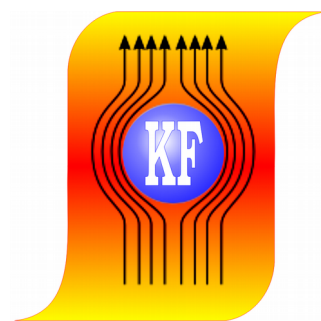
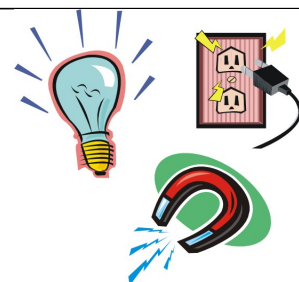


KATEDRA FIZYKI

***WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
I TECHNOLOGII MATERIAŁÓW
POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA***



***PRACOWNIA
ELEKTRYCZNOŚCI I MAGNETYZMU***



ĆWICZENIE NR E-11

***POMIAR CZĘSTOŚCI DRGAŃ GENERATORA
PRZY UŻYCIU OSCYLOGRAFU KATODOWEGO***

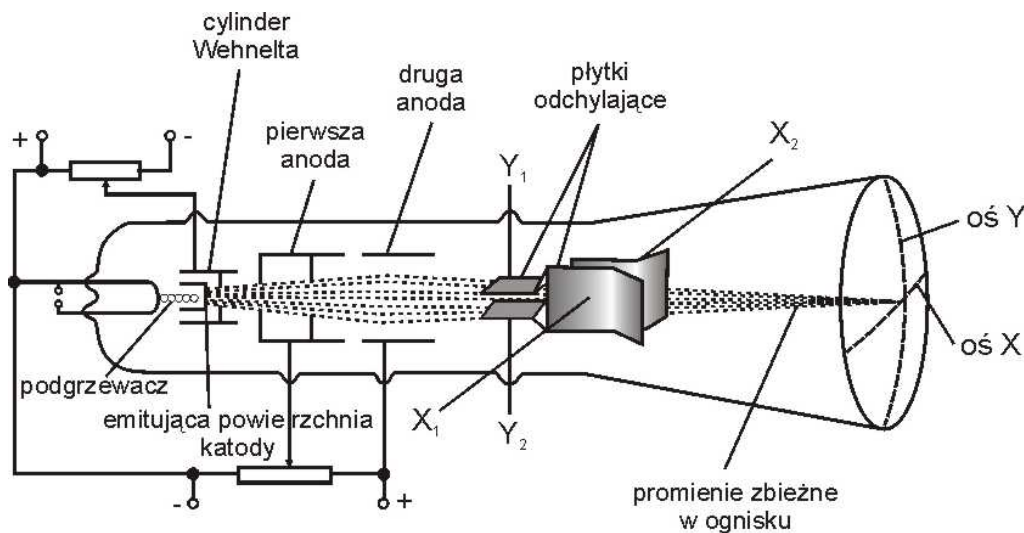
I. Zagadnienia do przestudiowania

1. Powstawanie drgań elektrycznych.
2. Składanie drgań. Krzywe Lissajous.
3. Ogólna budowa i działanie generatora. Rodzaje generatorów.
4. Ogólna budowa, zasada i zastosowanie oscyloskopu katodowego.

II. Wprowadzenie teoretyczne

1. Ogólna budowa i zasada działania lampy oscylograficznej

Zasadniczą częścią oscylografu katodowego jest lampa oscyloskopowa. Lampa ta jest zamkniętą, opróżnioną z powietrza, rurą szklaną, w której strumień elektronów może być odchylany w polu elektrycznym (lub magnetycznym) (rys. 1).



Rys. 1. Schematyczna budowa lampy oscyloskopowej

Strumień elektronów jest wytwarzany przez ogrzaną prądem zmiennym powierzchnię emitującą elektrony - katodą. Katoda jest osłonięta walcem metalowym, tzw. cylindrem Wehnelta, zaopatrzonym w mały otworek, przez który wylatują elektrony. Do cylindra Wehnelta przykłada się niezbyt duży potencjał ujemny względem potencjału katody. Przez zmianę tego ujemnego potencjału można zmieniać natężenie strumienia (wiązki) elektronów, a dzięki temu jasność plamki na ekranie. Następnie strumień elektronów przelatuje przez obszar pola elektrycznego wytwarzanego przez szereg anod (co najmniej dwóch jak na rys. 1). Pole to przyśpiesza elektrony i ogniskuje strumień na fosforyzującym ekranie. Regulacja ostrości plamki na ekranie sprowadza się do regulacji różnicy potencjałów między kolejnymi anodami. Katoda, cylinder Wehnelta i anody tworzą układ, który często określa nazwą „działo elektronowe”.

