  - zestaw diod półprzewodnikowych
8. Przewody połączeniowe: BNC-BNC 1szt., BNC-bananki 3 szt.
9. Trójnik BNC

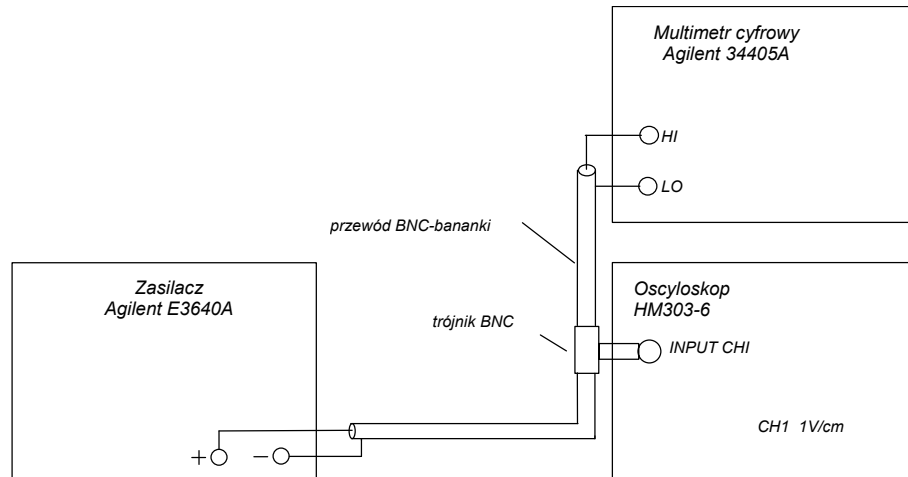
## 4. Zadania pomiarowe

### 4.1. Wzorcowanie kanału Y oscyloskopu napięciem stałym

Celem zadania jest wyznaczenie metodą najmniejszych kwadratów stałej napięciowej kanału za pomocą odchylenia napięciem stałym plamki o określoną liczbę działek od położenia zerowego.

Przeprowadzić wzorcowanie kanału **Y1 (CH1)** dla stałej napięciowej kanału Y  $D_y = 1V/cm$  w układzie pomiarowym podanym na rys. 13. Wyniki pomiarów zanotować w tabelicy 1.

Warunkiem poprawnego wykonania ćwiczenia jest ustawienie możliwie jak najmniejszej grubości linii oraz dokładne ustawienie położenia linii zerowej.



Rys. 13. Wzorcowanie kanału Y oscyloskopu

Przed rozpoczęciem pomiarów należy

- 1° wyciskając przełącznik **CHI/CHII** wyboru kanału wybrać kanał **Y1**,
- 2° włączyć automatyczne wyzwalanie podstawy czasu – przełącznik **AT/NM** wyciśnięty,
- 3° ustawić za pomocą pokrętki **VOLTS/DIV** stałą napięciową kanału **CH1** na  $1V/cm$ ,
- 4° sprawdzić, czy czerwone pokrętko płynnej regulacji wzmocnienia **VAR** kanału **Y1** znajduje się w położeniu "kalibrowane" **CAL** (skrajne prawe położenie),
- 5° ustawić pokrętkę jasności **FOCUS** i **INTENSITY** jak najmniejszą grubość linii,
- 6° wcisnąć przełącznik **GD**, odłączając w ten sposób napięcie wejściowe od oscyloskopu,
- 7° za pomocą pokrętki **Y-POS.I** ustawić linię kreśloną przez oscyloskop na środku ekranu,
- 8° wybrać sprzężenie **DC** wciskając przełącznik **AC/DC**,
- 9° włączyć zasilanie multimetru **34405A** oraz wybrać pomiar napięcia stałego wciskając przycisk **DCV**,
- 10° sprawdzić czy w multimetrze jest wybrana automatyczna zmiana zakresów - w lewym górnym rogu wyświetlacza **nie** powinien być widoczny napis **ManRng**, a jeżeli jest wcisnąć przycisk **Shift** a następnie **Auto**.

Włączyć zasilacz **E3640A** poprzez wcisnięcie przycisku **Output On/Off**. Przy pomocy przycisków **< >** ustawić rozdzielczość nastawy napięcia na  $0,01 V$ .

Zwiększając przy pomocy pokrętki napięcie z zasilacza odchyłać plamkę o wartości podane w tabelicy 1, notując jednocześnie napięcia z multimetru **34405A**. Ujemne odchylenia uzyskać przez zmianę polaryzacji napięcia z zasilacza (zamiana miejscami przewodów łączących oscyloskop z zaciskami "+" i "-" zasilacza).

