
 POLITECHNIKA OPOLSKA	KATEDRA FIZYKI	
	LABORATORIUM FIZYKI	
DRGANIA RELAKSACYJNE		

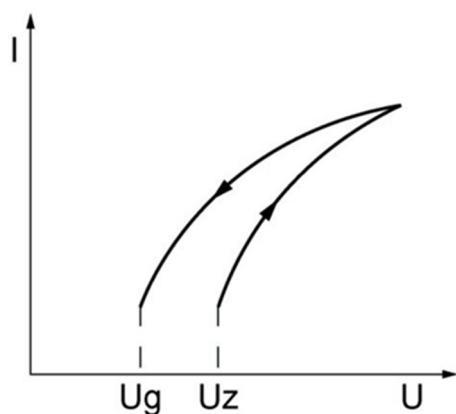
WSTĘP

Pojęcie ruchu drgającego jest bardzo szerokie i obejmuje swym zakresem zjawiska fizyczne dotyczące drgań mechanicznych, akustycznych czy elektromagnetycznych. Wśród wielu układów mogących realizujących ruch drgający wyróżnia się podgrupę układów tzw. samowzbudnych, wykonujących drgania relaksacyjne. Przykładami zjawisk fizycznych w których obserwuje się drgania relaksacyjnych są: wszelkiego rodzaju skrzypienia (podłóg, obuwia), drgania strun skrzypiec, kapanie kropli wody z niedokręconych kranów, ciągłe i okresowo naprzemienne ładowanie i rozładowanie kondensatorów w obwodach elektrycznych.

Układ fizyczny, który można pobudzić do wykonywania drgania samowzbudnych musi zawierać podstawowe elementy: stałe źródło energii, urządzenie regulujące dopływ energii, układ drgający. Aby otrzymać drgania typu relaksacyjnego, spełniony musi być jeszcze jeden warunek: stosunkowo długi czas odchylenia układu od stanu początkowego do stanu maksymalnego i bardzo krótki czas powrotu do stanu równowagi. Poprzez sprzężenie zwrotne regulujące w sposób ciągły czasowy moment i ilość dostarczenia dodatkowej porcji energii do układu, drgania relaksacyjne cechuje duża powtarzalność. Zmniejszenie dopływu energii poza pewną wartość (ściśle określoną dla danego układu) powoduje przerwanie drgań relaksacyjnych, nie zaś zmianę ich właściwości, np. zmniejszenie amplitudy lub okresu.

W ćwiczeniu obserwację drgań relaksacyjnych i pomiar okresu ich trwania wykonuje się wykorzystując zasilany ze źródła napięcia stałego obwód elektryczny z neonówką i elementami R i C tworzącymi układ drgający.

UKŁAD DOŚWIADCZALNY

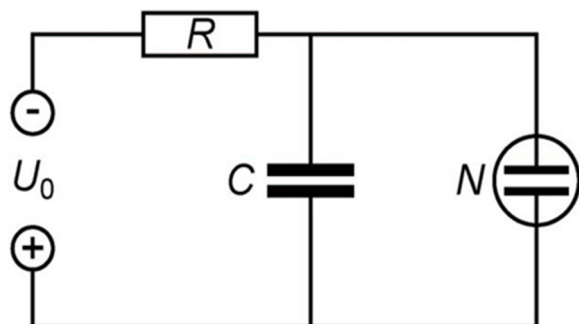


Rys. 1. Charakterystyka prądowo-napięciowa lampy neonowej (neonówki).

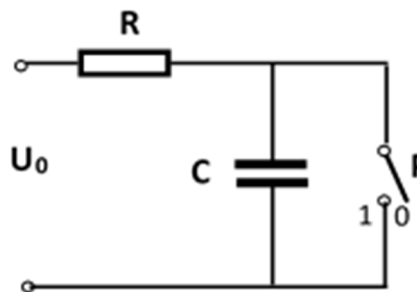
Rolę elementu regulującego czas ładowania i rozładowania kondensatora C przez opornik R pełni włączona w obwód lampa neonowa (neonówka). Jest to szklana bańka wypełniona szlachetnym gazem (neonem), w której umieszczone są dwie elektrody. Po przyłożeniu do elektrod napięcia (Rys. 1.), którego wartość nie przekracza pewnego napięcia U_z , między elektrodami neonówki występuje bardzo duży opór. W takim stanie zachowuje się ona jak izolator, dlatego natężenie prądu płynącego między jej elektrodami w praktyce równe jest zeru. Jednak po przekroczeniu wartości napięcia U_z , zwanego napięciem zapłonu, rozpoczyna się proces jonizacji gazu, który w obecności pola elektrycznego panującego w obszarze między elektrodami

