

***KATEDRA FIZYKI***

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



***PRACOWNIA  
ELEKTRYCZNOŚCI I MAGNETYZMU***



***ĆWICZENIE NR E-9***

***DRGANIA RELAKSACYJNE***

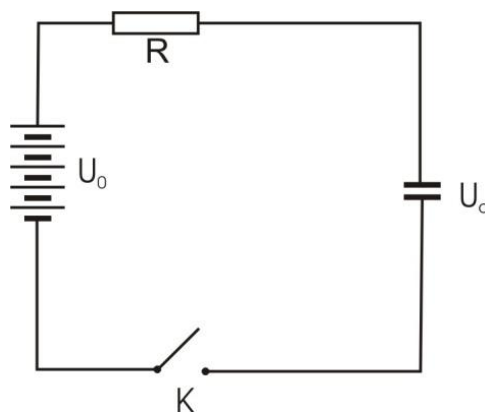
## I. Zagadnienia do przestudiowania

1. Wyładowania w gazach rozrzedzonych.
2. Ładowanie i rozładowanie kondensatora.
3. Drgania relaksacyjne.
4. Okres drgań relaksacyjnych.
5. Wykorzystanie drgań relaksacyjnych.

## II. Wprowadzenie teoretyczne

Periodyczne zmiany napięcia prądu nazywamy drganiami elektrycznymi. Spośród wielu różnych rodzajów drgań elektrycznych wyróżnia się dwa zasadnicze typy: drgania sinusoidalne i drgania o wykładniczym zaniku i narastaniu napięcia.

Drgania sinusoidalne powstają w obwodach zawierających pojemność i indukcyjność. Drugi typ drgań o wykładniczym zaniku i narastaniu napięcia powstaje w obwodach zawierających pojemność i opór. Drgania relaksacyjne są szczególnym przypadkiem drgań wykładniczych. Weźmy pod uwagę obwód złożony z oporu kondensatora, baterii i wyłącznika (rys. 1).



Rys. 1. Kondensator w obwodzie prądu stałego

Po zamknięciu wyłącznika  $K$  napięcie na kondensatorze zacznie wzrastać wykładniczo, co niżej wykażemy. Na podstawie drugiego prawa Kirchhoffa możemy napisać

$$U_0 = I \cdot R + U_c \quad (1)$$

Prąd zmienia się w czasie i zamiast  $I$  podstawiamy  $\frac{dq}{dt}$ , wtedy

$$U_0 = R \frac{dq}{dt} + U_c \quad (2)$$

Ale ze wzoru na pojemność mamy

$$q = CU_c$$

podstawiając do wzoru (2), otrzymamy

$$U_0 = RC \frac{dU_c}{dt} + U_c$$

stąd

$$U_0 - U_c = RC \frac{dU_c}{dt} \quad (3)$$

Powyższe równanie rozwiążemy, rozdzielając zmienne

$$\frac{dU_c}{U_0 - U_c} = \frac{dt}{RC} \quad (4)$$

Całkując obustronnie zależność (4), otrzymamy

$$\ln(U_0 - U_c) = -\frac{t}{RC} + \ln k$$

stąd

$$U_0 - U_c = k e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

Stałą całkowania  $k$  wyznaczamy z warunków początkowych, wiedząc, że w chwili włączenia obwodu do źródła  $t = 0$  oraz  $U_c = 0$ , zatem po podstawieniu tych wartości do zależności (5) otrzymamy  $k = U_0$ . Podstawiając znaną wartość stałej całkowania do zależności (5), otrzymamy wzór opisujący zmianę napięcia na okładkach kondensatora w czasie ładowania go poprzez opór  $R$

$$U_c = U_0 - U_c e^{-\frac{t}{RC}} = U_0 (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (6)$$

Wykazaliśmy, że po zamknięciu obwodu prąd wzrasta wykładniczo. Po otwarciu obwodu napięcie będzie malało wykładniczo według zależności

$$U_c = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (7)$$

Włączając i wyłączając obwód, otrzymalibyśmy nieregularne wahania napięcia o przebiegach wykładniczych - najogólniejszy typ drgań relaksacyjnych.

Aby proces ładowania i rozładowania następował periodycznie, tj. aby powstawały regularne drgania relaksacyjne, należy połączyć oporem okładki kondensatora ze źródłem prądu stałego oraz

dodatkowo z urządzeniem, które będzie w równych odstępach czasu włączać i wyłączać prąd w obwodzie.