Tabela 1

y	cm	1	2	3	4	-4	-3	-2	-1
$U_y$	V								
$D_{ypom}$	V/cm								
$\delta_y$	%								
$D_{yobl}$	V/cm								

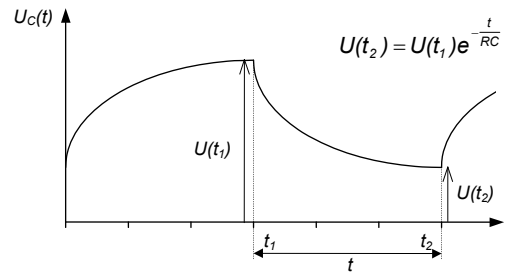
$$D_{ypom} = U_y/y$$

$D_{yobl} = m_y$  - współczynnik kierunkowy prostej  $U_y = m_y y + n_y$  wyznaczony metodą najmniejszych kwadratów (patrz p. 5.1. opracowania)

$$\delta_y = (D_{ypom} - D_{yobl}) / D_{yobl}$$

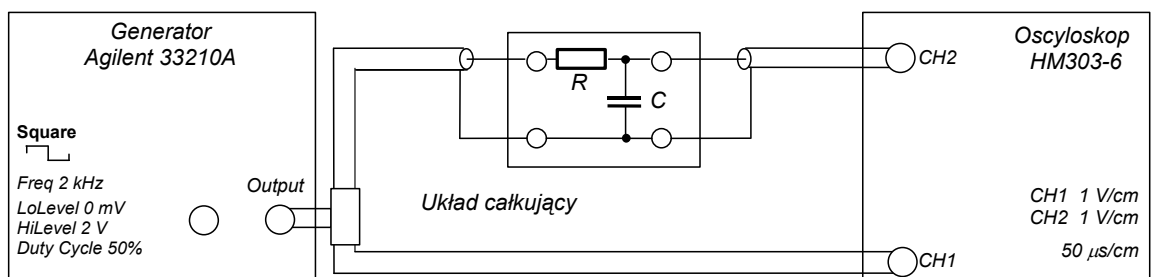
## 4.2. Pomiary napięcia i czasu oscyloskopem

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie stałej czasowej układu całkującego na podstawie pomiarów napięcia i czasu, przeprowadzonych za pomocą oscyloskopu. Badany układ całkujący jest pobudzony przebiegiem prostokątnym o wypełnieniu 1/2. Stałą czasową  $RC$  (rys. 14) można wyznaczyć na podstawie pomiaru czasu  $t$  oraz napięć  $U(t_1)$  i  $U(t_2)$ .



Rys. 14. Przebieg napięcia w układzie całkującym pobudzonym napięciem prostokątnym

Połączyć układ pomiarowy według rys. 15.



Rys. 15. Pomiary napięcia i czasu w układzie całkującym

Aby przygotować do pracy generator **Agilent 33120A** należy:

- 1° włączyć zasilanie i po kilku sekundach wybrać generację przebiegu prostokątnego przez wciśnięcie przycisku **Square**,
- 2° ustawić parametry przebiegu prostokątnego podane na rys. 15. Wybór parametru odbywa się przy pomocy klawiszy soft menu znajdujących się pod wyświetlaczem natomiast nastawa odpowiedniej wartości za pomocą obrotowego pokrętkła. Dla wyboru częstotliwości należy podświetlić **Freq**, niskiego poziomu impulsów **LoLevel**, wysokiego poziomu impulsów **HiLevel**, współczynnika wypełnienia **DutyCycle** (wartości napięcia na wyświetlaczu generatora są prawidłowe przy obciążeniu rezystancją  $50 \Omega$ , a ponieważ generator obciążony jest rezystancją znacznie większą rzeczywista wartość wysokiego poziomu napięcia na wyjściu będzie wynosiła ok. 4 V),
- 3° uaktywnić wyjście generatora wciskając przycisk **Output**.