przechodzi w wyładowanie lawinowe i związane z tym zaświecenie neonówki. Skutkiem tego jest przepływ przez neonówkę prądu o natężeniu ograniczonym tylko oporem zewnętrznym, gdyż opór gazu jest bardzo mały. Charakterystyczną cechą takiego wyładowania jarzeniowego jest to, że nie ustaje ono mimo obniżania napięcia zasilania neonówki do chwili, gdy zostanie zmniejszone do wartości granicznej zwanej napięciem gaśnięcia U_g , ($U_g < U_z$).

Na Rys. 2. przedstawiony jest schemat układu do badań drgań relaksacyjnych, składający się z połączonych szeregowo: źródła napięcia stałego U_0 , kondensatora C i opornika R . Równolegle dołączoną do okładek kondensatora neonówkę można traktować jako dwustanowy klucz elektryczny P , zmieniający stan przełączenia w zależności od wartości napięć U_C na okładzinach kondensatora napięć: $U_C = U_z$ (zamknięcie) i $U_C = U_g$ (otwarcie).



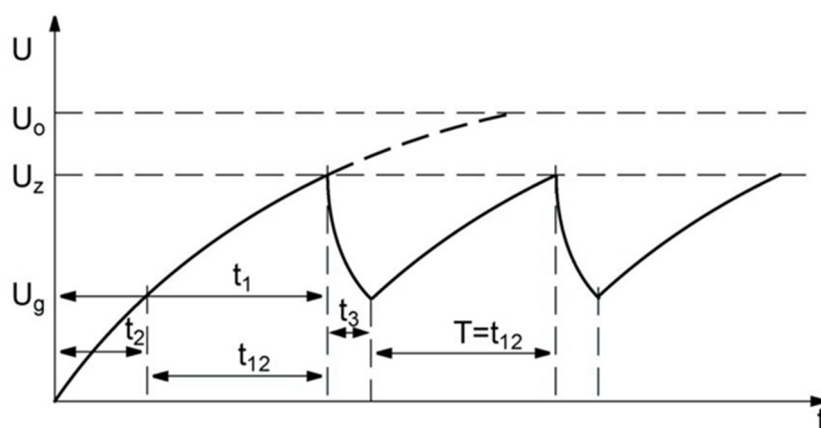
Rys. 2. Schemat układu do badań drgań relaksacyjnych.



Rys. 3. Uproszczony schemat układu z neonówką jako kluczem P . Klucz otwarty (0), gdy $U_C \leq U_g$, klucz zamknięty (1), gdy $U_C \geq U_z$.

Po włączeniu układu do zasilania poprzez opór R kondensator C zacznie być ładowany (Rys. 4.), a napięcie U_C na jego okładzinach będzie wzrastać z czasem t zgodnie z krzywą ładowania:

$$U_C = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (1)$$



Rys. 4. Zależność od czasu zmiany napięcia na kondensatorze (neonówce).

Dopóki U_C nie przekroczy progowej wartości U_z , neonówka z uwagi na swój duży opór wewnętrzny nie bierze udziału w procesie ładowania. Zgodnie z Rys. 4., po upływie czasu t_1 , w chwili gdy napięcie na kondensatorze osiągnie wartość napięcia zapłonu U_z , neonówka zacznie przewodzić prąd elektryczny, sygnalizując to świeceniem. Zapłon a następnie zaświecenie neonówki są procesami zachodzącymi bardzo gwałtownie, stąd towarzyszący im efekt świetlny traktuje się jako rozbłysk o czasie trwania t_3 , w którym kondensator jest rozładowywany do napięcia U_g przez bardzo mały opór neonówki. Gdy wartość napięcia na kondensatorze osiągnie U_g , neonówka przechodzi w stan wysokiego oporu, co rozpoczyna trwający t_{12} proces doładowywania kondensatora od napięcia U_g do napięcia U_z . Wartość czasu t_{12} równa jest różnicy czasów t_1 i t_2 , w których neonówka w procesie ładowania kondensatora osiąga wartości napięć, odpowiednio $U_C = U_z$ lub $U_C = U_g$ (1):

