

4.4 Wyznaczanie prędkości dźwięku w cieczach metodą fali biegnącej (F6)

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie prędkości dźwięku w wodzie i roztworach wodnych NaCl oraz zastosowanie metody akustycznej do wyznaczenia nieznanego stężenia roztworu wodnego NaCl.

Zagadnienia do przygotowania:

- fale w ośrodkach sprężystych (rodzaje fal);
- fale dźwiękowe, ultradźwięki - wytwarzanie;
- prędkość fali (prędkość fazowa i grupowa);
- metody wyznaczania prędkości fal dźwiękowych w płynach;
- pomiar prędkości dźwięku metodą fali biegnącej;
- drgania harmoniczne, składanie drgań harmonicznnych - krzywe Lissajous;
- zasada działania i obsługa oscyloskopu.

Literatura podstawowa: [25] §16.1, 16.2, 17.1-17.5, 17.8, 17.9, 18.1-18.5; literatura dodatkowa: [1], [2], [11], [22].

4.4.1 Podstawowe pojęcia i definicje

Większość informacji podana została w rozdziale 4.3 (*UWAGA: rozdział 4.3 jest umieszczony na końcu czytanej instrukcji*), tutaj przedstawione są specyficzne pojęcia potrzebne przy pomiarze prędkości dźwięku w cieczy.

Prędkość rozchodzenia się fal mechanicznych w cieczach

Prędkość rozchodzenia się fal mechanicznych w cieczach zależy od ciśnienia, temperatury i gęstości ośrodka. Dla większości cieczy czystych zależność prędkości rozchodzenia się w nich ultradźwięków od temperatury i ciśnienia jest z dobrym przybliżeniem liniowa. W przypadku roztworów i mieszanin, prędkość rozchodzenia się w nich fali ultradźwiękowej jest zależna od stężenia. Dla małych stężeń soli (do około 25%) zależność ta jest liniowa. W przypadku wodnych roztworów kwasów zakres liniowości jest ograniczony do znacznie niższych stężeń [22].

Przetworniki ultradźwiękowe

W doświadczeniu wykorzystywane są fale ultradźwiękowe, czyli fale akustyczne o częstotliwości powyżej 20 kHz. Do generacji i detekcji fal ultradźwiękowych służą przetworniki, które przetwarzają energię elektryczną, świetlną lub mechaniczną na energię fali ultradźwiękowej (głowice ultradźwiękowe nadawcze) lub odwrotnie (detektory – głowice ultradźwiękowe odbiorcze). Stosowane są przetworniki piezoelektryczne, magnetostrykcyjne, Najwygodniejsze w użyciu i najbardziej efektywne są ultradźwiękowe przetworniki piezoelektryczne (najbardziej znanym kryształem piezoelektrycznym jest kwarc). Wykorzystywane jest w nich zjawisko piezoelektryczne polegające na tym, że pewne kryształy umieszczone w polu elektrycznym doznają odkształceń mechanicznych

Wyznaczanie prędkości dźwięku w cieczach metodą fali biegnącej (F6) 191

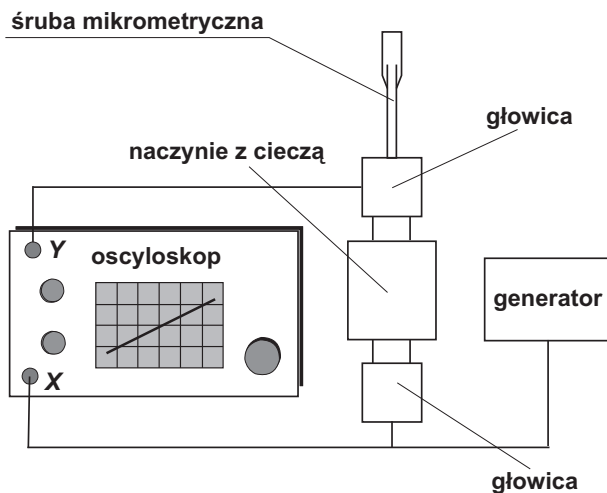
zależnych od wartości przyłożonego pola. W ten sposób, przykładając szybko zmienne pole elektryczne (z generatora), otrzymujemy drgania kryształu. W ośrodku, w którym znajduje się kryształ, generowane są fale akustyczne o częstotliwości zadanej przez generator. Detektory ultradźwięków wykorzystują zjawisko piezoelektryczne odwrotne. Polega ono na wytworzeniu różnicy potencjałów na kryształach piezoelektrycznym pod wpływem odkształceń mechanicznych wywołanych padającą falą ultradźwiękową.

