Człowiek – najlepsza inwestycja

FENIKS

- długofalowy program odbudowy, popularyzacji i wspomagania fizyki w szkołach w celu rozwijania podstawowych kompetencji naukowo-technicznych, matematycznych i informatycznych uczniów

Pracownia Fizyczna

ćwiczenie PF-5 DODATEK

Wyznaczanie prędkości dźwięku

metodą fali biegnącej

dr Monika Marzec

dr Teresa Jaworska-Gołąb

Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego

Uniwersytet Jagielloński

Wersja 1.06.2009

Zawarte w tym opracowaniu materiały przeznaczone są do wspomagania pracy nauczycieli i uczniów w czasie zajęć pozalekcyjnych w szkołach biorących udział w projekcie edukacyjnym FENIKS. Mają na celu ułatwienie przygotowania do zajęć laboratoryjnych w I Pracowni Fizycznej IF UJ.

http://feniks.ujk.kielce.pl/

feniks@th.if.uj.edu.pl

PF-5 Wyznaczanie prędkości dźwięku metodą fali biegnącej - DODATEK

Celem dodatku jest wyjaśnienie zasady pomiaru za pomocą **śruby mikrometrycznej** oraz zasady działania i używania **oscyloskopu**.

1. Śruba mikrometryczna

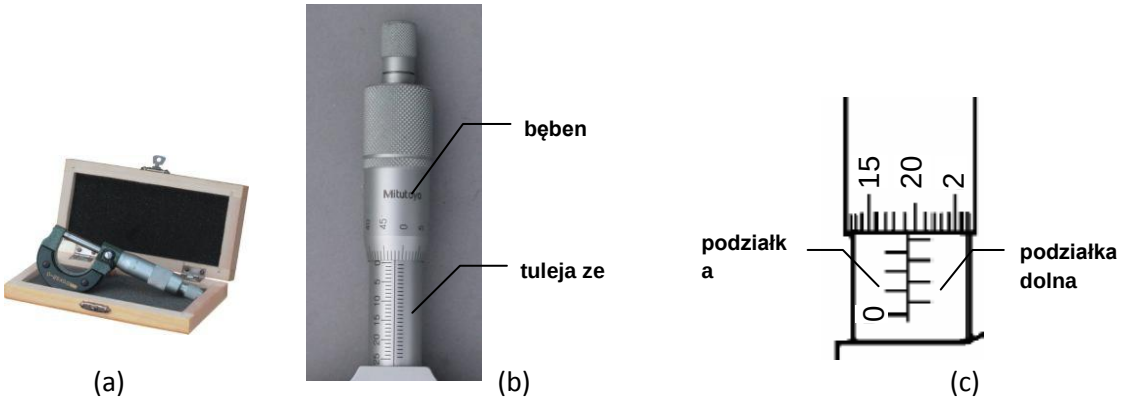
Mikrometr, popularnie nazywany śrubą mikrometryczną, pozwala na prowadzenie pomiarów z dokładnością rzędu 0.01mm (Rys. 1a). Śruba mikrometryczna jest to bardzo precyzyjna śruba o skoku 0.5mm lub1mm; składa się z tulei, na której wygrawerowana jest skala główna oraz obrotowego bębna, na którym wygrawerowana jest dodatkowa podziałka, nazywana noniuszem (Rys. 1b.). Ta dodatkowa podziałka ma inną długość niż podziałka skali głównej i składa się z 50 działek, z których każda jest równa 0.01mm. Natomiast na skali głównej tulei zaznaczone są działki w odległości 1mm: skala górna pomiędzy całkowitą liczbą milimetrów i skala dolna zaznacza połówki milimetra (Rys. 1c). Aby wykonać pomiar za pomocą śruby mikrometrycznej, pokręcamy bębnem:

- aż do uzyskania oporu i charakterystycznego grzechotania (ponieważ bęben połączony jest ze sprzęgłem) – w przypadku gdy mierzymy grubość przedmiotu

lub

- aż do uzyskania interesującego nas obrazu na oscyloskopie (np. odcinka) – w przypadku pomiaru prędkości dźwięku w wodzie.

Wynik odczytujemy w następujący sposób: milimetry i połówki milimetra odczytujemy na podziałce skali głównej tulei, a setne części milimetra odczytujemy na noniuszu bębna licząc podziałki bębna od 0 do pierwszej kreski podziałki bębna pokrywającej się z kreską skali głównej. Na Rys. 1c prawidłowo odczytany wynik wynosi: 3.69mm, na który składa się 3mm na skali górnej tulei, 0.5mm na skali dolnej i 0.14mm na noniuszu bębna.



