



**KAPITAŁ LUDZKI**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI  
FUNDUSZ SPOŁECZNY



**Paweł Kogut**

**Projekt eFizyka – Multimedialne środowisko nauczania  
fizyki dla szkół ponad gimnazjalnych**

**Wirtualne Laboratorium Fizyki**

**Ćwiczenie:**

***„Drgania Relaksacyjne”***

*(Instrukcja obsługi)*

*Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach funduszu  
społecznego POKL, priorytet III, działanie 3.3*

**Warszawa 2015**

## Spis treści

1. Cel Ćwiczenia .....	3
2. Wstęp Teoretyczny .....	3
3. Eksperyment .....	6
4. Wirtualne Ćwiczenie.....	8
4.1. Panel Użytkownika.....	8
4.2. Wykonanie ćwiczenia.....	12

## 1. Cel Ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze zjawiskiem drgań relaksacyjnych na przykładzie drgań elektrycznych. W ćwiczeniu należy zbadać zjawisko drgań w obwodzie elektrycznym, który złożony jest z obwodu ładowania RC i przełącznika elektrycznego w postaci lampy neonowej. Eksperyment ma doprowadzić do wyznaczenia okresu drgań relaksacyjnych  $T$  dla różnych wartości  $R$  i  $C$  oraz oszacowania napięcia zapłonu  $U_z$  i napięcia gaśnięcia  $U_g$  lampy neonowej.

## 2. Wstęp Teoretyczny

**Drgania Relaksacyjne** - są to takie drgania okresowe, w których dochodzi do okresowego uwalniania porcji energii pobieranej przez układ drgający ze źródła zewnętrznego. Drgania relaksacyjne cechują się niesinusoidalnym charakterem drgań o stałej amplitudzie i częstotliwości drgań, w których amplituda drgań jest niezależna od strat związanych z dyssypacją energii. Drgania te są niezankające, dla których zachodzi przemienne wykładnicze narastanie i zanikanie amplitudy drgań.

Układ do badania drgań relaksacyjnych przedstawiono na rys. 1 a). Jak widać układ tworzą obwód RC oraz lampa neonowa, która stanowi przełącznik elektryczny. Lampa neonowa jest elementem elektronicznym, w którym po przyłożeniu między elektrodami odpowiednio dużego napięcia  $U_z$ , nazywanego napięciem zapłonu, można zaobserwować jej jarzenie się. Świecenie neonówki wywołane jest lawinową jonizacją neonu, gazu wypełniającego bańkę neonówki. W wyniku jonizacji dochodzi do gwałtownego przepływu prądu przez neonówkę. Zgaszenie lampy neonowej po jej zapaleniu może nastąpić dopiero o obniżeniu napięcia zasilania neonówki do tak zwanej wartości gaśnięcia  $U_g$  (napięcia przy, którym nie możliwe jest dalsze podtrzymywanie jonizacji lawinowej), która jest znacznie niższa niż napięcie  $U_z$ . Opór elektryczny zapalanej neonówki jest bardzo mały, a więc w trakcie jarzenia lampę neonową możemy uważać za zworę elektryczną. Po jej zgaszeniu opór gwałtownie wzrasta i może być traktowany jako rozwarcie w obwodzie. Takie zachowanie jest charakterystyczne dla przełączników elektronicznych, które w stanie włączenia stanowią zwarcie, a w stanie wyłączenia rozwarcie elektryczne.

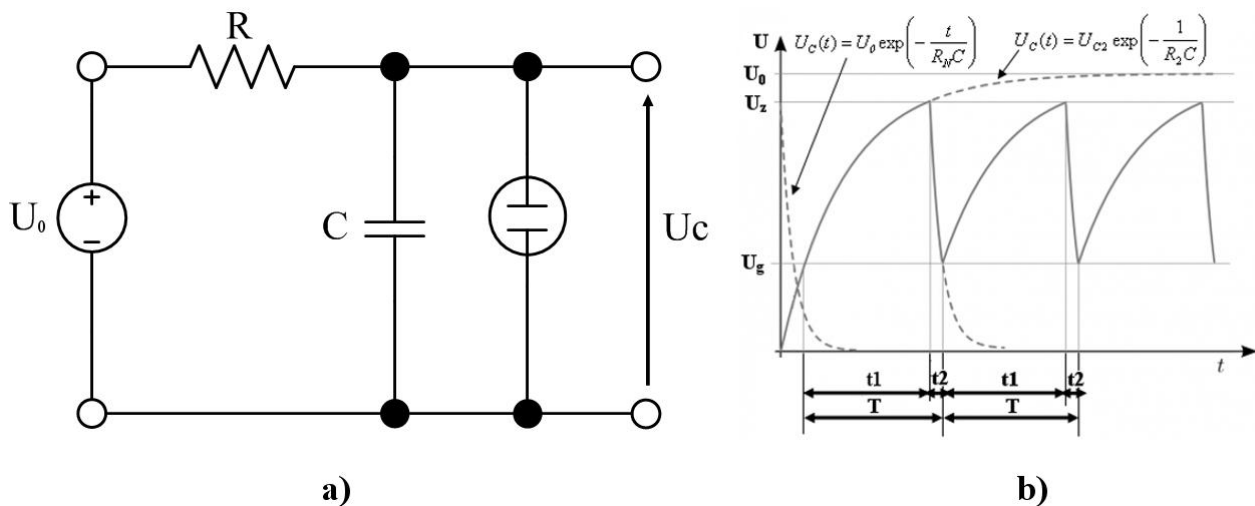
Sposób działania układu do badania drgań relaksacyjnych jest bardzo prosty. Po włączeniu zasilania (podaniu napięcia  $U_0$ ) pojemność kondensatora zaczyna się ładować eksponentycznie zgodnie z zależnością,