4.4.2 Przebieg pomiarów

Układ pomiarowy

W skład układu doświadczalnego wchodzi: generator wysokiej częstotliwości, przetworniki ultradźwiękowe, śruba mikrometryczna, naczynie pomiarowe, oscyloskop. Do dyspozycji jest również elektroniczna waga laboratoryjna, menzurki, zlewki, mieszadełka, sól kuchenna (NaCl) i woda destylowana.

Schemat układu do pomiaru prędkości dźwięku metodą fali biegnącej przedstawiony jest na rysunku 4.4.1. Idea pomiaru jest taka sama jak przy wyznaczaniu prędkości dźwięku w powietrzu (rozdział 4.3). Rolę głośnika i mikrofonu pełnią przetworniki ultradźwiękowe: głowica nadawcza i odbiorcza. Głowica nadawcza i odbiorcza zanurzone są w badanej cieczy znajdującej się w naczyniu pomiarowym umieszczonym nad nieruchomą głowicą nadawczą. Precyzyjne przesuwanie głowicy odbiorczej umożliwia śruba mikrometryczna.



Rys. 4.4.1: Schemat układu do pomiaru prędkości dźwięku w cieczach metodą fali biegnącej.

Przebieg doświadczenia

Zapoznać się z zestawem eksperymentalnym i parametrami poszczególnych przyrządów, połączyć obwód eksperymentalny. Zbiorniczek nad przetwornikiem napełnić wodą destylowaną. Częstotliwość generatora ultradźwięków wybierać z zakresu 1.0 – 2.5 MHz.

Przy pomocy śruby mikrometrycznej przesuwając górną głowicę tak, aby uzyskane na ekranie oscyloskopu krzywe Lissajous były odcinkami. Odczytać i zapisać te położenia śruby mikrometrycznej. Pomiary powtórzyć kilkakrotnie dla kilku różnych częstości.

Sporządzić roztwory NaCl w wodzie destylowanej o różnych stężeniach np. 25%, 20%, 15%, 10% i 5%. Dla każdego roztworu przeprowadzić pomiary w analogiczny sposób jak dla wody destylowanej.

Stosując tę samą metodę wykonać pomiary dla wodnego roztworu NaCl o nieznanym stężeniu (np. sporządzonego przez kolegę lub dostarczonego przez asystenta opiekującego się ćwiczeniem).

4.4.3 Opracowanie wyników

Każdemu pomiarowi odczytanego położenia głowicy odbiorczej z przyporządkować kolejny numer pomiaru n . Dla każdej badanej częstości wykonać wykres zależności odczytanych położenia mikrofonu z od przyporządkowanego numeru pomiaru n . Zależność ta opisana jest równaniem

$$z = \frac{\lambda}{2}n + b. \quad (4.4.1)$$

Dzięki temu metodą regresji liniowej można wyznaczyć wartość długości fali (oraz jej niepewność) odpowiadającą każdej z badanych częstości. Oszacować niepewność pomiarową wyznaczenia okresu badanych fal dźwiękowych (metodą różniczki zupełnej). Wykonać wykresy zależności długości fali λ od okresu T i metodą regresji liniowej wyznaczyć wartość prędkości ultradźwięków w wodzie destylowanej i w badanych roztworach wodnych NaCl. Sporządzić wykres zależności prędkości ultradźwięków od stężenia roztworu NaCl. Pamiętać o naniesieniu prostokątów niepewności pomiarowych. Korzystając z tej zależności wyznaczyć stężenie nieznanego roztworu wodnego NaCl wraz z niepewnością pomiarową. Przeprowadzić dyskusję zgodności uzyskanych wyników z wartościami, które można znaleźć w tablicach.