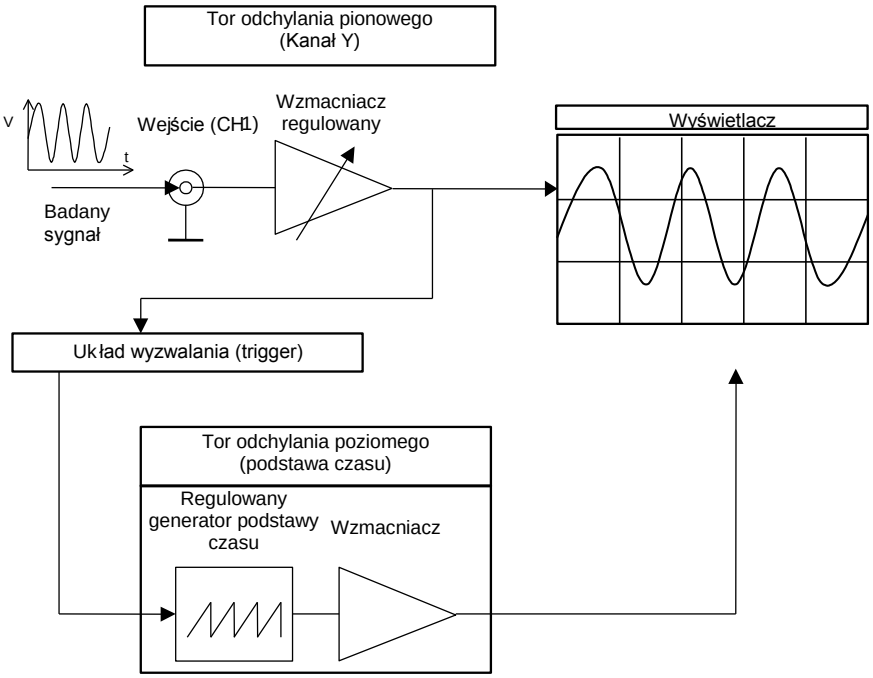
Rys. 1 Śruba mikrometryczna: (a) zdjęcie mikrometru, (b) przybliżenie skali i noniusza, (c) zasada odczytu wyniku

2. Oscyloskop

Oscyloskop jest jednym z podstawowych przyrządów diagnostycznych i pomiarowych. Można go spotkać nie tylko w laboratoriach badawczych fizyków, chemików czy biologów, ale także w szpitalach i przychodniach. Znajduje zastosowanie wszędzie tam, gdzie zachodzi potrzeba pomiaru czy kontroli przebiegu napięć elektrycznych w czasie.
Dzięki istnieniu tzw. *przetworników*, czyli urządzeń przetwarzających mierzone wielkości fizyczne (np. ciśnienie czy temperaturę) na napięcie, zakres zastosowań oscyloskopu jest bardzo szeroki. Jest on podstawowym wyposażeniem większości laboratoriów.

Podstawową funkcją oscyloskopu jest wyświetlanie na ekranie zależności napięcia sygnału elektrycznego od czasu. W typowym zastosowaniu pozioma oś X reprezentuje czas (t), a pionowa oś Y reprezentuje napięcie (V). Jak będzie pokazane później, większość oscyloskopów może pracować w innych trybach pracy.
Oscyloskop składa się z czterech głównych bloków funkcyjnych (Rys. 2.):

- wyświetlacza
- układów odchylania pionowego (kanałów **Y**) oznaczonych często jako **CH1**,**2** lub **A**,**B** (większość oscyloskopów ma dwa kanały wejściowe)
- układu odchylania poziomego (tzw. podstawy czasu)
- układu wyzwalania (*trigger*) czyli synchronizacji podstawy czasu z obserwowanym sygnałem