$$U_c(t) = U_0 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right]. \quad (1)$$

Napięcie narasta aż osiągnie napięcie zapłonu lampy neonowej  $U_z$ , bez lampy napięcie narastałoby do wartości przyłożonego napięcia  $U_0$ . Lampa neonowa po włączeniu stanowi zwarcie (w rzeczywistości prawie zwarcie), a więc dochodzi do gwałtownego rozładowania ładunku zgromadzonego w kondensatorze przez prąd zwarcia lampy neonowej, zgodnie z zależnością,

$$U_c(t) = U_0 \exp\left(-\frac{t}{R_N C}\right), \quad (2)$$

gdzie  $R_N$  – rezystancja zwarcia lampy neonowej (zwykle rzędu  $\sim \Omega$ ). Kondensator się rozładowuje aż napięcie na okładkach kondensatora osiągnie wartość napięcia gaśnięcia lampy neonowej  $U_g$ . Zgaszona lampa neonowa stanowi rozwarcie, a więc prąd przez lampę przestaje płynąć i znów następuje ładowanie kondensatora  $C$  przez rezystor  $R$  do napięcia  $U_z$ . Cykl się powtarza w nieskończoność (dopóki włączone jest zasilanie  $U_0$ ), co schematycznie przedstawia rys. 1 b). Mamy więc do czynienia z naprzemiennym i eksponentyjnym ładowaniem kondensatora od napięcia  $U_g$  do  $U_z$ .



Rys. 1 Układ elektryczny do badania drgań relaksacyjnych, a) schemat układu, b) przykładowy wykres zależności napięcia  $U_c$  (drgania relaksacyjne)

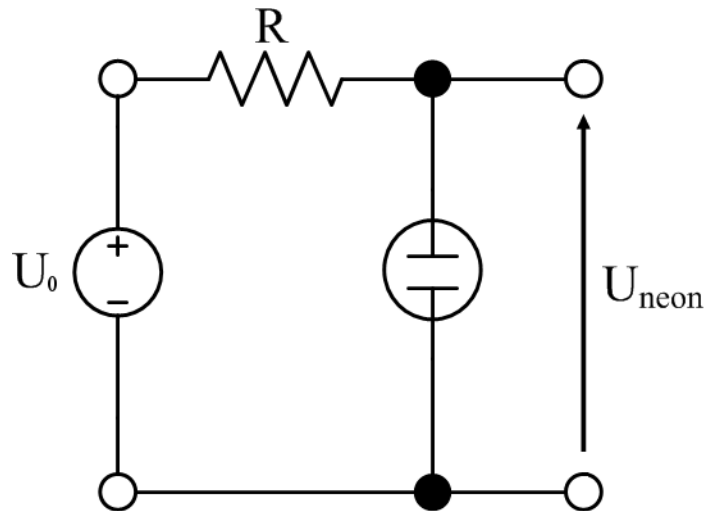
Aby wyznaczyć okres drgań  $T$  drgań relaksacyjnych wystarczy zauważyć, że,

- w czasie ładowania  $t_1$  dochodzi do zmiany napięcia na kondensatorze od  $U_c(t) = U_g$  do  $U_c(t + t_1) = U_z$ ,
- w czasie rozładowania  $t_2$  dochodzi do zmiany napięcia na kondensatorze od  $U_c(t) = U_z$  do napięcia  $U_c(t + t_2) = U$ .