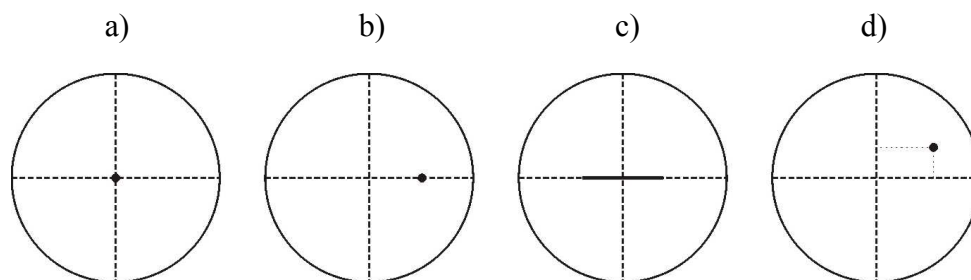
Ćwiczenie E-11: Pomiar częstości drgań generatora przy użyciu oscylografu katodowego

Strumień elektronów wytwarzany przez działło elektronowe pada na warstwę substancji fluoryzującej, którą pokryta jest prostopadła do osi strumienia ścianka lampy zwana ekranem. Aby uniknąć powstawania naboju na ściankach lampy, w wyniku rozpraszania elektronów i jonów resztek gazów, wewnętrzna powierzchnia lampy na odcinku od ostatniej anody do ekranu pokryta jest warstwą grafitu. W celu zachowania warunku bezpiecznej obsługi oscylografu (stosowane napięcia są rzędu od kilkuset do około dwóch tysięcy woltów) ostatnia anoda, warstwa grafitu i ekran są uziemione. Uziemienie to zapewnia również odizolowanie elektrod lampy i strumienia elektronów od niepożądanego wpływu elektrostatycznych pól otoczenia.

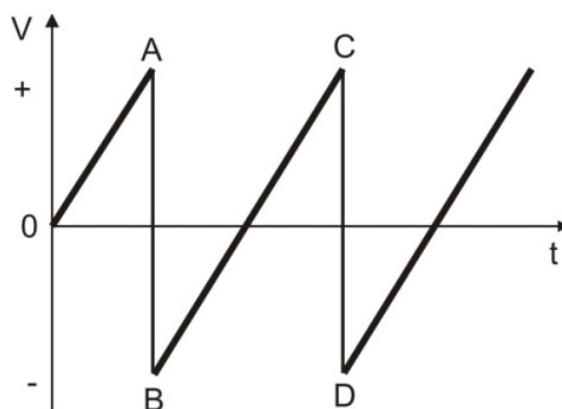
Wytwarzany przez działło elektronowe strumień elektronów może być odchylany od centralnego (osiowego) biegu poprzez zastosowanie pola magnetycznego albo elektrycznego.

W większości lamp oscylograficznych stosuje się metodę odchylenia elektrostatycznego. Odpowiednie urządzenie do takiego odchylenia składa się z dwóch par elektrod płaskich. Płytki/elektrody danej pary są do siebie równoległe. Płytki jednej pary ustawione są pionowo, a drugiej - poziomo. Jeżeli do pary elektrod pionowych przykładamy stałą co do wartości i co do kierunku różnicę potencjałów (stałe napięcie), to wytworzone między tymi elektrodami pole elektrostatyczne odchyli strumień/wiązkę elektronów w kierunku dodatniej elektrody; i - co za tym idzie - na ekranie lampy obserwujemy plamkę świetlną przesuniętą względem „położenia zerowego”. Jest to przesunięcie w kierunku poziomym, inaczej wzdłuż osi x ; co ilustrują rysunki 2a i b. Dlatego pionowa para płytek odchylających nosi nazwę płytek odchylania poziomego. Podobnie para płytek o orientacji poziomej umożliwia odchylenie wiązki w kierunku pionowym - wzdłuż osi y - i dlatego nosi nazwę płytek odchylania pionowego. Przy czym efektywne wartości przesunięć x i y są odpowiednio proporcjonalne do napięć U_1 i U_2 przyłożonych do par płytek odchylania poziomego i pionowego.