4.3 Wyznaczanie prędkości dźwięku w powietrzu metodą fali biegnącej (F2)

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie prędkości dźwięku w powietrzu metodą fali biegnącej.

Zagadnienia do przygotowania:

- fale w ośrodkach sprężystych (rodzaje fal); fale dźwiękowe;
- prędkość fali (prędkość fazowa i grupowa);
- metody wyznaczania prędkości fal dźwiękowych w gazach;
- pomiar prędkości dźwięku metodą fali biegnącej;
- drgania harmoniczne, składanie drgań - krzywe Lissajous;
- zasada działania i obsługa oscyloskopu;
- wykonanie w postaci pisemnej zadania z podrozdziału 4.3.1.

Literatura podstawowa: [25] §16.1, 16.2, 17.1-17.5, 17.8, 17.9, 18.1-18.5; literatura dodatkowa [2], [22].

4.3.1 Podstawowe pojęcia i definicje

Fale biegnące w ośrodku sprężystym

W wyniku zmiany parametrów jakiegoś elementu objętości ośrodka sprężystego następują jego drgania (np. harmoniczne) wokół jego położenia równowagi. Dzięki sprężystym właściwościom ośrodka drgania te są przekazywane do dalszych jego części. W dwóch wymiarach dowolną falę rozchodzącą się w kierunku osi x można opisać równaniem falowym:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = u^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}. \quad (4.3.1)$$

Jest to równanie różniczkowe, którego rozwiązaniem jest fala o stałym kształcie opisanym przez funkcje harmoniczne:

$$y = A \cos \left[\omega \left(t - \frac{x}{u} \right) \right]. \quad (4.3.2)$$

przy czym: $u = \lambda f$ i $f = T^{-1}$, gdzie u – jest prędkością rozchodzenia się fali w danym ośrodku, λ – jest długością fali, f – częstotliwością, T – okresem, $\omega = 2\pi f$ jest tzw. częstotliwością kołową. Często używa się również wielkości nazywanej liczbą falową – $k = 2\pi/\lambda$. Równanie fali (4.3.2) przyjmuje wtedy prostszą postać:

$$y = A \cos(\omega t - kx). \quad (4.3.3)$$

Falę opisaną tym równaniem nazywamy falą biegnącą. Warto zwrócić uwagę, że fala jest jednoznacznie zadana przez podanie jej częstotliwości f , gdyż równanie fali wiąże ze sobą długość fali o częstotliwości f z jej prędkością w danym ośrodku. Częstotliwość fali f zadawana jest przez źródło wytwarzające falę, a prędkość fali u determinują

własności ośrodka, w którym fala się rozchodzi. Fale mechaniczne przenoszą energię dzięki propagacji zaburzenia w materii, nie powodując jednakże jej ruchu postępowego.

Dyspersja fal, prędkość fazowa i grupowa fali

Prędkość fazowa fali to prędkość, z jaką przemieszcza się określona faza fali biegnącej. Fazą nazywamy argument funkcji $y = F(\omega t - kx)$. W związku z tym prędkość fazowa wynosi:

$$u = \frac{\lambda}{T} = \lambda f = \frac{\omega}{k}. \quad (4.3.4)$$

Jeżeli prędkość fali u zależy od jej długości λ , to fala wykazuje dyspersję. Miarą dyspersji jest pochodna $du/d\lambda$. Gdy pochodna ta jest dodatnia, mamy do czynienia z dyspersją normalną - prędkość fali rośnie z jej długością; w przeciwnym przypadku dyspersja jest anomalna. Jeżeli rozważymy nakładanie się dwóch ciągów fal o zbliżonych długościach fal i zbliżonych prędkościach, to maksimum wychylenia będzie przesuwało się z prędkością grupową u_g

$$u_g = \frac{d\omega}{dk} = u - \lambda \frac{du}{d\lambda}. \quad (4.3.5)$$

W przypadku braku dyspersji ($du/d\lambda = 0$) prędkość grupowa jest równa prędkości fazowej.