Okres drgań jest sumą czasów  $t_1$  i  $t_2$ , przy czym czas rozładowania  $t_2$  jest prawie równy zero, ponieważ jak wspomniano wcześniej kondensator rozładowuje się bardzo gwałtownie przez bardzo małą rezystancję  $R_N$ . Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, można udowodnić, że okres drgań  $T$  jest równy,

$$T = t_1 + t_2 \approx RC \ln \frac{U_0 - U_g}{U_0 - U_z}. \quad (3)$$

Z zależności na okres drgań neonówki wynika, że jest on zależny od wartości elementów obwodu ładowania  $RC$ , napięcia zasilania oraz napięć zapłonu i gaśnięcia lampy neonowej. W celu wyznaczenia okresu drgań lampy neonowej należy więc wyznaczyć napięcia  $U_g$  i  $U_z$ , które można wyznaczyć za pomocą obwodu z rys. 2.



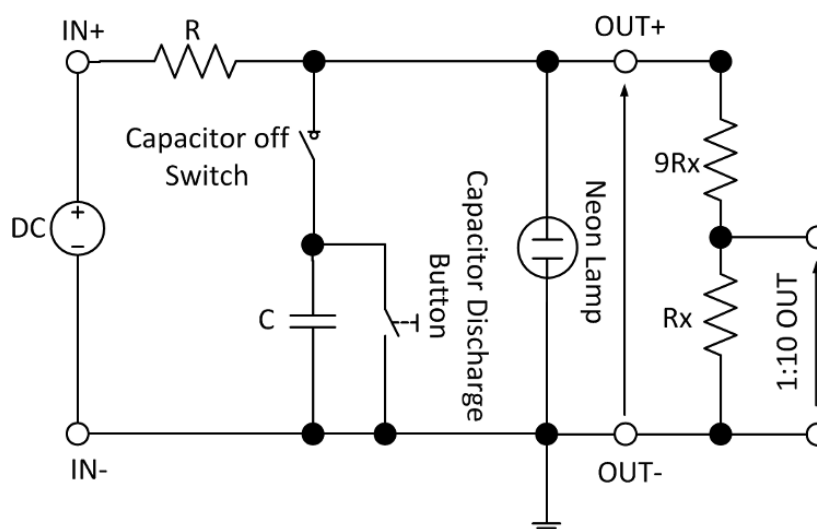
Rys. 2 Układ do badania napięcia zapłonu i gaśnięcia lampy neonowej

Obwód składa się ze źródła zasilania napięcia stałego  $U_0$ , rezystora ograniczającego prąd zwarcia i lampy neonowej. W celu wyznaczenia napięcia  $U_z$ , należy oszacować największą wartość napięcia  $U_{\text{neon}}$ , która nie powoduje jeszcze zapalenia lampy, a następnie najmniejszą wartość, po której lampa się jarzy. Wartość napięcia zapłonu jest równa średniej arytmetycznej zmierzonych

napięć. Do wyznaczenia napięcia  $U_g$ , należy najpierw doprowadzić do zapalenia lampy i stopniowo zmniejszać napięcie aż do jej zgaszenia. Należy zanotować wartość napięcia  $U_{neon}$  tuż przed zgaszeniem i tuż po zgaszeniu, a następnie wyznaczyć średnią arytmetyczną.

### 3. Eksperyment

Do przeprowadzenia eksperymentu opracowano obwód elektryczny umożliwiający pomiar okresu drgań relaksacyjnych oraz napięcia zapłonu oraz gaśnięcia lampy neonowej, który został przedstawiony na rys. 3.