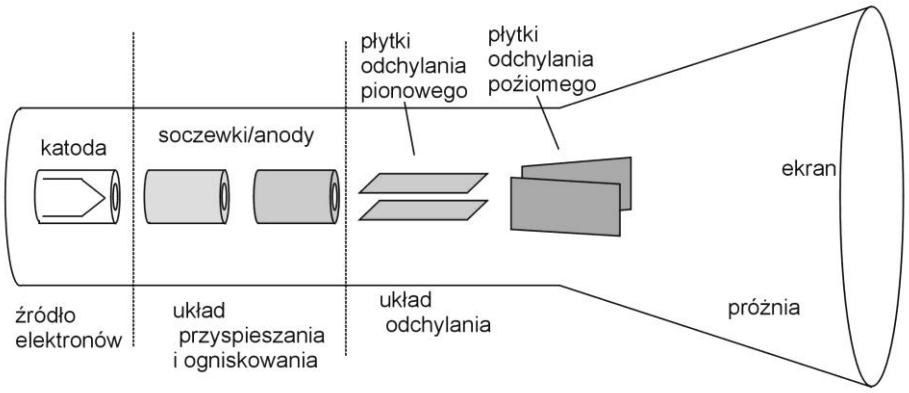
Rys. 2. Schemat blokowy oscyloskopu

Wyświetlacz

Podstawowym elementem oscyloskopu jest wyświetlacz, na którego ekranie możemy śledzić badany sygnał. Zadaniem wyświetlacza jest przedstawienie wykresu badanego przez nas napięcia w funkcji czasu – V(t). Do niedawna najbardziej popularnym wyświetlaczem była lampa katodowa (CRT – *Cathode Ray Tube* -ang.) – podobna do lamp kineskopowych stosowanych w telewizorach czy ekranach monitorów. Obecnie często można spotkać oscyloskopy z ekranami ciekłokrystalicznymi (LCD – Liquid Crystal Display) lub półprzewodnikowymi.

Lampa elektronowa, schematycznie przedstawiona na Rys.3., składa się z następujących podstawowych elementów:

- działka elektronowego, gdzie produkowana jest dobrze skolimowana wiązka elektronów skierowana w stronę ekranu wyświetlacza (zwykle przyspieszanych napięciem kilku lub kilkunastu kV)
- elektrod optyki elektrostatycznej, odchylających wiązkę elektronów we wzajemnie prostopadłych kierunkach X i Y, liniowo w zależności od napięcia doprowadzonego do tych elektrod. W najprostszym przypadku są to dwie, ustawione prostopadle pary równoległych do siebie metalowych płytek
- ekranu pokrytego od wewnątrz warstwą luminoforu – substancji świecącej na skutek bombardowania elektronami.



Rys.3. Schemat budowy lampy katodowej

W tak zbudowanym wyświetlaczu wiązka elektronów zmienia swoje położenie na ekranie w zależności od wartości napięcia przyłożonego do elektrod odchylających, „rysując” na nim odpowiedni ślad.

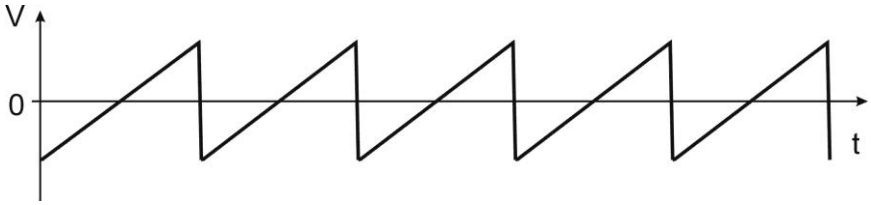
Tor odchylania pionowego

Podstawowym zadaniem toru odchylania pionowego jest odpowiednie wzmocnienie lub osłabienie badanego sygnału. Jest to realizowane przy pomocy regulowanego wzmacniacza kontrolowanego pokrętłem regulacji wzmocnienia, określającym jaka wielkość napięcia wejściowego powoduje wychylenie wiązki elektronów o jedną podziałkę (div) ekranu w pionie (V/div).

Tor odchylania poziomego (podstawy czasu)

Jak wspomniano powyżej zadaniem oscyloskopu jest graficzne wyświetlenie zmian badanego napięcia w czasie. Gdy brak jest napięcia na elektrodach odchylania poziomego wiązka elektronów będzie zmieniała swoje położenie tylko w pionie, w zależności od amplitudy badanego napięcia, w wyniku czego na ekranie będzie widoczna pionowa linia.

Aby zobaczyć zmiany napięcia w czasie, na elektrody odchylania poziomego doprowadzone jest cyklicznie napięcie liniowo narastające w czasie. Funkcję tą pełni tzw. *generator podstawy czasu*. Uproszczony przebieg napięcia wyjściowego z tego generatora jest przedstawiony na Rys.4.