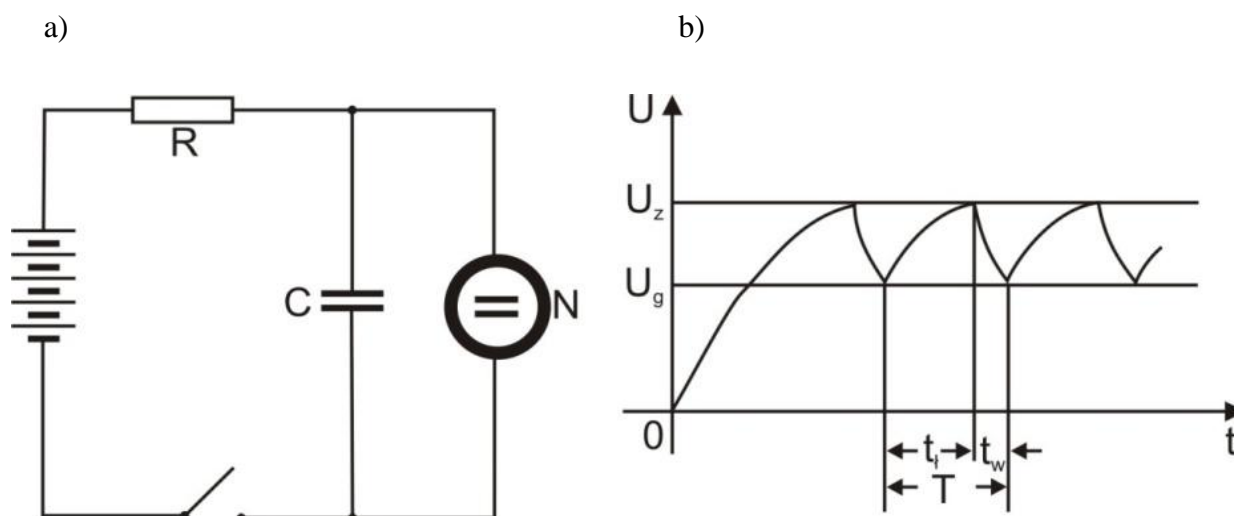
Rolę takiego urządzenia odgrywa lampa neonowa. Jest to bańka szklana wypełniona neonem o ciśnieniu kilku mm Hg, zaopatrzona w dwie blisko siebie położone elektrody. Elektrody te pokryte są warstwą metalu łatwo emitującego elektrony, np. baru. Gdy lampa się nie jarzy, prąd przez nią nie płynie, gdyż między elektrodami znajduje się warstwa neonu.

Jeżeli na elektrodach lampy powstanie dostateczna różnica potencjałów  $U$ , to pod wpływem pola elektrycznego następuje przyspieszenie jonów i elektronów obecnych zawsze w niewielkiej ilości wewnątrz lampy, a powstałych pod wpływem zewnętrznych czynników jonizujących (np. promieniowanie kosmiczne).

Elektrony przyspieszone przez pole elektryczne dążą do elektrody dodatniej. Po drodze ulegają one zderzeniom z napotkanymi atomami neonu i jonizują je: powstają wówczas nowe elektrony, które przyspieszone mogą jonizować dalsze atomy. Występuje wtedy tzw. jonizacja lawinowa i gwałtowny przepływ prądu przez lampę.

W tym stanie jarzenia lampa ma bardzo mały opór, zachodzi więc gwałtowne wyładowanie kondensatora połączonego z jej elektrodami. Lampa gaśnie wtedy, gdy napięcie na kondensatorze zmniejszy się do napięcia gaśnięcia  $U_g$ . Oporność lampy wzrasta wówczas do bardzo dużej wartości, prąd przestaje płynąć przez lampę, rozpoczyna się proces ładowania kondensatora do napięcia  $U_z$ , przy którym lampa zapala się.

W ten sposób układ złożony z kondensatora ładującego się z baterii przez duży opór oraz lampy połączonej równolegle z okładkami kondensatora (rys. 2a) staje się źródłem drgań elektrycznych, periodycznych wahań napięcia od  $U_g$  do  $U_z$  (rys. 2b).



Rys. 2. a) Schemat ideowy obwodu do otrzymywania drgań relaksacyjnych,  
b) drgania relaksacyjne

Napięcie  $U_z$  jest wyższe od  $U_g$  dla każdej lampy neonowej, co jest spowodowane powstawaniem ładunku przestrzennego między elektrodami lampy w czasie jarzenia. Ładunek ten, utworzony przez chmurę elektronów i jonów, kompensuje częściowo napięcie, jakie elektrody muszą mieć względem siebie w pierwszej chwili. Małe odcinki krzywej wykładniczej są bardzo zbliżone do linii prostej, toteż można założyć, że zmiany napięcia podczas drgań są proporcjonalne do czasu (rys. 2b).