Jeśli do danej pary elektrod podłączymy zmieniającą się w czasie różnicę potencjałów, zarówno co do kierunku, jak i co do wartości, to wiązka elektronów odchyli się od pierwotnego kierunku (osi) raz w jedną, raz w drugą stronę; w wyniku czego również plamka na ekranie wykonuje analogiczny ruch względem „położenia zerowego”. Przy czym z uwagi na dużą bezwładność ludzkiego oka ruch plamki może być skutecznie śledzony tylko w przypadku bardzo wolnych zmian napięć przykładanych do elektrod danej pary. Natomiast w przypadku szybkich zmian napięcia przyłożonego do elektrod pary odchylającej, na ekranie obserwuje się jedynie odcinek prostej - kreska świetlna o długości proporcjonalnej do zakresu zmian napięcia; co np. dla kierunku poziomego x ilustruje rysunek 2c. Ponieważ w lampie oscylograficznej znajdują się dwie wzajemnie prostopadłe pary płytek odchylających, to oczywiście można realizować osobno odchylenie wiązki i plamki na ekranie w kierunku poziomym x albo pionowym y , albo też uzyskiwać superpozycję obu odchyleń; jak to np. ilustruje rysunek 2d.



Rys 2. Przykładowe obrazy plamki na ekranie lampy oscylograficznej: a) potencjały par płytek odchylających równe zero - plamka w „położeniu zerowym”, b) do pary płytek odchylenia poziomego przyłożono stałe napięcie U_1 , c) do pary płytek odchylenia poziomego przyłożono napięcie zmieniające się „szybko” w przedziale od $-U_1$ do $+U_1$, d) do pary płytek odchylenia poziomego przyłożono stałe napięcie U_1 , a do pary płytek odchylenia pionowego - stałe napięcie $U_2 < U_1$



Rys. 3. Piłokształtne drgania napięcia liniowej podstawy czasu

Aby można było badać zmiany napięć w czasie, sygnał napięcia zmiennego zwykle doprowadza się do płytek odchylenia pionowego, natomiast do płytek odchylenia poziomego doprowadza się napięcie zmieniające się w czasie tak jak to przedstawia rysunek 3 - zwane napięciem piłokształtnym albo też napięciem „liniowej podstawy czasu”. Drgania te cechuje liniowy wzrost napięcia w zakresie wartości napięć, odpowiadających na rysunku 3 punktom 0 i A, B i C itd., oraz raptowny, odbywający się w bardzo krótkim czasie, przeskok między wartościami napięć odpowiadających punktom A i B, C i D itd. Do wytwarzania napięcia piłokształtnego służy generator podstawy czasu. Okres, a więc i częstotliwość zmian tego napięcia (inaczej generatora) można zmieniać. Najprostszym przykładem generatora takich napięć może być układ składający się z kondensatora, opornika oraz neonówki. Częstotliwość drgań piłokształtnych wytwarzanych przez układ zmienia się poprzez zmianę pojemności kondensatora.

Jeżeli napięcie między płytkami odchylenia poziomego x rośnie proporcjonalnie do czasu (np. w zakresie czasu odpowiadającego punktom B i C na rys. 3), to plamka świetlna przesuwa się równomiernie w czasie od jednej strony do drugiej, po czym osiągnąwszy maksymalne wychylenie wraca w bardzo krótkim czasie do pozycji „wyjściowej” (odpowiadającej punktowi D na rys. 3) itd.

Przyłożenie do płytek odchylenia pionowego y badanego napięcia skutkuje chwilowym przesunięciem plamki świetlnej w pionie proporcjonalnym do chwilowej wartości napięcia badanego, a jednocześnie napięcie liniowej podstawy czasu przyłożone do płytek odchylenia poziomego wymusza chwilowe przesunięcie poziome x plamki proporcjonalne do chwilowej wartości napięcia tej podstawy czasu, a jednocześnie proporcjonalne do czasu, jaki upłynął od chwili, w której napięcie między płytkami odchylenia poziomego było najmniejsze. (Na przykład na rysunku 3: na odcinku „zęba” BC przesunięcie poziome x plamki jest proporcjonalne do czasu rozumianego jako różnica czasu rzeczywistego t i czasu t_B , dla którego napięcie między płytkami $V = V_{\min} = V_B$). W efekcie na ekranie obserwuje się świetlną krzywą, będącą obrazem czasowego przebiegu badanego sygnału napięciowego.