Przygotować oscyloskop do pracy:

- 1° ustawić za pomocą pokrętkła **VOLTS/DIV** stałe napięciowe kanału **CH1** i **CH2** na 1V/cm,
- 2° za pomocy pokrętkła **TIME/DIV** ustawić współczynnik podstawy czasu na  $50 \mu\text{s/cm}$  i sprawdzić, czy czerwone pokrętkło płynnej regulacji współczynnika podstawy czasu **VAR** znajduje się w położeniu "kalibrowane" **CAL** (prawe skrajne położenie),
- 3° wejścia **INPUT CHI** i **INPUT CHII** oscyloskopu ustawić na pracę **DC** wciskając przełącznik **AC/DC**. Ustawić linie zerowe obu kanałów na środku ekranu przy odłączonym sygnale (pozycja **GD**), od ich prawidłowego ustawienia będzie zależeć dokładność pomiarów.

Wybierając odpowiedni kanał (przełącznik **CHI/II**) zaobserwować oddzielnie przebieg w kanale **CH1** ( $U$ ) i kanale **CH2** ( $U_C$ ) oraz dwóch kanałach jednocześnie (wciśnięty przełącznik trybu pracy **DUAL**).

Przy wybranym kanale **CH2** wyznaczyć wartości napięć  $U(t_1)$  i  $U(t_2)$  oraz wartość czasu  $t$  zgodnie z rys. 14. Pomiary wykonywać określając w cm długość odcinka odpowiadającego napięciu  $U(t_1)$  i  $U(t_2)$  lub czasowi  $t$  i mnożąc uzyskany wynik przez stałą napięciową 1 V/cm lub współczynnik podstawy czasu  $50 \mu\text{s/cm}$ . Wyniki zapisać w tablicy 2.

W celu późniejszego porównania wyznaczonej doświadczalnie stałej czasowej z jej wartością teoretyczną zanotować rzeczywiste wartości elementów układu całkującego.

$$R = \dots\dots\dots \Omega$$

$$C = \dots\dots\dots nF$$



Tablica 2

$U(t_1)$	V	
$U(t_2)$	V	
$t$	$\mu\text{s}$	
$RC_{pom}$	$\mu\text{s}$	
$RC_{teor}$	$\mu\text{s}$	
$\delta_{RC}$	%	

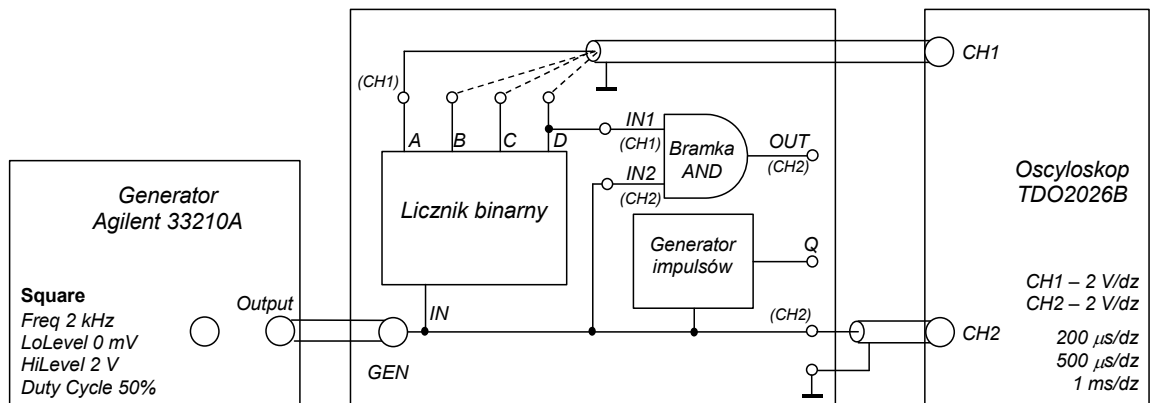
$$\delta_{RC} = (RC_{pom} - RC_{teor}) / RC_{teor}$$

### 4.3. Obserwacja przebiegów w układach cyfrowych

W ćwiczeniu będą obserwowane przebiegi na wyjściu licznika binarnego oraz na bramce AND. Przed rozpoczęciem pomiarów należy:

- 1° połączyć układ zgodnie z rys. 16,
- 2° dołączyć zasilanie układu do sieci elektrycznej 230 V,
- 3° wybrać nastawy generatora Agilent 33210A analogiczne jak w poprzednim zadaniu,
- 4° do momentu sprawdzenia układu przez prowadzącego nie uaktywniać wyjścia generatora (klawisz **Output** nie podświetlony)
- 5° uaktywnić dwa kanały oscyloskopu **CH1** i **CH2** - podświetlone przyciski **CH1** i **CH2**,
- 6° ustawić wzmocnienia kanałów **CH1** i **CH2** na **2 V/dz**,
- 7° ustawić linie zerowe kanałów **CH1** i **CH2** tak, aby optymalnie wykorzystać całą powierzchnię ekranu oscyloskopu. Zalecane ustawienie linii zerowej kanału **CH1**  $y=0$ , **CH2**  $y=-3$  dz, korzystać z trybu **DC**,
- 8° ustawić współczynnik podstawy czasu tak, by na ekranie zaobserwować jeden pełen okres przebiegu z kolejnego wyjścia licznika,
- 9° w celu uzyskania stabilnego obrazu wyzwaląć podstawę czasu przebiegiem z kanału **CH1** - **TRIGGER Source CH1**. Poziom wyzwalania **50%**.