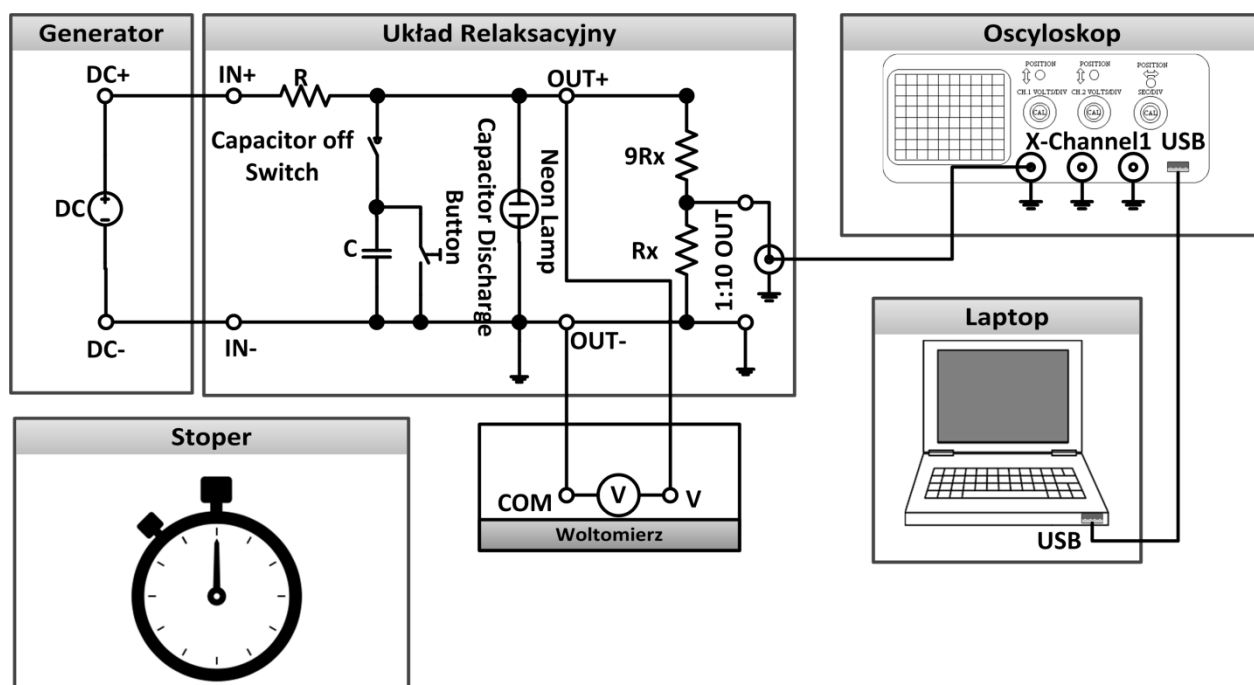


Rys. 3 Schemat badanego obwodu elektrycznego

W skład obwodu wchodzi obwód RC i lampa neonowa. Napięcie z generatora podawane jest przez wejścia potencjału, dodatniego „In+„ i ujemnego „In-„. Do kondensatora dołączony jest przełącznik mechaniczny „Capacitor off Switch” umożliwiający odłączenie lub włączenie kondensatora w obwód elektryczny. Dzięki temu możemy wybierać pomiędzy obwodem do badania drgań relaksacyjnych zgodnym z schematem z rys. 1 (przełącznik zwarty, w pozycji „On”), lub obwodem do badania napięcia gaśnięcia i zapłonu lampy neonowej z rys. 2 (przełącznik rozwarty, w pozycji „Off”). Kondensator może zostać w każdej chwili rozładowany za pomocą przycisku „Capacitor Discharge Button”. Z zacisków lampy neonowej wyprowadzone zostały wyjścia elektryczne „OUT” i „1:10 OUT”. Wyprowadzenie „OUT” jest przeznaczone do podłączenia woltomierza do pomiaru napięcia zapłonu i gaśnięcia lampy neonowej. Wyjście „1:10 OUT” to dziesięciokrotnie obniżone napięcie z wyjścia „OUT”

przeznaczone do podłączenia do oscyloskopu celem obserwacji drgań w dziedzinie czasu. Napięcie zasilania lampy neonowej jest bardzo duże i bezpośrednio podłączone do oscyloskopu może doprowadzić do jego uszkodzenia. Aby temu przeciw działać należy napięcie obniżyć np. stosując rezystancyjny dzielnik napięcia, który tworzą rezystory  $9R_x$  i  $R_x$  połączone w szereg. Rezystory te powinny posiadać na tyle dużą rezystancję aby ich wpływ na badany obwód był zaniedbywalny.

Kompletny układ pomiarowy do badania drgań relaksacyjnych w wcześniej omówionym obwodzie elektrycznym przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4 Schemat układu pomiarowego

W skład układu pomiarowego wchodzi,

- Generator napięcia stałego,
- Układ Relaksacyjny,
- Oscyloskop,
- Woltomierz,
- Stoper,
- Laptop.