Czas trwania okresu napięcia piłokształtnego  $T$  składa się z czasu ładowania  $t_l$  i czasu rozładowania  $t_w$

$$T = t_l + t_w$$

Czas  $t_w$  jest dużo mniejszy od czasu  $t_l$ , gdyż kondensator rozładowuje się poprzez niewielki opór neonówki, ładowanie zachodzi poprzez duży opór  $R$ , bez większego błędu można założyć

$$T \approx t_l \quad (8)$$

Podczas ładowania kondensatora  $C$  przez opornik  $R$  ze źródła napięcia  $U_0$  o stałej wartości, napięcie na kondensatorze  $U_C$  narasta według krzywej wykładniczej, określonej zależnością (6). Czas ładowania kondensatora od napięcia zerowego do napięcia zapłonu  $U_z$  obliczymy, przekształcając równanie (6)

$$t_2 = RC \ln \frac{U_0}{U_0 - U_z} \quad (9)$$

czas  $t_1$  potrzebny do naładowania kondensatora od napięcia zerowego do napięcia gaśnięcia jest równy

$$t_1 = RC \ln \frac{U_0}{U_0 - U_g} \quad (10)$$

Czas doładowywania kondensatora od napięcia zgaśnięcia do napięcia zapłonu możemy wyrazić jako różnicę czasów  $t_2$  i  $t_1$

$$t_l = t_2 - t_1 = RC \ln \frac{U_0}{U_0 - U_z} - RC \ln \frac{U_0}{U_0 - U_g} \quad (11)$$

$$t_l = RC \ln \frac{U - U_g}{U - U_z}$$

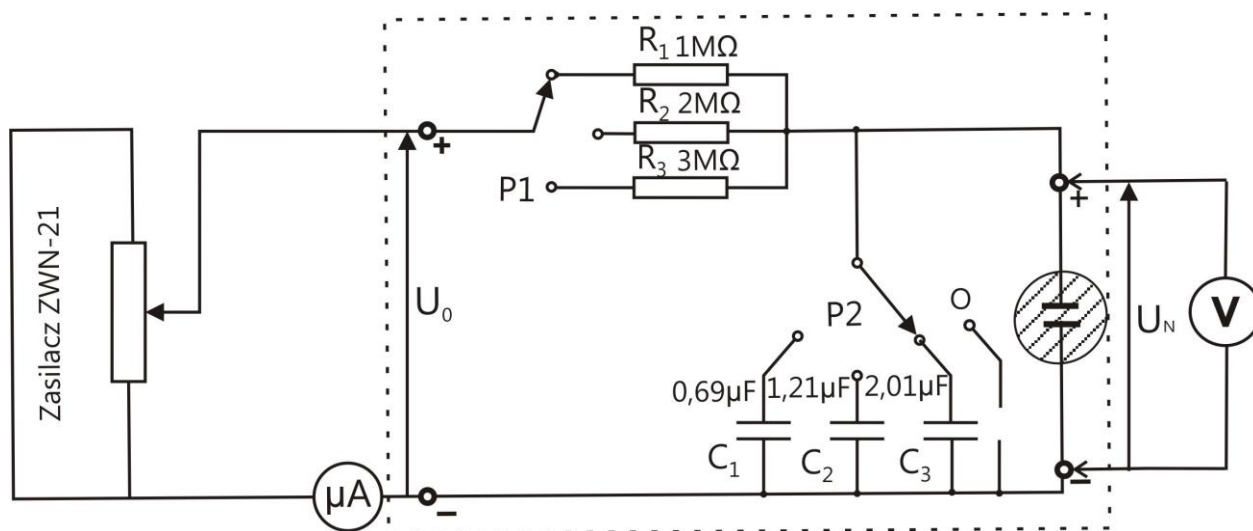
Na podstawie przybliżenia (8) mamy

$$T = RC \ln \frac{U - U_g}{U - U_z}$$

### III. Zestaw pomiarowy

Zasilacz, neonówka, multimetr, mikroamperomierz, stoper, zestaw przełączanych oporników i kondensatorów.