2. Obserwacja i pomiar częstości sinusoidalnych drgań napięcia z wykorzystaniem liniowej podstawy czasu

Jeśli w szczególności do płytek odchylenia pionowego podłączymy napięcie zmienne sinusoidalne, a płytki odchylenia poziomego podłączone są do generatora liniowej podstawy czasu, to na ekranie obserwujemy krzywą świetlną w postaci krzywej charakterystycznej dla chwilowego przestrzennego obrazu fali rozchodzącej się w kierunku osi poziomej x, to jest sinusoidy. Jeżeli okres napięcia sinusoidalnego T_s jest równy okresowi napięcia liniowej podstawy czasu T_p albo inaczej, jeśli częstość f_s napięcia sinusoidalnego jest równa częstości f_p napięcia podstawy czasu, na ekranie obserwujemy jedną sinusoidę - „jedną długość fali” λ_1 - odpowiadającą czasowym zmianom w zakresie jednego cyklu sinusoidalnego - jednego okresu T_s (rys. 4a). Jeżeli okres T_s jest dwa razy mniejszy od T_p ($T_s = T_p/2$, $f_s = 2 f_p$), to obserwujemy obraz ciągu falowego o długości równej podwojonej długości fali przedstawiającego czasowe zmiany napięcia sinusoidalnego w przedziale dwóch cykli sinusoidalnych - dwóch okresów T_s , przy czym $2\lambda_2 = \lambda_1$ (rys. 4b).

W ogólności, jeśli stosunek częstości f_s drgań sinusoidalnych napięcia (podłączonego do płytek odchylenia pionowego y) do częstości f_p napięcia liniowej podstawy czasu (podłączonego do płytek odchylenia poziomego x) jest liczbą całkowitą

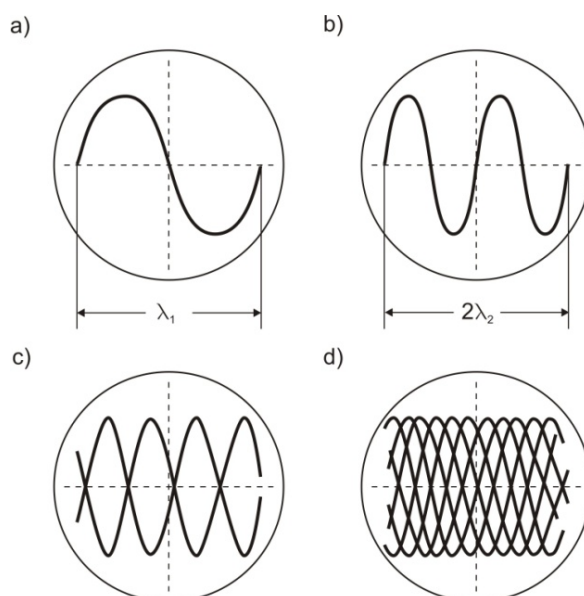
$$\frac{f_s}{f_p} \equiv \frac{f_{sy}}{f_{px}} = n = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

to na ekranie obserwuje się świetlny obraz w postaci prostego ciągu falowego o długości

$$d = n\lambda_2 = \lambda_1 \quad (2)$$

Ustalenie liczby n jako stosunku λ_1/λ_n (zwykle policzenie) umożliwia proste wyznaczenie (pomiar) częstości f_s

$$f_s = n f_p; \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$



Rys. 4. Przykładowe obrazy obserwowane na ekranie oscylografu z użyciem liniowej podstawy czasu o częstości f_p podłączonej do płytek odchylenia poziomego: a) częstość f_s sinusoidalnego napięcia przyłożonego do płytek odchylenia pionowego równa częstości liniowej podstawy czasu: $f_s = f_p$; b) przypadek $f_s = 2f_p$; c) $f_s = 2,5f_p$; d) $f_s = 1,8f_p$

Gdy stosunek częstości f_s drgań sinusoidalnych napięcia (podłączonego do płytek odchylenia pionowego y) do częstości f_p napięcia liniowej podstawy czasu nie jest liczbą całkowitą, to świetlny obraz obserwowany na ekranie jest bardziej złożony (patrz np. rys. 4c i d) i metoda wyznaczania f_s z użyciem liniowej podstawy czasu staje się mało przydatna.