Fale poprzeczne i podłużne

Rodzaj fal rozchodzących się w danym ośrodku zależy od jego właściwości sprężystych, gdyż rozchodzą się tylko te drgania, które wywołują sprężyste odkształcenia ośrodka. Gdy cząstki ośrodka wykonują drgania w kierunku zgodnym z kierunkiem rozchodzenia się fali mówimy, że w ośrodku rozchodzi się fala podłużna, a gdy cząstki ośrodka wykonują drgania w kierunkach prostopadłych do kierunku rozchodzenia się fali mówimy o fali poprzecznej. W ośrodkach wykazujących jedynie sprężystość objętości (gazy i większość cieczy), mogą rozchodzić się tylko fale podłużne. Natomiast w ośrodkach ulegających zarówno odkształceniu objętościowemu, jak i odkształceniu postaci, a takie właściwości mają ciała stałe, mogą rozchodzić się zarówno fale podłużne, jak i poprzeczne.

Fala dźwiękowa i ultradźwięki

Fala dźwiękowa jest podłużną falą mechaniczną o częstotliwości z zakresu słyszalnego dla człowieka tj. od około 20 Hz do około 20 kHz. Fale o częstotliwości wyższej od górnej granicy nazywamy ultradźwiękami, a o częstotliwości niższej od dolnej granicy – infradźwiękami.

Wyznaczanie prędkości dźwięku w powietrzu metodą fali biegnącej (F2)87

Prędkość rozchodzenia się fal mechanicznych w gazie

Prędkość fali mechanicznej rozchodzącej się w gazie doskonałym opisuje zależność:

$$u = \sqrt{\kappa p / \rho}, \quad (4.3.6)$$

gdzie: p – ciśnienie, $\kappa = C_p/C_V$, ρ – gęstość gazu. Dla gazów rzeczywistych prędkość rozchodzenia się fali dźwiękowej wykazuje słabą liniową zależność od temperatury. W gazach wieloatomowych występuje zjawisko dyspersji, czyli zależność prędkości od częstotliwości dźwięku. Dla fal dźwiękowych w powietrzu dyspersja jest bardzo mała i zależy głównie od zawartości dwutlenku węgla i pary wodnej.

Zadanie 1. W jakim zakresie częstotliwości f można prowadzić pomiar prędkości dźwięku metodą fali biegnącej, jeżeli mikrofon przesuwany jest na tle skali o długości 1 m?

4.3.2 Przebieg pomiarów

Układ doświadczalny

W skład układu doświadczalnego wchodzi: dekadowy generator akustyczny, głośnik i mikrofon umieszczone wewnątrz szklanej rury na tle skali milimetrowej, którą jest linijka o długości 1 m; oscyloskop.

Metoda pomiarowa

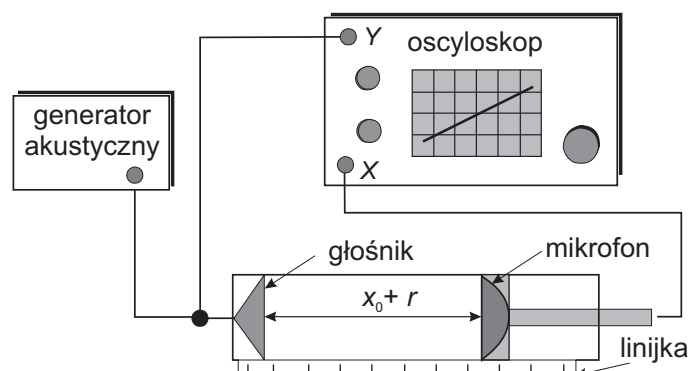
W warunkach laboratoryjnych pomiaru prędkości rozchodzenia się fali akustycznej w płynie (gazie lub cieczy) dokonać można metodą fali biegnącej lub metodą fali stojącej. Schemat układu do pomiaru prędkości dźwięku metodą fali biegnącej przedstawiony jest na rysunku 4.3.1. Sygnał z generatora akustycznego podawany jest na płytki odchylenia pionowego oscyloskopu oraz na głośnik. Emitowaną przez głośnik falę dźwiękową mikrofon przetwarza na sygnał elektryczny, który po wzmacnieniu podawany jest na płytki odchylenia poziomego oscyloskopu. Odległość mikrofon-głośnik można zmieniać przesuwając mikrofon na tle skali o długości 1 m.