Rys. 4. Przebieg napięcia na wyjściu najprostszego generatora podstawy czasu.

Wiązka elektronów, pod wpływem napięcia z tego generatora odbywa cykliczną podróż po ekranie w kierunku poziomym. Ze względu na kształt sygnału z generatora podstawy czasu, wiązka odbywa swoją podróż z lewa na prawo stosunkowo wolno, w czasie ustalonym pokrętłem regulacji generatora, który jest na ogół określony na nim jako czas potrzebny na pokonanie jednej działki na ekranie (time/div), natomiast wraca na początek bardzo szybko, by znowu rozpocząć swój jednostajny ruch po ekranie. Na ogół zastosowany jest tu również dodatkowo tzw. *układ wygaszania plamki*, wygaszający wiązkę elektronów w czasie powrotu, aby nie pozostawiała śladu na ekranie.

W ten sposób na ekranie oscyloskopu zrealizowane jest wyświetlanie badanego napięcia w funkcji czasu - V(t).

Układ wyzwalania (trigger)

Ten bardzo ważny układ służy do synchronizacji przebiegów generatora podstawy czasu ze zmianami badanego napięcia. Załóżmy, iż przedmiotem naszych pomiarów jest napięcie zmienne sinusoidalnie o okresie T_B. Niech okres przebiegów z generatora podstawy czasu wynosi T_P. Jeżeli T_P jest całkowitą wielokrotnością T_B to obraz otrzymany na ekranie oscyloskopu będzie stabilny, gdyż w

czasie każdego kolejnego przebiegu „plamki” po ekranie będziemy widzieć zawsze całkowitą ilość okresów badanego napięcia.

Tryby pracy oscyloskopu

Oprócz opisanego jednokanałowego trybu pracy oscyloskopu V(t), tj. obserwacji pojedynczego przebiegu, istnieją jeszcze dwa podstawowe i często wykorzystywane tryby pracy: tryby pracy dwukanałowej V(t) oraz tryb pracy X-Y. W tych przypadkach wykorzystywany jest dodatkowo kanał 2 oscyloskopu.

Tryby pracy dwukanałowej V(t)

Większość oscyloskopów pozwala na jednoczesną obserwację, porównywanie oraz dodawanie lub odejmowanie dwóch niezależnych sygnałów podawanych na kanały 1 i 2 – jest to praca w trybie **DUAL**. W tym trybie na ekranie wyświetlane są jednocześnie dwa przebiegi. Podczas pracy dwukanałowej źródłem sygnału wyzwalającego może być kanał 1 lub 2, przy czym przełączania dokonuje się krótkimi naciśnięciami przycisku **TRIG**. Długie naciśnięcie tego przycisku powoduje włączenie wyzwalania przemiennego sygnałami obu kanałów.

W trybie **ADD** przebiegi wejściowe obu kanałów są sumowane i wynik tej operacji jest wyświetlany w postaci jednego śladu. Odejmowanie sygnałów realizowane jest przez odwracanie sygnału podawanego na kanał 2 (przycisk **INV**).

Tryb pracy X-Y

Oscyloskop może również pracować w tzw. trybie X-Y. Generator sygnału podstawy czasu jest wtedy nieużywany, a na kanał 2 (X) podaje się drugi sygnał wejściowy. Praca w trybie X-Y pozwala między innymi na obserwacje **krzywych Lissajous**.