3. Zasada wyznaczania częstości sinusoidalnych drgań napięcia z użyciem sinusoidalnej podstawy czasu

Zamiast napięcia liniowej podstawy czasu do płytek odchylenia poziomego x możemy podłączyć generator zmiennego napięcia sinusoidalnego o częstości f_x , inaczej - o częstości kołowej (pulsacji) $\omega_x = 2\pi f_x$. I wtedy mówimy o sinusoidalnej podstawie czasu. Jeżeli np. zmiany napięcia podstawy tej sinusoidalnej podstawy czasu opisuje równanie

$$U_x(t) = U_{ox} \sin(\omega_x t + \phi_x) \quad (4)$$

gdzie: U_{ox} jest amplitudą napięcia sinusoidalnej podstawy czasu, U_x - wartością tego napięcia w chwili t , ϕ_x - wartością fazy początkowej,

to również poziomy ruch drgający plamki na ekranie względem „położenia zerowego” („położenia równowagi”) jest opisywany równaniem tego samego typu; to znaczy

$$x(t) = x_0 \sin(\omega_x t + \phi_x) \quad (5)$$

gdzie x_0 jest amplitudą wychylenia plamki.

Ćwiczenie E-11: Pomiar częstości drgań generatora przy użyciu oscylografu katodowego

Jeśli równocześnie do płytek odchylenia pionowego y również doprowadzamy napięcie sinusoidalne opisywane analogiczną zależnością

$$U_y(t) = U_{oy} \sin(\omega_y t + \phi_y) \quad (6)$$

to wymuszany przez to napięcie pionowy ruch drgający plamki na ekranie oscylografu opisuje równanie

$$y(t) = y_0 \sin(\omega_y t + \phi_y) \quad (7)$$

W konsekwencji na ekranie obserwuje się obraz świetlny określony ruchem wypadkowym plamki stanowiącym superpozycję (złożenie) dwóch prostopadłych drgań (5) i (7). Obraz ten zależy od stosunku częstości ω_y/ω_x , amplitud $y_0/x_0 = U_{oy}/U_{ox}$ oraz różnicy faz $\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x$.

Jeżeli stosunek częstości $\omega_y/\omega_x = f_y/f_x$ jest ułamkiem wymiernym, to obserwowany na ekranie obraz jest „stabilny” i ma postać mniej lub bardziej złożonej krzywej - stanowiącej szczególny przypadek tzw. krzywych Lissajous (nazwa tych krzywych nawiązuje do nazwiska Jules Antoine Lissajous, który po raz pierwszy zademonstrował te krzywe w 1857 roku).

Rysunek 5 ilustruje przykłady względnie prostych krzywych Lissajous uzyskanych dla różnych stosunków częstości ω_y/ω_x .

1. Krzywe Lissajous mieszczą się w obszarze prostokąta, którego rozmiar - bok w kierunku osi x (osi odciętych) jest równy podwójnej amplitudzie drgań skierowanych w tym kierunku, tzn. $d_x = 2x_0$; a w kierunku osi y (osi rzędnych) rozmiar - bok tego prostokąta jest równy podwójnej amplitudzie drgań skierowanych w tym kierunku, $d_y = 2y_0$.
2. Stosunek ilości punktów styczności krzywej Lissajous z bokiem d_y do ilości punktów styczności z bokiem d_x jest równy stosunkowi okresów odpowiednich drgań składowych