$$t_1 = R \cdot C \cdot \ln \left(\frac{U_0}{U_0 - U_z} \right) \quad (2)$$

$$t_2 = R \cdot C \cdot \ln \left(\frac{U_0}{U_0 - U_g} \right) \quad (3)$$

stąd:

$$t_{12} = t_1 - t_2 = R \cdot C \cdot \ln \left(\frac{U_0 - U_g}{U_0 - U_z} \right) \quad (4)$$

Cykliczność odbywających się u układzie procesów ładowania/rozładowania kondensatora można scharakteryzować okresem T , równym czasowi trwania jednego cyklu:

$$T = t_{12} + t_3 \quad (5)$$

Uwzględniając stałość wartości napięcia U_0 zasilającego układ pomiarowy oraz dla danej neonówki stałość wartości napięć ją charakteryzujących U_z i U_g , równanie (5) zapisujemy w ogólnej postaci:

$$T = K \cdot R \cdot C + T_0 \quad (6)$$

w którym: $K = \ln \left(\frac{U_0 - U_g}{U_0 - U_z} \right)$ – jest bezwymiarową stałą układu, natomiast $T_0 = t_3$ – jest stałym dla układu średnim czasem rozładowania.

Wyrażony wzorem (6) okres drgań relaksacyjnych można uprościć biorąc po uwagę, że w porównaniu do czasu t_{12} ładowania kondensatora, T_0 charakteryzuje małą wartość, niemierzalną w pomiarach bezpośrednich. Wobec tego, okres drgań relaksacyjnych można z dobrym przybliżeniem wyrazić zależnością:

$$T \cong K \cdot R \cdot C \quad (7)$$

Badania drgań relaksacyjnych z użyciem opisanego układu polegają wyznaczeniu zależności okresu T od pojemności C lub oporu R . Wymagane pomiary wykonuje się jedną z alternatywnych metod:

- dla ustalonej i znanej wartości R mierzy się czasy t wykonania określonej liczby drgań (błysków neonówki) dla różnych wartości pojemności C , lub
- dla ustalonej i znanej wartości C mierzy się czasy t wykonania określonej liczby drgań (błysków neonówki) dla różnych wartości oporu R .

Na podstawie otrzymanej zależności (niezależnie od użytej metody) układ można użyć do wyznaczenia nieznanych wcześniej wartości elementów R lub C .

WYKONANIE POMIARÓW

- Uzgodnić z Prowadzącym zajęcia wybór metody badań.
- Do układu podłączyć przewodami kondensator X i jeden z oporników R .
- Włączyć zasilanie układu. Okres drgań relaksacyjnych nie powinien być krótszy od ok. 1.5 sekundy. Jeżeli okres jest zbyt krótki, przełączyć układ na większą wartość R .
- Zmierzyć czas t trwania $n = 20 - 30$ rozbłysków neonówki. Zmierzony czas zapisać w Tabeli Pomiarów.
- Według pkt. 2-4 wykonać pomiar kondensatorów Y , następnie kondensatora Z .
- Jeżeli zdecydowano o wyborze metody „a”, podłączyć do układu jeden z oporników R i dekadę pojemności C . Wykonać pomiary dla co najmniej 7 różnych wartości C . Dla każdego pomiaru czas wykonania przez neonówkę n rozbłysków nie powinien być krótszy od 120 sekund. Otrzymane wyniki zapisać w Tabeli Pomiarów.

7. Jeżeli zdecydowano o wyborze metody „b”, podłączyć do układu pierwszy z oporników R i dekadę pojemności C. Ustawić na dekadzie wartość pojemności z zakresu ok. 2 μF – 3 μF . Wykonać pomiary dla co najmniej 7 różnych wartości R. Dla każdego pomiaru czas wykonania przez neonówkę n rozłasków nie powinien być krótszy od 120 sekund. Otrzymane wyniki zapisać w Tabeli Pomiarów.
8. Pod Tabelą Pomiarów zapisać klasę użytej dekady kondensatorów oraz wartość $\Delta_d(t)$ niepewności wzorcowania pomiaru czasu drgań relaksacyjnych i oszacowaną wartość $\Delta_e(t)$ niepewności eksperymentatora.