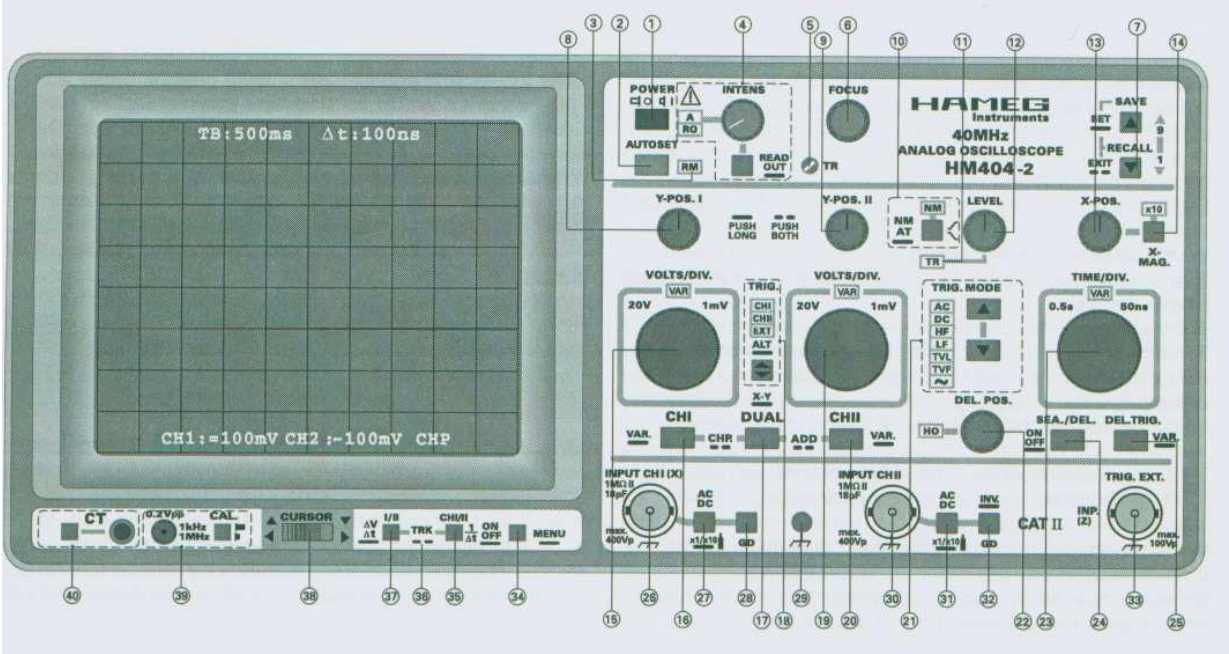
Obsługa oscyloskopu

Do niedawna rzucającą się w oczy cechą charakterystyczną oscyloskopów była bardzo duża ilość pokręteł i przełączników kontrolnych znajdujących się na płycie czołowej. Obecnie, przy coraz powszechniejszym wprowadzaniu układów kontroli elektronicznej, płyty czołowe oscyloskopów mają mniej elementów, dzięki możliwości przełączania pełnionych przez nie w danej chwili funkcji. W nowszych typach oscyloskopów przyciski reagują na krótkie lub długie naciśnięcie oraz na kombinację dwóch przycisków. Ustawienia parametrów są sygnalizowane przez diody LED umieszczone na płycie czołowej lub wyświetlane wprost na ekranie.

Bardzo pomocna funkcja autoregulacji AUTO SET !

Krótkie naciśnięcie przycisku **AUTO SET** powoduje przełączenie oscyloskopu do pracy w ostatnio używanym trybie odchylania pionowego. Jednocześnie funkcja ta ustawia standardowe parametry umożliwiające obserwację i pomiar większości nieskomplikowanych przebiegów.

Płyta czołowa oscyloskopu Hameg HM404



1. **POWER** Przycisk włączania zasilania.
2. **AUTO SET** Przycisk funkcji autoregulacji.
3. **RM** Przycisk sterowania przez interfejs szeregowy RS232.
4. **INTENS** Potencjometr regulacji jaskrawości.
5. **TR** Potencjometr korekcji równoległości śladu.
6. **FOCUS** Potencjometr regulacji ostrości obrazu.
7. **SAVE/RECALL** Przycisk wywoływania i zapisywania pamięci ustawień oscyloskopu. Oscyloskop wyposażono w pamięć w której, w momencie wyłączenia zasilania zapisywane są aktualne ustawienia przyrządu. Pamięć może być również wykorzystywana przez użytkownika do zapamiętania (do 9) różnych ustawień urządzenia, które w każdej chwili można odtworzyć przyciskiem **SAVE/RECALL**.

8. **Y-POS. I** Potencjometr regulacji położenia przebiegu kanału 1 w pionie.
9. **Y-POS. II** Potencjometr regulacji położenia przebiegu kanału 2 w pionie.
10. **NM-AT** Przełącznik wyzwalania automatycznego na normalne i vice versa.
11. **TR** Dioda stanu wyzwalania(patrz **LEVEL**)
12. **LEVEL** Potencjometr regulacji poziomu wyzwalania.
13. **X-POS.** Potencjometr regulacji położenia przebiegu wzdłuż osi poziomej.
14. **X-MAG. x10** Przycisk włączania 10-krotnego rozciągu przebiegu na osi X.
15. **VOLTS/DIV.** Potencjometr czułości wejściowej wzmacniacza odchylania pionowego w mV/div lub w V/div dla kanału 1.
16. **CH I** Przycisk wyboru kanału 1.
17. **DUAL-XY** Przycisk wyboru trybu pracy oscyloskopu.