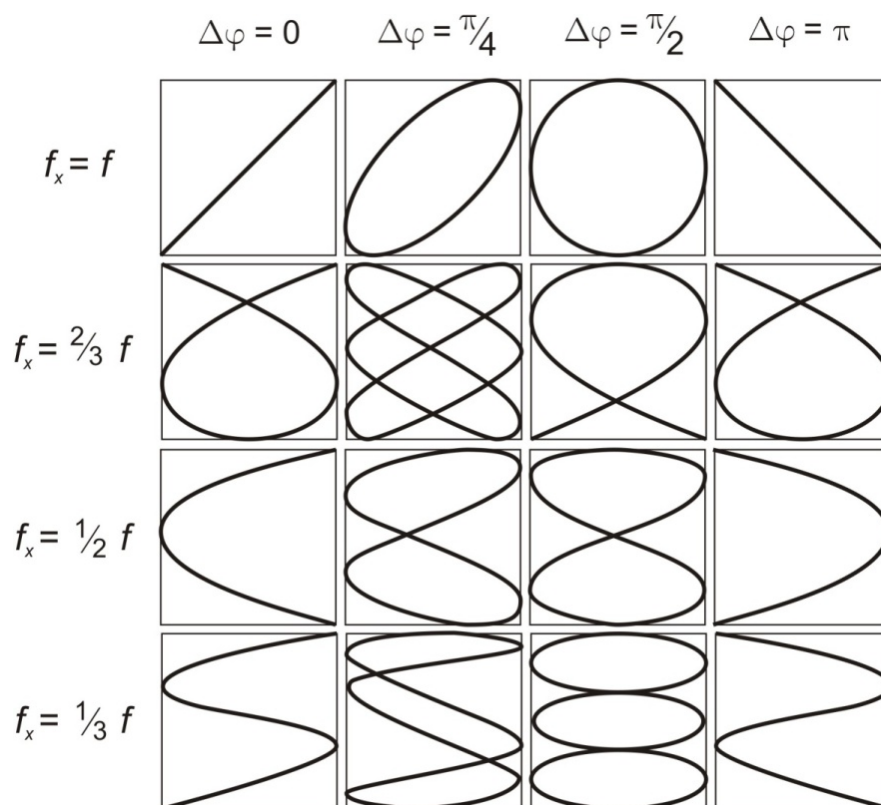
$$\frac{n_{sy}}{n_{sx}} = \frac{T_y}{T_x} \quad (8)$$

i, co za tym idzie, stosunek częstości drgań w kierunku osi rzędnych y do częstości drgań w kierunku osi odciętych x jest odwrotnie proporcjonalny do ilości punktów styczności krzywej do odpowiednich boków prostokąta

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{\omega_y}{\omega_x} = \frac{n_{sx}}{n_{sy}} \quad (9)$$

Ta ostatnia relacja stanowi swoistą instrukcję metody wyznaczania/pomiaru nieznannej częstości sinusoidalnych drgań elektrycznych, jeżeli znana jest częstość drgań sinusoidalnych prostopadłych do badanych.

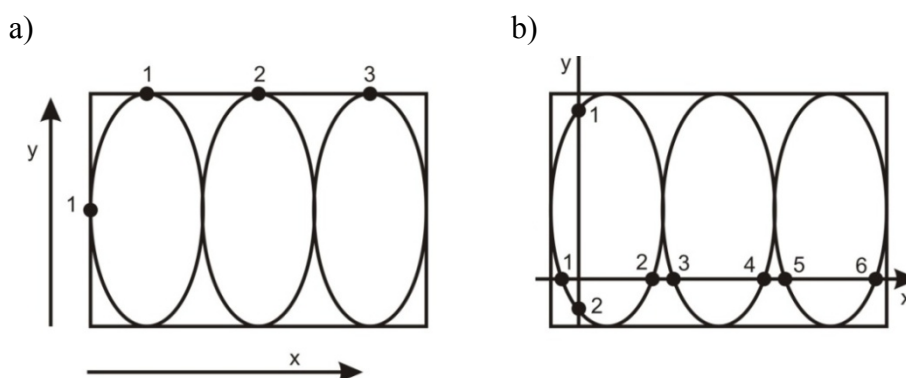
W szczególności, dla przypadku zilustrowanego na rysunku 6a: $n_{sx} = 3$, $n_{sy} = 1$, $f_y/f_x = 3$.



Rys. 5. Przykładowe figury Lissajous.
Generator o znanej częstotliwości drgań f podłączony jest do płytek odchylenia poziomego (w kierunku osi x)

Zatem, jeżeli znana jest częstotać f_x drgań w kierunku x - częstotać napięcia sinusoidalnego przyłożonego do płytek odchylenia poziomego, to częstotać f_y drgań w kierunku y - częstotać napięcia sinusoidalnego przyłożonego do płytek odchylenia pionowego jest równa $f_y = 1/3f_x$. A jeżeli znana jest częstotać f_y , to można wyznaczyć częstotać f_x jako równą $3f_y$.

W ćwiczeniu mamy do czynienia z tym drugim przypadkiem.