Jeżeli przyjmiemy, że sygnał z generatora akustycznego podawany na oscyloskop odpowiada fali dźwiękowej w punkcie x_0 , w którym znajduje się głośnik, to sygnał podawany na płytki odchylenia pionowego oscyloskopu zapisać można równaniem:

$$y_G = A \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_0}{\lambda} \right) + \delta \right]. \quad (4.3.7)$$

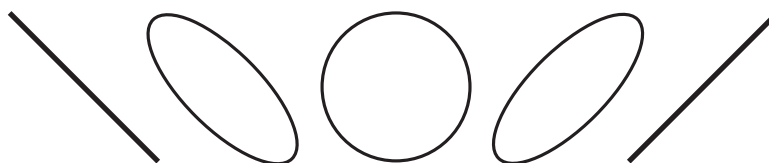
Sygnał podawany na płytki odchylenia poziomego oscyloskopu jest wzmacnionym sygnałem odbieranym przez mikrofon znajdujący się w odległości r od głośnika (generatora). Można go więc zapisać w postaci:

$$y_M = A \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x_0 + r}{\lambda} \right) + \delta \right]. \quad (4.3.8)$$



Rys. 4.3.1: Schemat układu do pomiaru prędkości dźwięku w powietrzu metodą fali biegnącej.

Zmieniając położenie mikrofonu możemy zmieniać różnicę faz tych sygnałów: $\Delta = 2\pi r/\lambda$. Na ekranie oscyloskopu obserwować będziemy zmianę kształtu krzywej Lissajous, która powstała w wyniku złożenia powyższych opisanych sygnałów (rysunek 4.3.2).



Rys. 4.3.2: Krzywe Lissajous obserwowane na ekranie oscyloskopu w zależności od odległości głośnik-mikrofon.

Przy przesuwaniu mikrofonu o jedną długość fali elipsa dwukrotnie degeneruje się do odcinka (różnica faz sygnałów składowych wynosi wtedy π lub 0 , co odpowiada różnicy długości fali $\lambda/2$ lub λ). Pozwala to na wyznaczenie długości badanej fali dźwiękowej.

Przebieg doświadczenia

Dla wybranej częstotliwości fali dźwiękowej (np. 1 kHz) podawanej z generatora akustycznego wyznaczyć okres T używając oscyloskopu oraz wykonując odpowiednie obliczenia. Ustalić czy lepiej dokonywać pomiaru okresu T przy pomocy oscyloskopu czy raczej bazować na odczycie częstotliwości f z generatora. Zdecydować jak będzie wykonywany pomiar i odpowiednio skorygować plan pracy.

Przełączyć oscyloskop w tryb $X - Y$. Zmieniając odległość mikrofonu od głośnika obserwować zmiany kształtu krzywej Lissajous i dokonać pomiaru położenia mikrofonu, które pozwolą na wyznaczenie długości badanej fali dźwiękowej. Wykonać analogiczne

Wyznaczanie prędkości dźwięku w powietrzu metodą fali biegnącej (F2)89

pomiary dla częstotliwości poniżej 1 kHz (np. 500 Hz). Czy do wyznaczenia prędkości dźwięku w powietrzu warto używać częstotliwości niższych niż 1 kHz?

Dla kilku wybranych częstotliwości z zakresu 1 – 5 kHz wykonać pomiary pozwalające na wyznaczenie długości fali oraz okresu T .

4.3.3 Opracowanie wyników

Każdemu pomiarowi odczytanego położenia mikrofonu z przyporządkować kolejny numer pomiaru n . Dla każdej badanej częstotliwości wykonać wykres zależności odczytanych położenia mikrofonu z od przyporządkowanego numeru pomiaru n . Zależność ta opisana jest równaniem