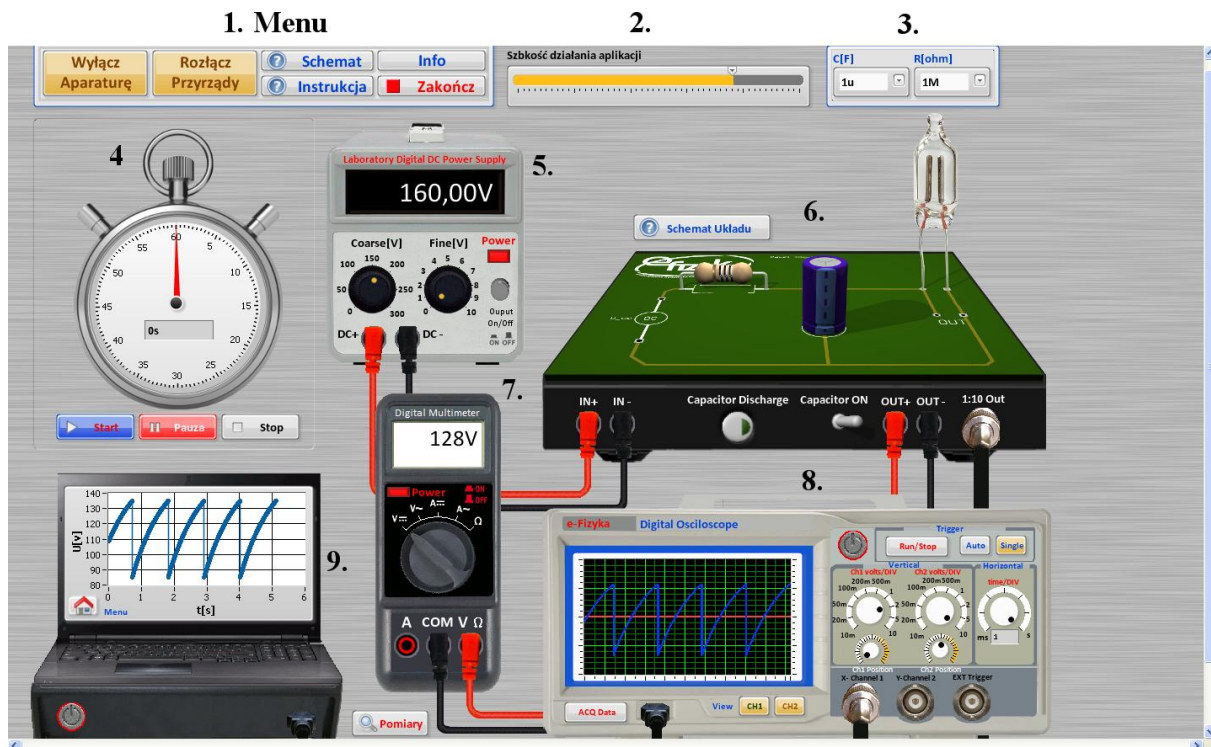
Woltomierz i oscyloskop służą do pomiaru napięcia znajdującego się na zaciskach lampy neonowej (i kondensatora gdy jest włączonym) i podglądania przebiegów drgań w dziedzinie czasu. Charakterystyki z oscyloskopu mogą zostać przesłane do laptopa poprzez interfejs USB celem ich dalszej analizy, tj. wyznaczenia okresu drgań na podstawie charakterystyki napięcia w dziedzinie czasu (zobacz rys. 1 b)). Stoper może posłużyć do wyznaczenia okresu drgań poprzez wizualną obserwację częstości zapalania się lampy neonowej.

#### 4. Wirtualne Ćwiczenie

Wirtualne ćwiczenie „Drgania Relaksacyjne” jest symulacją doświadczenia badania zjawiska drgań relaksacyjnych w obwodzie elektrycznym przedstawionym i omówionym w punktach 2 i 3.

##### 4.1. Panel Użytkownika

Na rys. 5 przedstawiono widok okna głównego programu, na którym widać interfejs użytkownika wraz z wirtualną aparaturą pomiarową.



Rys. 5 Widok ekranu interfejsu użytkownika

Elementy interfejsu użytkownika zostały opisane w poniższych punktach 1-9.



## 1. Menu

Menu składa się z sześciu przycisków za pomocą, których możesz zrealizować następujące operacje,

- „Zakończ” – kończy działanie programu,
- „Info” – otwiera powitalne okno informacyjne na temat projektu efizyka,
- „Instrukcja” – otwiera instrukcję obsługi przeprowadzanego ćwiczenia w PDF<sup>1</sup>,
- „Schemat” – otwiera okno przedstawiające schemat układu pomiarowego,
- „Podłącz/Rozłącz Przyrządy” – powoduje automatyczne połączenie/rozłączenie aparatury pomiarowej,
- „Włącz/Wyłącz Aparaturę” – powoduje automatycznie włączenie/wyłączenie aparatury pomiarowej.

## 2. Suwak zmiany działania szybkości aplikacji

Suwak umożliwia dostosowanie szybkości działania aplikacji do potrzeb użytkownika i możliwości komputera.

## 3. Pole wyboru wartości elementów obwodu RC

Pole to składa się z dwóch rozwijanych pól wyboru, z których można wybrać dostępne wartości kondensatora C i rezystora R.