Rys. 6. Przykładowa krzywa Lissajous o stosunku częstotliwości drgań generatorów $f_y/f_x = 3$

Do płytek odchylenia pionowego podłączamy generator traktowany jako generator o znanej częstotliwości wzorcowej $f_y = f_0$, a do płytek odchylenia poziomego generator, który umożliwia ciągłą zmianę

częstości. Dokonując tej zmiany, dla pewnych nastaw uzyskujemy na ekranie oscylografu „stabilne” krzywe Lissajous i obliczamy odpowiadające im częstości badanego generatora jako równe

$$f_x \equiv f = \frac{n_{sy}}{n_{sx}} f_0 [\text{Hz}] \quad (10)$$

co na przykład w przypadku zaobserwowania krzywej jak na rysunku 6a oznacza, że nastawiona częstość generatora $f_x \equiv f = f_0/3$.

Ustalanie ilości punktów styczności krzywej Lissajous z bokami prostokąta „zamykającego” tę krzywą nie nastęrcza żadnych trudności wtedy, gdy ekran oscylografu posiada skalę w postaci kratownicy, a obserwowana krzywa jest stabilna i względnie prosta. Jeśli jednak ekran nie posiada takiej skali/kratownicy, to wygodniejsze i bardziej jednoznaczne jest ustalenie/liczenie punktów przecięć badanej krzywej z osiami układu współrzędnych (x, y), którego początek przesuwamy względem środka krzywej w ten sposób, że ilość punktów przecięcia z tymi osiami jest największa; co np. prezentuje rysunek 6b. Jeżeli się okaże, że ta największa ilość punktów przecięć z osią x przesuniętego układu wynosi n_{px} , a z osią y - n_{py} , to łatwo pokazać, że stosunek ilości punktów przecięć n_{py}/n_{px} = stosunkowi punktów styczności n_{sy}/n_{sx} . I wtedy, w szczególności, zamiast wzoru (10) wykorzystujemy równoważny wzór w postaci

$$f_x \equiv f = \frac{n_{py}}{n_{px}} f_0 [\text{Hz}] \quad (11)$$

Dla przykładu: rysunek 6b przedstawia tę samą krzywą Lissajous co rysunek 6a: $n_{px} = 6$, $n_{py} = 2$, $n_{py}/n_{px} = 2/6 = 1/3$, $f_x \equiv f = f_0/3$ (jak w metodzie punktów styczności).

III. Zestaw pomiarowy

Oscyloskop, generator wzorcowy, generator RC.

IV. Przebieg ćwiczenia

1. Wyznaczanie częstości drgań wzorcowego generatora za pomocą liniowej podstawy czasu oscyloskopu

1. Połączyć generator wzorcowy kablem koncentrycznym z wejściem Y (płytkami odchylenia w kierunku pionowym y) oscyloskopu [INPUT A or Y].
2. Zakres pomiarowy osi Y ustawić w pozycji 2 V/cm:
 - przełączniki [DUAL] na panelu odchylenia pionowego [VERTICAL] ustawić następująco:
 - przełącznik A - wciśnięty,
 - przełączniki ADD oraz B - wyciśnięte.

Ćwiczenie E-11: Pomiar częstotliwości drgań generatora przy użyciu oscylografu katodowego

- Nastawić liniową podstawę czasu [TIME/DIV VARIABLE] na zakres 5 ms/cm. Przy tej nastawie przemieszczenie plamki na ekranie o 1 cm odpowiada 5 ms = $5 \cdot 10^{-3}$ s.
- Przełączniki na panelu wyzwalania [TRIGGER] ustawić w następującej pozycji:
 - SOURCE - INT
 - COUPLING - AC
- Przyciskiem POWER włączyć oscyloskop do sieci.
- Włączyć do sieci generator wzorcowy.
- Pokrętkiem FOCUS i INTENSITY wyregulować odpowiednio ostrość i jasność obrazu. Pokrętkiem LEVEL doprowadzić do stacjonarnego przebiegu sinusoidalnego.
- Korzystając z podziałki na ekranie oscyloskopu, odczytać długość sinusoidy („fali”) λ_0 wzdłuż osi x w cm i obliczyć okres drgań T_0 generatora wzorcowego jako

$$T_0 = \lambda_0 \text{ (w cm)} \times 5 \cdot 10^{-3} \quad [\text{s}] \quad (12)$$

- Wyznaczyć częstotliwość drgań generatora wzorcowego

$$f_0 = \frac{1}{T_0 \text{ (s)}} \quad [\text{Hz}] \quad (13)$$

- Wyniki wpisać do tabeli 1.