#### 4.3.1. Obserwacja przebiegów w liczniku binarnym



Rys. 16. Obserwacja przebiegów w układach cyfrowych

W układzie pomiarowym, pokazanym na rys. 16 zaobserwować przebiegi w liczniku binarnym. Kanał **CH2** dołączyć do wejścia **IN** licznika, natomiast kanał **CH1** kolejno do wyjść **A**, **B**, **C**, **D**.

Zanotować, ile okresów przebiegu wejściowego  $T_{in}$  przypada na jeden okres przebiegu  $T_A$ ,  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$  na wyjściach **A**, **B**, **C**, **D** licznika binarnego.

$$\begin{aligned} T_A &= \dots \times T_{in} \\ T_B &= \dots \times T_{in} \\ T_C &= \dots \times T_{in} \\ T_D &= \dots \times T_{in} \end{aligned}$$

#### 4.3.2. Pomiar napięć w przebiegu prostokątnym

Zmierzyć za pomocą kursorów poziomy napięć odpowiadające stanom **Hi** i **Lo** w przebiegu prostokątnym na wyjściu **A**. Do pomiaru wykorzystać kanał **CH1**. Do pomiaru stanu **Hi** ustawić stałą napięciową **2 V/dz**, a dla stanu **Lo** na **0.1 V/dz**.

W celu uaktywnienia pomiarów z wykorzystaniem kursorów należy nacisnąć przycisk **CURSOR** (u góry płyty czołowej) a następnie przyciskami menu ekranowego:

- 1° ustawić pomiary ręczne - **Mode Manual**,
- 2° źródło sygnału - **Source CH1**,
- 3° rodzaj pomiarów - **Type Voltage**.

Regulując pokręteł  $\curvearrowright$  pomierzyć odpowiednie odcinki odczytując  $\Delta Y$ . Zmiana aktywnego kursora następuje po wciśnięciu pokręteła  $\curvearrowright$  lub za pomocą przycisków menu ekranowego. Mierząc napięcia pamiętać o ustawieniu jednego z kursorów na linii zerowej.

$$U_{Hi} = \dots\dots V$$

$$U_{Lo} = \dots\dots V$$

#### 4.3.3. Obserwacja przebiegów na bramce AND

Zaobserwować przebiegi na bramce AND. Przebieg otwierający i zamykający bramkę podany jest z wyjścia **D** licznika binarnego na wejście **IN1** bramki, natomiast bramkowany przebieg pochodzący bezpośrednio z generatora podany jest na wejście **IN2** bramki. Wyjście bramki dołączone jest do gniazda **OUT**.

Dołączyć do kanału **CH1** wejście bramki **IN1** a do kanału **CH2** w pierwszym etapie wyjście bramki **OUT**. Ustawić stałą napięciową w obu kanałach na **2 V/dz** a współczynnik podstawy czasu na **1 ms/dz**. Synchronizować podstawę czasu sygnałem z kanału **CH1**. Zmienić sygnał dołączony do kanału **CH2** na sygnał z wejścia **IN2** bramki.