## 4. Stoper

W skład stopera wchodzi, stoper z wyświetlaczem analogowym i cyfrowym, umożliwiającym pomiar czasu przez 60s. Czas jest mierzony względem czasu wykonywania się aplikacji, a nie czasu rzeczywistego, dlatego też w zależności od ustawionej szybkości działania aplikacji pomiar może zachodzić szybciej bądź wolniej. Do obsługi stopera służą przyciski,

- „Start” – włącza działanie stopera,
- „Pauza” – chwilowa zawiesza działanie stopera na aktualnej odmierzonej wartości,
- „Stop” – wyłącza i kasuje wskazania stopera.

## 5. Zasilacz laboratoryjny

---

<sup>1</sup> Aby instrukcja mogła być otwarta na komputerze musi być zainstalowane oprogramowanie do przeglądania plików pdf

Zasilacz laboratoryjny symuluje działanie laboratoryjnego źródła napięcia stałego z regulacją do 300V. Włącznik „Power” włącza/wyłącza zasilacz, a przycisk „Output On/Off” odcina/dołącza napięcie do wyjścia napięciowego zasilacza. Pokręta „Coarse” oraz „Fine” służą odpowiednio do, zgrubnej zmiany napięcia  $\sim 10V$ , dokładnej zmiany napięcia  $\sim 1V$ . Przyciski „DC”+ i „DC-”, symulują doprowadzenia elektryczne do zasilacza.

## 6. Obwód drgań relaksacyjnych

Przedstawia wirtualny obwód do badania drgań relaksacyjnych z rys. 3. Wejścia In+ i In- symulują doprowadzenia elektryczne zasilacza napięcia stałego, wyjścia OUT+ i OUT- wyprowadzenia elektryczne do woltomierza, a wyjście 1:10 OUT wyjście BNC do oscyloskopu. Przycisk „Capacitor Discharge” umożliwi rozładowanie kondensatora, a przełącznik „Capacitor On/Off” włączenie/odłączenie kondensatora od obwodu. Nad wirtualnym układem z obwodem do badania drgań relaksacyjnych umieszczono no przycisk „Schemat Układu”, który otwiera w osobnym oknie schemat z rys. 3.

## 7. Multimetr

Symuluje działanie multimetru cyfrowego. Przycisk „Power” służy do włączenia/wyłączenia multimetru, a pokrętko do wyboru trybu działania multimetru, który w ćwiczeniu należy ustawić w pozycję pomiaru napięcia stałego. Wyprowadzenia „A”, „COM”, „V/ $\Omega$ ” symulują doprowadzenia elektryczne multimetru kolejno, amperomierza, masy oraz woltomierza/omomierza.

## 8. Oscyloskop

Symuluje działanie oscyloskopu, układu do wizualnego pomiaru napięcia elektrycznego sygnałów elektrycznych w dziedzinie czasu. W skład oscyloskopu wchodzi następujące elementy,

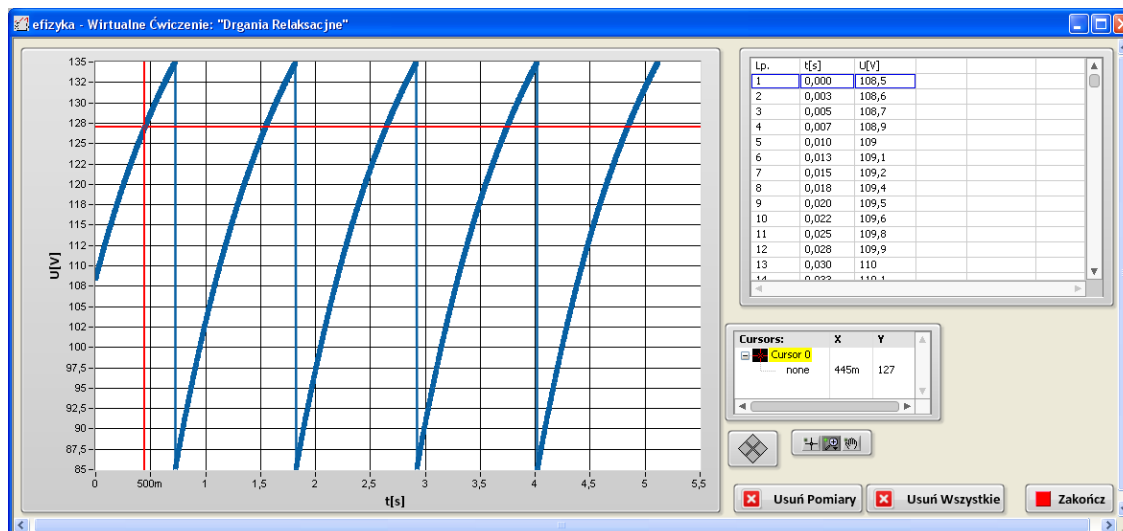
- Przycisk „Power” – włącza/wyłącza oscyloskop,
- Przycisk „Run/Stop” – włącza/zawiesza próbkowanie sygnału, w pozycji Stop, dane pozostają widoczne na ekranie oscyloskopu do momentu ponownego włączenia w pozycji Run,