### IV. Schemat układu pomiarowego



### V. Przebieg ćwiczenia

#### Pomiar napięcia zapłonu i gaśnięcia neonówki

1. Połączyć obwód wg schematu.
2. Sprawdzić, czy helipot wkładki ZWN – 21 jest ustawiony w pozycji zero. (jeśli nie, ustawić).
3. Wybrać na wkładce ZWN – 21 zakres napięć zasilających 0-1000 V.
4. Ustawić przełącznik P2 w pozycji C<sub>3</sub>, przełącznik P1, na oporze R<sub>3</sub>.
5. Przełącznikiem obrotowym wybrać na multimetrze PC510 pozycję  $V \overline{\dots}$  (pomiar napięcia stałego).
6. Przyciskiem RANGE wybrać zakres 500,0 V. Na wyświetlaczu pojawi się 000.0V.
7. Umieścić jeden wtyk przewodu w gnieździe COM(gniazdo minus), drugi w gnieździe oznaczonym symbolem V (gniazdo dodatnie)
8. Podłączyć multimetr do zacisków neonówki U<sub>N</sub>.
9. Zwiększać helipotem powoli napięcie zasilania aż do momentu zapłonu neonówki. Wcisnąć przycisk CAPTURE ( na wyświetlaczu pokaże się napis C i MAX). Po chwili odczytujemy wartość maksymalną, jest to napięcie U<sub>z</sub>. Wcisnąć ponownie CAPTURE, wyświetlacz wskaże wartość minimalną, jest to napięcie U<sub>g</sub>.
10. Nacisnąć przycisk CAPTURE dłużej niż 2 sekundy ,wychodzimy z trybu detekcji wartości maksymalnej i minimalnej.
11. Powtórzyć pomiary trzykrotnie, obliczyć wartości średnie U<sub>z</sub>(śr) i U<sub>g</sub>(śr).

12. Wyniki pomiarów wpisać do tabeli 1a.
13. Odłączyć woltomierz od zacisków neonówki i podłączyć do zacisków zasilania. Pamiętać o polaryzacji zacisków. Ustawić przełącznik P2 w pozycji O.

### ***Pomiar okresu drgań relaksacyjnych w zależności od wartości oporu $R$ i pojemności $C$***

1. Za pomocą potencjometru ustawić napięcie pracy neonówki  $U_0 = U_z + 7V$
2. Zmierzyć czas ( $t$ ) 20 błysków lampy (lub drgań wskazówki mikroamperomierza) dla wszystkich kombinacji wartości oporów i pojemności, każdy pomiar powtórzyć trzykrotnie.
3. Wyniki zanotować w tabeli 2.

## **VI. Tabele pomiarowe**

Tabela 1a

Lp.	$U_z$ [V]	$U_{z\text{śr}}$ [V]	$U_g$ [V]	$U_{g\text{śr}}$ [V]	$U_0$ [V]
1					
2					
3					

Tabela 1b

	<i>woltomierz</i>
zakres pomiarowy	500,0 V
rozdzielczość	0,1V
niepewność pomiarowa	$\pm 0,08\%$ wskazania $\pm 2$ cyfry

Tabela 2

Lp.	R [M $\Omega$ ]	C [ $\mu$ F]	t [s]	$T_{zm, i}$ [s]	$T_{zm, \text{śr}}$ [s]	$ \Delta T_{zm} $ [s]	$T_{obl}$ [s]	$ \Delta T_{obl} $ [s]
1	1	0,69	....., ....., .....	....., ....., .....				
2	1	1,21						
3	1	2,01						
4	2	0,69						
5	2	1,21						
6	2	2,01						
7	3	0,69						
8	3	1,21						
9	3	2,01						

## VII. Opracowanie wyników pomiarów

1. Okres drgań zmierzony należy obliczyć ze wzoru

$$T_{zm} = \frac{t}{20}$$

2. Średni okres drgań zmierzonych należy obliczyć jako średnią wartość 3 pomiarów.
3. Okres drgań  $T_{obl}$  należy obliczyć ze wzoru:

$$T_{ob} = RC \ln \frac{U_0 - U_g}{U_0 - U_z}$$

4. Porównać okres drgań obliczony z okresem drgań zmierzonych stoperem.

## VIII. Rachunek błędu

1. Za  $|\Delta T_{zm}|$  przyjąć

$$|\Delta T_{zm}| = |T_{zm,i} - T_{zm,\acute{s}r}|_{\max}$$

2. Błąd bezwzględny  $|\Delta T_{obl}|$  obliczyć metodą różniczki zupełnej.

## IX. Literatura

1. Dryński T., Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, Warszawa 1978.
2. Lech J., Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Wydziału Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej PCz, Częstochowa 2005.
3. Massalski J., Massalska M., Fizyka dla inżynierów - Fizyka klasyczna, Tom I, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
4. Piekara A., Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1970.
5. Szydłowski H., Pracownia fizyczna wspomagana komputerem, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003.