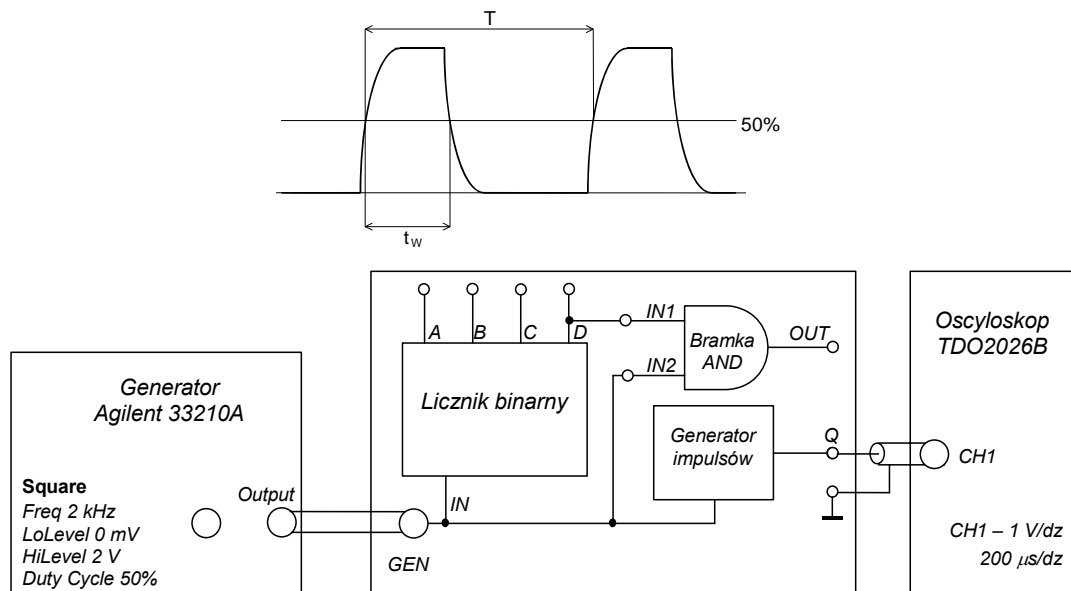
Zwrócić uwagę, dla jakiego poziomu sygnału na wejściu **IN1** bramka jest otwarta, t.j. przenosi sygnał z wejścia **IN2** na wyjście **OUT**.

#### 4.4. Automatyczne pomiary parametrów impulsów w przebiegu okresowym

Celem ćwiczenia jest pomiar następujących parametrów sygnału impulsowego:

- napięcia międzyszczytowego  $V_{pp}$  (**Peak-Peak**),
- napięcia skutecznego  $V_{rms}$  (**RMS**),
- napięcia średniego  $V_{avg}$  (**Average**),
- częstotliwości  $f$  (**Frequency**),
- okresu  $T$  (**Period**),
- czasu trwania dodatnich impulsów  $t_w$  (**+Width**),
- współczynnika wypełnienia  $k = t_w/T$  [%] (**+Duty**).

Dołączyć do wyjścia **Q** układu laboratoryjnego kanał **CH1** oscyloskopu zgodnie z rys. 17 pozostawiając niezmienione nastawy generatora. Pomierzyć w trybie automatycznych pomiarów napięcie międzyszczytowe  $V_{pp}$ , napięcie skuteczne  $V_{rms}$ , napięcie średnie  $V_{avg}$ , częstotliwość  $f$ , okres  $T$ , czas trwania dodatnich impulsów  $t_w$ , współczynnik wypełnienia dla impulsów dodatnich  $k$ . Wyniki zanotować w tablicy 3.



Rys. 17. Pomiary parametrów impulsów

Przed pomiarem ustawić linię zerową w kanale **CH1**  $y = -2$  dz. Pomiary w trybie automatycznym uaktywnia się w menu głównym przyciskiem **MEASURE**. Żądaną wielkość wybiera się naciskając przycisk funkcyjny **Voltage** dla pomiarów napięciowych lub **Time** dla pomiarów parametrów czasowych. Wybór konkretnego parametru dokonuje się z listy powiązanej z powyższymi przyciskami. Przejście do następnego zestawu mierzonych wielkości uzyskuje się naciskając przycisk **More**. W celu wygodniejszego odczytu mierzonych wielkości można chwilowo wyłączyć menu z prawej strony ekranu, naciskając umieszczony na dole przycisków funkcyjnych okrągły przycisk **Menu ON/OFF**.

Po skończeniu zadania wyłączyć tryb pomiarów automatycznych wybierając w menu **MEASURE** opcję **Clear**.

Tablica 3

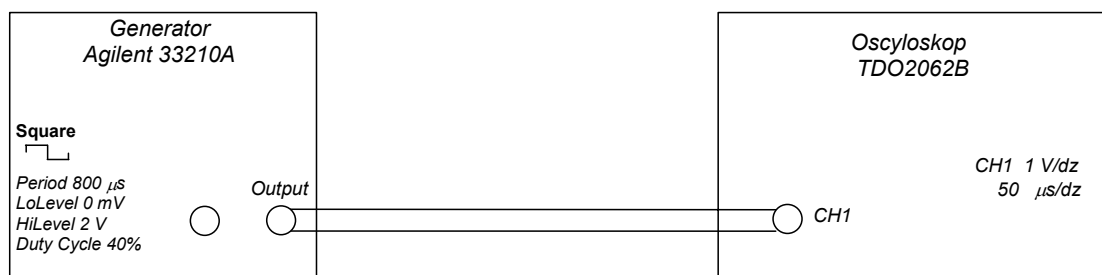
$V_{pp}$	V	
$V_{rms}$	V	
$V_{avg}$	V	
$f$	Hz	
$T$	$\mu$ s	
$t_w$	$\mu$ s	
$k$	%	
$k_{obl}$	%	