TABELA POMIARÓW

CZASY DRGAŃ UKŁADU Z KONDENSATOREM O NIEZNANEJ POJEMNOŚCI			
R [M Ω]	C	n [-]	t [s]
	X		
	Y		
	Z		

CZASY DRGAŃ UKŁADU - metoda „a”			
R [M Ω]	C [μF]	n [-]	t [s]

CZASY DRGAŃ UKŁADU - metoda „b”			
C [μF]	R [M Ω]	n [-]	t [s]

$\Delta_d(t) = \dots\dots\dots$ [s]

$\Delta_e(t) = \dots\dots\dots$ [s]

$u(C) = \{klasa\} \cdot C$

$u(R) = 0.01 \cdot R$

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

1. Wykonać przykład oszacowania rozszerzonej ($k = 2$) całkowitej niepewności pomiaru czasu rozładowania $U(t)$:

$$U(t) = k \cdot \sqrt{\frac{(\Delta_d(t))^2 + (\Delta_e(t))^2}{3}} \quad (8)$$

2. Dla jednej z nastaw C dekady pojemności wykonać przykład oszacowania jej niepewności $u(C)$:

$$u(C) = \frac{\text{klasa dekady}}{100} \cdot C \quad (9)$$

3. Dla jednego z użytych oporników R wykonać przykład oszacowania wartości niepewności $u(R)$:

$$u(R) = 0.01 \cdot R \quad (10)$$

4. Wykonać przykład obliczenia okresu drgań relaksacyjnych:

$$T = \frac{t}{n} \quad (11)$$

5. Wykonać przykład oszacowania wartości niepewności $u(T)$:

$$u(T) = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial t} \cdot U(t)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{n} \cdot U(t)\right)^2} = \frac{U(t)}{n} \quad (12)$$

6. Wykonać pozostałe obliczenia, a otrzymanymi wynikami uzupełnić Tabelę Wyników.

METODA a

TABELA WYNIKÓW

OKRESY DRGAŃ UKŁADU - metoda „a”						
R [MΩ]	u(R) [MΩ]	C [μF]	u(C) [μF]	n [-]	T [s]	u(T) [s]

- a.1. Wykonać wykres zależności okresu T drgań relaksacyjnych t od pojemności C [μF] kondensatora. Między punktami wykresu poprowadzić prostą najlepszego dopasowania.
- a.2. Z użyciem funkcji REGLINP (arkusz Excel) wyznaczyć i zapisać w Tabeli Wyników wartości parametrów równania prostej:

$$T = a \cdot R + b \quad (\text{a.13})$$

TABELA WYNIKÓW

parametry równania prostej	nachylenie		odcięta		miara jakości dopasowania
	a	u(a)	b	u(b)	R ²
	$\left[10^6 \cdot \frac{s}{F}\right]$	$\left[10^6 \cdot \frac{s}{F}\right]$	[s]	[s]	[-]
przed zaokrągleniem					
po zaokrągleniu					

- a.3. Wykorzystując zależność (6) wykonać przykład wyznaczenia wartości stałej K układu:

$$K = \frac{a}{R} \quad (\text{a.14})$$

- a.4. Oszacować wartość u(K):

$$u(K) = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial a} \cdot u(a)\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial R} \cdot u(R)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{R} \cdot u(a)\right)^2 + \left(-\frac{1}{R^2} \cdot u(R)\right)^2} = K \cdot \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(R)}{R}\right)^2} \quad (\text{a.15})$$

- a.5. Podać wartość stałej T₀ układu:

$$T_0 = b \quad (\text{a.16})$$

- a.6. Podać wartość niepewności u(T₀):

$$u(T_0) = u(b) \quad (\text{a.17})$$

- a.7. Wyznaczone stałe układu zapisać w Tabeli Wyników

TABELA WYNIKÓW

K [-]	u(K) [-]	T ₀ [s]	u(T ₀) [s]

METODA b

TABELA WYNIKÓW

OKRESY DRGAŃ UKŁADU - metoda „b”						
C [μF]	u(C) [μF]	R [MΩ]	u(R) [MΩ]	n [-]	T [s]	u(T) [s]

- b.1. Wykonać wykres zależności okresu T drgań relaksacyjnych t od oporu R [MΩ]. Między punktami wykresu poprowadzić prostą najlepszego dopasowania.