$$z = \frac{\lambda}{2}n + b. \quad (4.3.9)$$

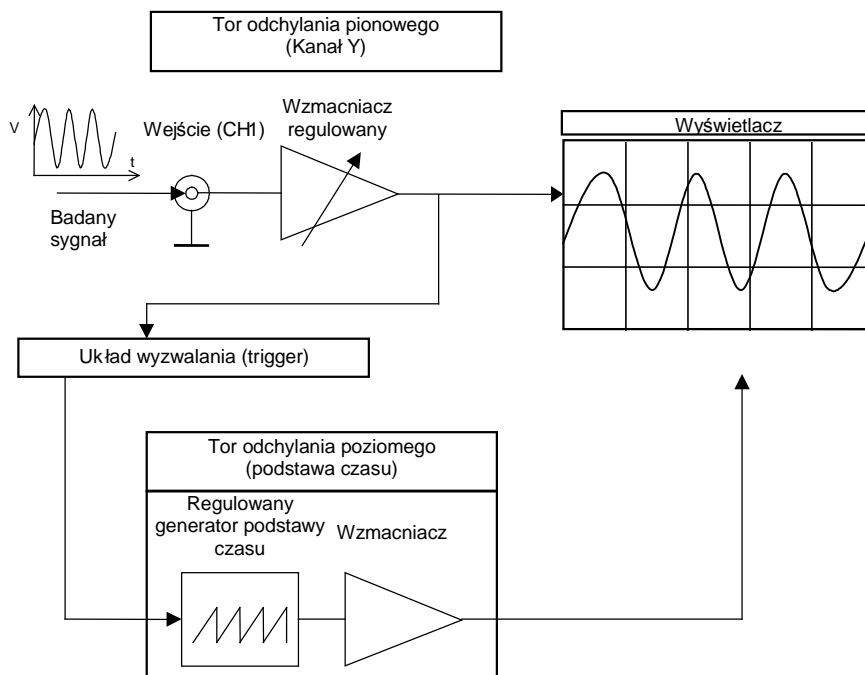
Dzięki temu metodą regresji liniowej można wyznaczyć wartość długości fali (oraz jej niepewność) odpowiadającą każdej z badanych częstotliwości. Oszacować niepewność pomiarową wyznaczenia okresu badanych fal dźwiękowych (metodą różniczki zupełnej). Wykonać wykres zależności długości fali λ od okresu T i metodą regresji liniowej wyznaczyć wartość prędkości dźwięku w powietrzu oraz jej niepewność. Porównać uzyskany wynik z dostępnymi danymi literaturowymi.

Oscyloskop – podstawy działania i obsługi

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 lub 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.

Oscyloskop składa się z czterech głównych bloków funkcyjnych (Rys. 1.):

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



Rys. 1. Schemat blokowy oscyloskopu

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) – jest to obserwacja pojedynczego przebiegu. Można także jednocześnie prowadzić obserwację, porównywać oraz dodawać lub odejmować dwa niezależne sygnały podawane na kanały 1 i 2 – jest to obserwacja dwu przebiegów, przy wykorzystaniu dwu kanałów. Inny tryb pracy oscyloskopu, wykorzystujący dwa kanały,

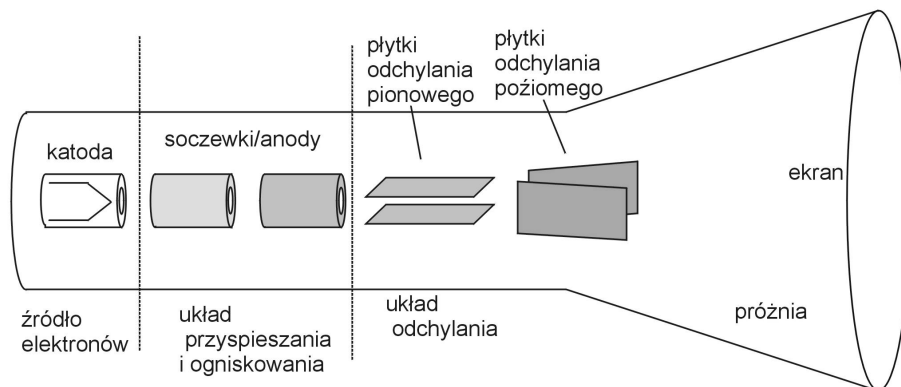
pozwała na obserwację krzywych Lissajoux – jest to tryb pracy X-Y, w którym generator sygnału podstawy czasu jest nieużywany.