#### 4.5. Pomiary parametrów pojedynczego impulsu

Celem zadania jest obserwacja i pomiar parametrów pojedynczego impulsu. Impuls taki ze względu na krótki czas trwania jest niemożliwy do zaobserwowania za pomocą klasycznego oscyloskopu analogowego bez pamięci. Z tego względu do jego pomiarów wykorzystano oscyloskop cyfrowy z pojedynczym wyzwaniem *single* (inne określenie praca z czuwaniem, ang. *baby-sitting*).

W trybie tym podstawa czasu jest nieaktywna dopóki nie pojawi się impuls wyzwalający, natomiast cały czas pracuje przetwornik (a/c) i próbki napięcia występujące na wejściu oscyloskopu są zapisywane do pamięci. W momencie pojawienia się impulsu wyzwalającego uruchamiany jest na jeden okres generator podstawy czasu. Obraz impulsu na ekranie oscyloskopu możemy potem dowolnie długo wyświetlać i analizować. Ponieważ przetwornik a/c pracuje również przed wyzwoleniem możliwe jest wyświetlenie nie tylko przebiegu po wyzwoleniu jak w klasycznym oscyloskopie analogowym, a także przed wyzwoleniem.

W układzie pomiarowym jak na rys. 18 zaobserwować oraz wyznaczyć za pomocą kursorów czas trwania  $t_w$  oraz poziom  $U_{Hi}$  pojedynczego impulsu generowanego generator funkcyjny **Agilent 33210A**.



Rys. 18. Pomiary parametrów pojedynczego impulsu

Przed rozpoczęciem pomiaru należy:

- 1° wybrać pracę jednokanałową oscyloskopu **TDO2062B** - podświetlony przycisk **CH1**,
- 2° ustawić wzmocnienie kanału **CH1** równe **1V/dz**, sprzężenie **DC** oraz linię zerową na poziomie  $y = -3$  dz,
- 3° ustawić poziom wyzwalań na wartość  $y = -1$  dz,
- 4° ustawić współczynnik podstawy czasu na **50  $\mu$ s/dz**,
- 5° ustawić normalny tryb wyzwalań podstawy czasu, synchronizować obraz narastającym zboczem przebiegu z kanału **CH1**. W tym celu w bloku **TRIGGER** nacisnąć przycisk **MENU** i wybrać poniższe ustawienia:
  - rodzaj wyzwalań - **Type Edge**,
  - źródło wyzwalań - **Source CH1**,
  - aktywne zbocze - **Slope  $\uparrow$** ,
  - tryb pracy podstawy czasu - **Mode Normal**,
  - sprzężenie wyzwalań - **Coupling DC**.

- 6° wybrać jednorazowe wyzwalanie podstawy czasu oscyloskopu - wcisnąć przycisk **SINGLE**, (podświetlenie przycisku powinno zmienić kolor na pomarańczowy),
- 7° ustawić w generatorze funkcyjnym **Agilent 33210A** przebieg prostokątny o parametrach podanych na rys. 18,
- 8° wybrać generację jednego okresu ustawionego przebiegu (pojedynczego impulsu) przez wciśnięcie przycisku **Burst** i ustawienie następujących parametrów:
  - liczba okresów - **#Cycles 1 Cyc**,
  - faza początkowa - **Start Phase +0.0 °**;
- 9° wybrać ręczne wyzwalanie generacji impulsu:
  - podświetlić opcje **N Cycle** oraz **#Cycles**,
  - wybrać z menu **Triger Setup** źródło wyzwalania - **Source Manual**,
  - zakończyć nastawę wciskając **DONE**.

Wygenerować pojedynczy impuls naciskając przycisk **Trigger** w generatorze **Agilent 33210A**. Na ekranie oscyloskopu powinien pojawić się zarejestrowany impuls oraz powinno zgasnąć podświetlenie przycisku **SINGLE** natomiast podświetlenie przycisku **RUN/STOP** powinno się zmienić na czerwone.