- Przycisk „Auto” – włącza tryb automatycznego zbierania próbek w wyniku czego dane są automatycznie kasowane i zbierane za każdym razem gdy zostanie przekroczony czas próbkowania,
- Przycisk „Single” – włącza tryb jednorazowego zbierania ciągu próbek sygnału elektrycznego, po zebraniu całego okresu próbkowania zebrane dane zostają widoczne na oscyloskopie, a próbkowanie sygnału zostaje wstrzymane,
- Pokrętła „CH1/2 volts/DIV” – określają szerokość głównej podziałki osi napięcia - y na ekranie oscyloskopu dla sygnału próbkowanego z kanału 1/2,
- Pokrętła „CH1/2 Position” – określają przesunięcie sygnału wzdłuż osi y sygnału z kanału 1/2,
- Pokrętło „time/Div” – określa szerokość głównej podziałki na osi czasu – x,
- Przycisk „CH1/2” – włącza/wyłącza wyświetlanie próbkowanego sygnału na ekranie oscyloskopu z kanału 1/2,
- Przycisk „ACQ Data” – zapisuje aktualnie zebrane dane widoczne na ekranie oscyloskopu i przesyła je do zewnętrznego urządzenia (w tym wypadku wirtualnego laptopa) gdy podłączone jest wyprowadzenie interfejsu USB

## 9. Laptop

Symuluje działanie laptopa jako części układu pomiarowego, którego zadaniem jest akwizycja danych. W celu włączenia laptopa należy wcisnąć przycisk zasilania, i następnie wybrać z pulpitu laptopa program akwizycji danych. Przycisk „Menu” z pulpitu laptopa umożliwia powrót do menu głównego laptopa bez skasowania bieżących danych, które są dostępne po ponownym wybraniu programu akwizycji danych. Obok laptopa znajduje się związany z nim przycisk „Pomiary”, który otwiera okno przeglądania danych z laptopa, pokazane na rys. 6. Okno umożliwia skasowanie dowolnego punktu pomiarowego lub całego zbioru poprzez zaznaczenie niechcianego punktu/punktów z tablicy pomiarów i wciśnięcie przycisku „Usuń Pomiary” lub w celu skasowania wszystkich poprzez przycisk „Usuń wszystkie”. Do przeglądania wartości wyników pomiarów widocznych na wykresie służy kursor widoczny na wykresie, którego aktualne wskazania są widoczne w polu kursora widocznego

obok wykresu. Za pomocą przybornika widocznego pod okienkiem kursora można wykonać zbliżenie/zwiększenie zakresu danych pomiarowych widocznych na wykresie.



Rys. 6 Widok okna panelu przeglądania danych pomiarowych

## 4.2. Wykonanie ćwiczenia

W celu wykonania ćwiczenia należy dla różnych wartości  $R$  i  $C$  dokonać pomiaru okresu drgań relaksacyjnych  $T$ , posługując się poniżej opisanymi metodami pomiaru. Wyniki należy zapisać najlepiej w postaci tabelki, którą należy sobie wcześniej przygotować na kartce papieru lub skoroszycie programu kalkulacyjnego, która może wyglądać w następujący sposób,

Tabela 1 Przykładowa tabelka pomiarowa do ćwiczenia „Drgania Relaksacyjne”

Wartość $R$	Wartość $C$	Napięcie Zasilania $U_0$	Okres $T$ Metoda nr 1	Okres $T$ Metoda nr 2	Okres $T$ Metoda nr 3
...	...		...	...	...

Przed przystąpieniem do pomiarów należy wykonać poniższe czynności,

1. Podłączyć aparaturę – można to zrobić ręcznie klikając na odpowiedni przycisk symbolizujący doprowadzenie danego połączenia elektrycznego lub interfejsu komunikacyjnego, lub automatycznie klikając przycisk „Podłącz Aparaturę”,

2. Włącz aparaturę – włącz zasilanie w aparaturze pomiarowej i program akwizycji danych, można to zrobić ręcznie lub automatycznie klikając przycisk „Włącz Aparaturę”,
3. Wybierz wartości elementów R i C – można to zrobić za pomocą menu wyboru wartości R i C.

Po podłączeniu i włączeniu aparatury można przejść do wykonywania pomiaru okresu drgań relaksacyjnych dla wybranych wartości R i C. Pomiaru można wykonać na kilka sposobów, które przedstawiono w poniższych punktach 1-3.