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.2., 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.2. 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

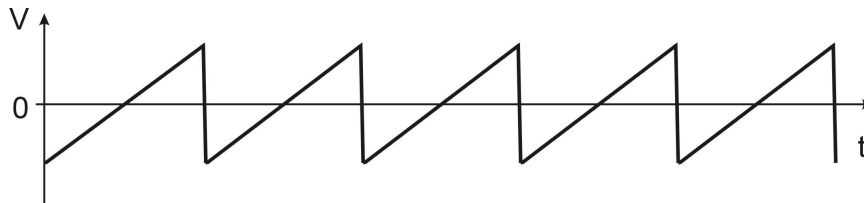
Podstawowym zadaniem toru odchylania pionowego jest odpowiednie wzmocnienie lub osłabienie badanego sygnału. Jest to realizowane przy pomocy regulowanego wzmacniacza kontrolowanego pokrętkiem regulacji wzmocnienia, określającym jaka wielkość napięcia wejściowego powoduje wychylenie wiązki elektronów 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 odchylenia 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.3.



Rys. 3. 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 pokrętelem 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 przemiennymi 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 obserwację **krzywych Lissajoux**.

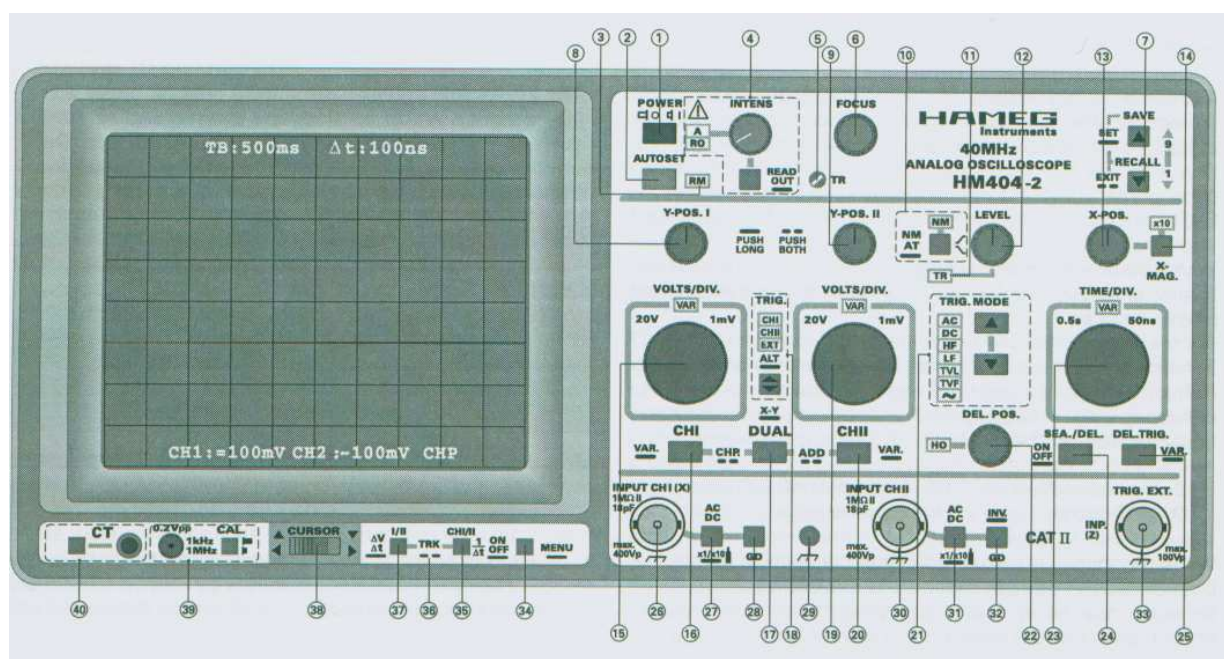
Obsługa oscyloskopu

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 odchylenia 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 odchylenia 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 odchylenia 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 odchylenia 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 częstotliwości 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** Pokrętko 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 wyzwalone 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 napięciową.
- 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.