18. **TRIG.** Przycisk wyboru źródła wyzwalania podczas pracy z wyzwalaniem wewnętrznym lub zewnętrznym.

CH1 - wyzwalanie sygnałem z kanału 1

CH2 - wyzwalanie sygnałem z kanału 2

ALT - Wyzwalanie przemienne z kanału 1 i 2

W trybie wyzwalania przemiennego możliwe jest wyzwalanie podstawy czasu sygnałami o różnych częstotliwościach (asynchronicznymi) w kanałach 1 i 2. W takim przypadku układ odchylania musi pracować w trybie **DUAL** z przemiennym przełączaniem kanałów (**ALT**) i wyzwalaniem wewnętrznym. Aby uniknąć problemów z synchronizacją zalecane jest ustawienie sprzężenia **AC**.

EXT - Wyzwalanie sygnałem zewnętrznym (np. z osobnego generatora). Kształt zewn. sygnału wyzwalającego może całkowicie się różnić od kształtu badanego napięcia, ale oba te sygnały muszą być synchroniczne. Przebieg podajemy na gniazdo **TRIG. EXT**.

19. **VOLTS/DIV**. Potencjometr czułości wejściowej wzmacniacza odchylania pionowego w mV/div lub w V/div dla kanału 2.
20. **CH II** Przycisk wyboru kanału 2.
21. **TRIG. MODE** Przyciski wyboru trybów sprzężenia wyzwalania.

AC – najczęściej używana opcja wyzwalania. Składowa stała oraz niskie częstości sygnału wyzwalającego (sygnału wejściowego) są odcinane.

DC, HF, LF, TFL, TFF , ~ **(LINE)** inne opcje, rzadko stosowane w trakcie obserwacji prostych przebiegów.

22. **DEL.POS. - HO** Pokrętło płynnej regulacji czasu podtrzymania między kolejnymi impulsami podstawy czasu. Dalej używana nazwa **HOLD OFF**.
Funkcja ta jest szczególnie przydatna w przypadku obserwacji sygnałów zawierających impulsy synchronizacji, ciągi impulsów aperiodycznych o tej samej amplitudzie lub zniekształcenia w okolicach punktu wyzwalania.

23. **TIME/DIV.** Skokowy wybór kalibrowanej wartości współczynnika podstawy czasu w zakresie 0.5 s/div do 0.05 µs/div.
24. **SEA./DEL.** Przycisk opóźnionej podstawy czasu i wyzwalania z opóźnieniem.
25. **VAR /DEL. TRIG.** Przycisk kalibracji generatora podstawy czasu / przycisk przełączania na mod wyzwalania z opóźnieniem
26. **INPUT CH I (X)** Wejście sygnału kanału 1.
27. **AC/DC** Przełącznik rodzaju sprzężenia sygnału wejściowego kanału 1.
28. **GD** Wciśnięcie przycisku odłącza sygnał wejściowy.
29. **Ground Socket** Gniazdo bananowe do uziemienia oscyloskopu
30. **INPUT CH II** Wejście sygnału kanału 2.
31. **AC/DC** Przełącznik rodzaju sprzężenia sygnału wejściowego kanału 2.
32. **GD - INV.** Przycisk odłączania wejścia i odwracania fazy przebiegu w kanale 2
33. **TRIG. EXT./INPUT (Z)** Gniazdo BNC do którego można podłączyć wyzwalane zewn.

34. **MENU** Przycisk wywołania menu kalibracji oscyloskopu.

35. **ON/OFF - CHI/II - 1/Δt** Przycisk wyświetlania na ekranie linii kursorów. Dłuższe przytrzymanie przycisku przełącza linie poziome na pionowe.
36. **TRK - Cursor** Przełącznik razem z przyciskiem 35 na tryb pojedynczej linii kursora i dwóch linii kursorów.
37. **I/II - ΔV/Δt** Przełącznik aktywujący kolejno kursory oraz zmieniający(dłuższe przytrzymanie) skalę czasową na wolty.
38. **CURSOR** Przyciski sterowania liniami kursorów.
39. **CAL.** Przycisk i gniazdo koncentryczne służące do kalibracji przyrządu.
40. **CT** Przycisk i gniazdo bananowe służące do testowania komponentów oscyloskopu.