### **Metoda 1.**

Pomiaru okresu drgań można dokonać poprzez obserwację częstości zapalania się lampy neonowej i pomiaru czasu stoperem. W tej metodzie należy wykonać następujące czynności,

1. Ustaw napięcie na zasilaczu większe niż jest potrzebne do zapalenia lampy neonowej,
2. Podłącz kondensator do obwodu,
3. Poczekaj aż napięcie na kondensatorze osiągnie wartość napięcia zapłonu, o czym świadczyć będzie chwilowe zaświecenie się lampy,
4. Przygotuj się do włączenia stopera i w momencie zapalenia się lampy włącz go,
5. Odmierzaj czas przez 5 – 10 cykli (im więcej tym lepiej) zapalenia się lampy i po ostatnim zatrzymaj stoper i zapisz wartość odmierzonego czasu,
6. Okres drgań jest równy wartości odmierzonego czasu podzielonego przez ilość cykli (mrugnięć) zapalania się lampy neonowej.

Tą metodą można wyznaczyć tylko stosunkowo długie okresy trwania drgań, takie których okres jest na tyle duży, że oko i umysł człowieka jest w stanie zaobserwować i zliczyć cykle zapalania i gaśnięcia lampy neonowej.

### **Metoda 2.**

Okres drgań można wyznaczyć na podstawie pomiaru sygnału napięciowego drgań relaksacyjnych przez oscyloskop. W tym celu wykonaj następujące czynności,

1. Ustaw napięcie na zasilaczu większe niż jest potrzebne do zapalenia lampy neonowej,
2. Podłącz kondensator do obwodu,

3. Poczekaj aż napięcie na kondensatorze osiągnie wartość napięcia zapłonu, o czym świadczyć będzie chwilowe zaświecenie się lampy,
4. Ustaw parametry oscyloskopu i zbierz tyle danych aby zebrać przynajmniej jeden okres drgań widoczny na ekranie oscyloskopu,
5. Prześlij zebrane dane do oscyloskopu wciskając przycisk „ACQ Data”,
6. Otwórz przeglądanie danych przyciskiem „Pomiary”,
7. Wyznacz okres drgań ustawiając kursor w pozycji początkowej drgań i końcowej (zgodnie z rys. 1 b)) i spisz wartości wskazywane przez kursor na osi czasu x,
8. Okres drgań jest równy różnicy obydwu czasów.

### Metoda 3.

Okres drgań wyznaczyć można ze wzoru (3), w tym celu potrzebna jest znajomość napięcia zapłonu  $U_z$  i gaśnięcia  $U_g$  lampy neonowej. W celu dokonania pomiaru napięć  $U_z$  i  $U_g$  wykonaj następujące czynności (w następującej po sobie kolejności),

1. Ustaw napięcie na zasilaczu równe 0V i odłącz kondensator,
2. Stopniowo zwiększaj napięcie pokrętkiem „Coarse” do momentu zapłonu lampy neonowej, zanotuj napięcie sprzed zapaleniem lampy,
3. Stopniowo obniżaj napięcie pokrętkiem „Coarse” aż do momentu zgaszenia lampy, zanotuj największe napięcie sprzed zgaszenia lampy,
4. Ustaw napięcie sprzed zapalenia lampy i następnie stopniowo zwiększaj napięcie pokrętkiem „Fine” do momentu zapalenia się lampy, zanotuj największe napięcie sprzed zapalenia i najmniejsze po zapaleniu lampy i policz średnią arytmetyczną,
5. Zapisz wynik jako napięcie zapłonu lampy neonowej  $U_z$ ,
6. Ustaw napięcie sprzed zgaszenia lampy i następnie stopniowo zmniejszaj napięcie pokrętkiem „Fine” do momentu zgaszenia lampy, zanotuj najmniejsze napięcie sprzed zgaszenia i największe po zgaszenia lampy i policz średnią arytmetyczną,
7. Zapisz wynik jako napięcie zapłonu lampy neonowej  $U_g$ ,

Napięcie należy czytywać z dołączonego woltomierza, który mierzy rzeczywiste wartości napięcia występującego na zaciskach lampy neonowej. Okres drgań wahadła wylicz ze wzoru (3), dla ustalonych wartości R, C i napięcia  $U_0$  (zasilacza laboratoryjnego).

Po zakończeniu pomiarów spróbuj wykonać samemu sprawozdanie z dokonanych pomiarów. Porównaj i opisz uzyskane wyniki z różnych metod, wykreśl zależności parametrów  $R$  i  $C$  w funkcji zmierzonych okresów  $T$ , opisz uzyskane krzywe pomiarowe.