- b.2. Z użyciem funkcji REGLINP (arkusz Excel) wyznaczyć i zapisać w Tabeli Wyników wartości parametrów równania prostej:

$$T = a \cdot C + b \quad (\text{b.13})$$

TABELA WYNIKÓW

parametry równania prostej	nachylenie		odcięta		miara jakości dopasowania
	a	u(a)	b	u(b)	R ²
	$[10^{-6} \cdot \frac{s}{\Omega}]$	$[10^{-6} \cdot \frac{s}{\Omega}]$	[s]	[s]	[-]
przed zaokrągleniem					
po zaokrągleniu					

- b.3. Wykorzystując zależność (6) wykonać przykład wyznaczenia wartości stałej K układu:

$$K = \frac{a}{c} \quad (\text{b.14})$$

- b.4. Oszacować wartość $u(K)$:

$$u(K) = \sqrt{\left(\frac{\partial K}{\partial a} \cdot u(a)\right)^2 + \left(\frac{\partial K}{\partial c} \cdot u(c)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{R} \cdot u(a)\right)^2 + \left(-\frac{1}{c} \cdot u(c)\right)^2} = K \cdot \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(c)}{c}\right)^2} \quad (\text{b.15})$$

- b.5. Podać wartość stałej T_0 układu:

$$T_0 = b \quad (\text{b.16})$$

- b.6. Podać wartość niepewności $u(T_0)$:

$$u(T_0) = u(b) \quad (\text{b.17})$$

- b.7. Wyznaczone stałe układu zapisać w Tabeli Wyników

TABELA WYNIKÓW

K [-]	u(K) [-]	T ₀ [s]	u(T ₀) [s]

7. Przy pomocy doświadczalnie wyznaczonego równania kalibracyjnego układu pomiarowego wykonać przykład obliczenia wartości pojemności jednego z kondensatorów X, Y lub Z:

$$C = \frac{T - T_0}{K \cdot R} \quad (18)$$

8. Wykonać przykład oszacowania $u(C)$:

$$u(C) = \sqrt{\left(\frac{\partial C}{\partial T} \cdot u(T)\right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial T_0} \cdot u(T_0)\right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial K} \cdot u(K)\right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial R} \cdot u(R)\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{1}{K \cdot R} \cdot u(T)\right)^2 + \left(-\frac{1}{K \cdot R} \cdot u(T_0)\right)^2 + \left(-2 \frac{T - T_0}{K^2 \cdot R} \cdot u(K)\right)^2 + \left(-2 \frac{T - T_0}{K \cdot R^2} \cdot u(R)\right)^2} = \quad (19)$$

$$C \sqrt{\frac{u(T)^2 + u(T_0)^2}{(T - T_0)^2} + 4 \left[\left(\frac{u(K)}{K}\right)^2 + \left(\frac{u(R)}{R}\right)^2 \right]}$$

9. Wykonać obliczenia dla pozostałych kondensatorów, a otrzymanymi wartościami uzupełnić Tabelę Wyników.

TABELA WYNIKÓW

Kondensator	C	u(C)
	[μF]	[μF]
X		
Y		
Z		

10. Ocenić zgodność charakteru otrzymanej krzywej z przewidywaniami teoretycznymi. Dokonać oceny dokładności użytego mostka i zastosowanej metody pomiaru pośredniego pojemności kondensatorów.

LITERATURA

1. SZYDŁOWSKI H.: Pracownia fizyczna, PWN, Warszawa 1994.
2. DRYŃSKI T.: Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa 1980.
3. SKORKO M.: Fizyka, PWN, Warszawa 1979.
4. REWAJ T. i inni: Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, PWN, Warszawa 1978.
5. Ćwiczenia Laboratoryjne z Fizyki (praca zbiorowa), Skrypt Nr 279, Politechnika Opolska 2007.