Pomierzyć za pomocą kursorów czas trwania  $t_w$  oraz poziom  $U_{Hi}$  impulsu. W celu zaobserwowania pełnego impulsu wyłączyć wyświetlanie menu okrągłym przyciskiem **Menu ON/OFF** lub przesunąć obraz impulsu w obrębie pamięci za pomocą pokrętki  $\blacktriangleleft$ . Powtórne uaktywnienie podstawy czasu z czuwaniem następuje po naciśnięciu przycisku **SINGLE**.

$$t_w = \dots \mu\text{s}$$

$$U_{Hi} = \dots \text{V}$$

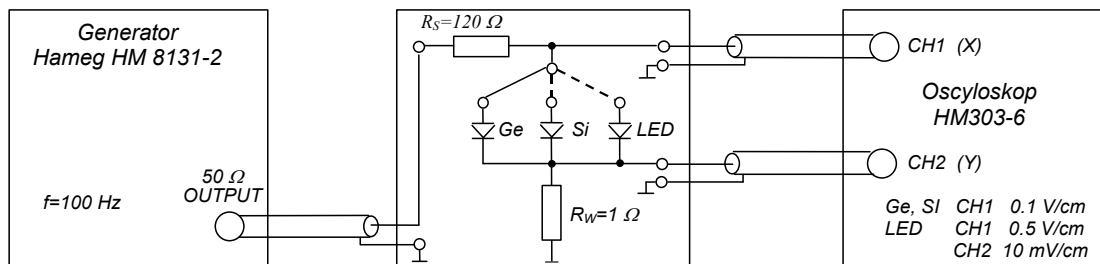
#### 4.6. Obserwacja charakterystyk diod półprzewodnikowych $I = f(U)$ w obszarze przewodzenia

Celem zadania jest obserwacja charakterystyk  $I = f(U)$  w obszarze przewodzenia dla trzech diod półprzewodnikowych: germanowej, krzemowej i z arsenku galu (LED).

Charakterystyki diod obserwujemy wykorzystując pracę **XY** oscyloskopu. W tym trybie kanał **X** jest dołączony do wejścia **CH1**, a kanał **Y** do **CH2**. Rezystor  $R_W = 1 \Omega$  występujący w układzie pomiarowym połączony jest szeregowo z badaną diodą i przekształca płynący przez diodę prąd na napięcie, które jest podawane na kanał **Y (CH2)**. Na kanał **X (CH1)** oscyloskopu podane jest napięcie występujące na diodzie. Rezystor  $R_W$  powinien mieć jak najmniejszą wartość, ponieważ odkładające się na nim napięcie dodaje się do napięcia na diodzie, zniekształcając charakterystykę  $I = f(U)$ .

W układzie pomiarowym jak na rys. 19 zaobserwować i przerysować charakterystyki  $I = f(U)$  diody germanowej, krzemowej i LED.

Na oscylogramach zaznaczyć środek układu współrzędnych oraz opisać osie **OX** w woltach oraz **OY** w miliamperach. Podczas opracowania na podstawie przerysowanych oscylogramów uzupełnić tablicę 4.



Rys. 19. Obserwacja charakterystyk  $I(U)$  diod półprzewodnikowych

Przed rozpoczęciem badania charakterystyki diod należy:

- 1° ustawić tryb pracy **XY** oscyloskopu HM303-6 wciskając przełącznik **X-Y**,
- 2° ustawić wzmocnienie kanału **Y (CH2)** równe **10m V/cm**,
- 3° ustawić wzmocnienie kanału **X (CH1)** równe **0.1 V/cm** dla diody Ge i Si, a dla diody LED **0.5 V/cm** (napięcie przewodzenia diody germanowej wynosi ok. 0.3 V, krzemowej ok. 0.7 V LED ok. 2.5 V),
- 4° regulując położeniem plamki środek układu współrzędnych  $I-U$  ustawić w punkcie  $x = -5 \text{ cm}$ ,  $y = -2 \text{ cm}$ ,
- 5° ustawić maksymalny prąd diody równy **50 mA** (co odpowiada **50 mV** w kierunku pionowym na ekranie oscyloskopu) regulując napięcie wyjściowe generatora HM 8131-2 (w celu regulacji napięcia nacisnąć klawisz **AMPL.** a następnie ustawić żądane napięcie za pomocą obrotowego pokrętki),
- 6° dla podanych warunków przerysować charakterystykę  $I = f(U)$  każdej z diod, a następnie w trakcie wykonywania sprawozdania na podstawie wykonanych oscylogramów uzupełnić tablicę 4.