2. Skalowanie częstotliwości drgań generatora RC za pomocą krzywych Lissajous

- Zachować podłączenie generatora wzorcowego o częstotliwości f_0 (wyznaczonej w pierwszej części ćwiczenia) do wejścia Y (płytek odchylenia w kierunku pionowym y) oscyloskopu.
- Do wejścia X (okładek odchylenia w kierunku poziomym x) oscyloskopu [INPUT B or X] podłączyć kablem koncentrycznym napięcie z badanego generatora RC.
- Wzmocnienie kanału X [VOLTS/DIV] ustawić w pozycji 0,5 V/cm.
- Przełączniki rodzaju badanego napięcia ustawić w pozycji AC (prąd zmienny). Pokrętło podstawy ustawić w pozycji XY (prawe skrajne położenie).
- Zmieniać powoli częstotliwości drgań generatora RC tak, aby doprowadzić do otrzymania stacjonarnych i łatwych do przerysowania krzywych Lissajous.
- Przerysować krzywe Lissajous z ekranu oscyloskopu i dla każdej krzywej zapisać położenie skali badanego generatora RC.
- Wyniki zanotować w tabeli 2.

UWAGA: Należy dokonać obserwacji i rejestracji co najmniej 6 krzywych.

V. Tabele pomiarów

TABELA 1. Wyznaczanie częstotliwości generatora wzorcowego f_0 za pomocą liniowej podstawy czasu

Długość sinusoidy („fali”) λ_0 [cm]	$\Delta\lambda_0$ [cm]	Podstawa czasu [ms/cm]	Okres T_0 [s]	ΔT_0 [s]	Częstotliwość f_0 [Hz]	Δf_0 [Hz]
		5				
		5				
		5				

TABELA 2. Skalowanie badanego generatora RC za pomocą krzywych Lissajous. (Generator wzorcowy o częstotliwości f_0 podłączony do wejścia Y. Generator badany - do wejścia X)

Lp.	Krzywa Lissajous (rysunek)	Częstość generatora wzorcowego f_0 [Hz]	Położenie na skali generatora badanego f_s	Ilość punktów styczności/ilość punktów przecięć w kierunku poziomym N_x	Ilość punktów styczności/ilość punktów przecięć w kierunku pionowym N_y	Rzeczywista częstość drgań generatora $f = \frac{N_y}{N_x} f_0$ [Hz]	Bezwzględna niepewność pomiarowa $ \Delta f $ [Hz]
1.							
2.							
3.							
...							

VI. Opracowanie wyników pomiarowych

- Pamiętając, że częstotliwość wzorcowa f_0 (obliczona w pierwszej części ćwiczenia) podawana jest na okładki odchylenia pionowego Y, a napięcie z generatora RC na okładki X, dla każdej otrzymanej krzywej Lissajous obliczyć częstotliwość drgań generatora z wykorzystaniem zależności

$$f = \frac{N_y}{N_x} f_0 [\text{Hz}] \quad (14)$$

- Oszacować niepewność pomiarową (błąd) wyznaczenia okresu generatora wzorcowego

$$|\Delta T_0| = |\Delta \lambda_0| \cdot 5 \cdot 10^{-3} [\text{s}] \quad (15)$$

Ćwiczenie E-11: Pomiar częstości drgań generatora przy użyciu oscylografu katodowego

- a następnie niepewność częstości wzorcowej $|\Delta f_0|$ wyznaczonej ze skali milimetrowej ekranu, a następnie błędy wyznaczonych częstości f drgań generatora RC.
3. Sporządzić wykres zależności wyznaczonych częstości f (w Hz) od liczb/położenia na skali badanego generatora RC.
 4. Ocenić stopień przydatności i dokładności powyższej metody wyznaczania nieznannej częstości drgań.

Literatura

1. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa 1978.
2. Jaworski B., Dietlaf A., Kurs fizyki, T. II, Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1979.
3. Lebson S., Elektryczne przyrządy pomiarowe, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1968.
4. Piekara A., Mechanika ogólna, PWN, Warszawa 1975.
5. Szydłowski H., Pracownia fizyczna wspomaganą komputerem, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.