Tablica 4

typ diody	$U_F$ [V]	$R$ [ $\Omega$ ]	$\Delta U$ [V]	$\Delta I$ [mA]	$r_d$ [ $\Omega$ ]
germanowa					
krzemowa					
LED					

### 5. Opracowanie

1. Uzupełnić tablicę 1. Jako  $D_{y_{obl}}$  przyjąć współczynniki kierunkowe takich prostych  $U_y = m_y y + n_y$ , dla których sumy  $S_y$  kwadratów odchyłek poszczególnych punktów  $\{y_i, U_{yi}\}$  od prostych osiągną minimum. Np. w celu wyznaczenia współczynnika kierunkowego prostej  $U_y = m_y y + n_y$  poszukuje się minimum sumy

$$S_y = \sum_{i=1}^k [U_{yi} - (m_y y_i + n_y)]^2$$

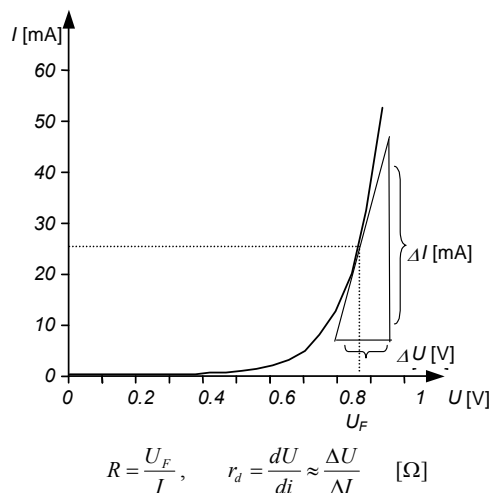
$$\text{tj. } \frac{\partial S_y}{\partial m_y} = 0, \text{ skąd } m_y = \frac{k \sum_{i=1}^k U_{yi} y_i - \sum_{i=1}^k y_i \cdot \sum_{i=1}^k U_{yi}}{M}$$

$$\text{oraz } \frac{\partial S_y}{\partial n_y} = 0, \text{ skąd } n_y = \frac{\sum_{i=1}^k U_{yi} \cdot \sum_{i=1}^k y_i^2 - \sum_{i=1}^k U_{yi} y_i \cdot \sum_{i=1}^k y_i}{M}$$

$$\text{gdzie } M = k \sum_{i=1}^k y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^k y_i \right)^2, \text{ } k - \text{ liczba pomiarów.}$$

Wyznaczając  $m_y, n_y$ , zwrócić uwagę na symetryczny przedział  $y_i$  i zerowanie się członów  $\sum y_i$ . Zamieścić pełne obliczenia  $D_{y_{obl}}$ . Przedstawić zależność  $\delta_y(y)$  w postaci wykresów z uwzględnieniem znaków błędów.

2. Obliczyć i porównać stałą czasową RC otrzymaną na podstawie pomiarów w p. 4.2. oraz na podstawie zanotowanych wartości R i C.
3. Na podstawie obserwacji w p. 4.3.3 podać, dla jakiego stanu logicznego wejścia IN1 bramka jest otwarta, tzn. przenosi sygnał z wejścia IN2 na wyjście OUT.
4. Na podstawie pomierzonego w p. 4.4 czasu trwania impulsu  $t_w$  oraz okresu T obliczyć współczynnik wypełnienia  $k_{obl}$ . Porównać otrzymany wynik z wartością współczynnika wypełnienia uzyskaną w pomiarze automatycznym.
5. Na podstawie oscylogramów uzyskanych w p. 4.6 wyznaczyć napięcie przewodzenia badanych diod  $U_F$  dla prądu  $I = 25\text{mA}$ . Wyznaczyć graficznie rezystancję dynamiczną  $r_d = dU/dI$  dla  $I = 25\text{mA}$ , jako nachylenie stycznej do charakterystyki  $I = f(U)$ , oraz dla tego samego prądu rezystancję statyczną  $R = U/I$ . Wyniki zanotować w tablicy 4. Sposób wyznaczania parametrów diod przedstawiony jest na rys. 20. Na oscylogramach w protokole narysować styczną do charakterystyki i zaznaczyć odcinki  $\Delta U$  i  $\Delta I$  oraz podać ich wartości.



Rys 20. Sposób wyznaczania parametrów diod półprzewodnikowych:  $U_F, R, r_d$