Ćwiczenie 15

Wyznaczanie krzywej ładowania kondensatora

15.1. Zasada ćwiczenia

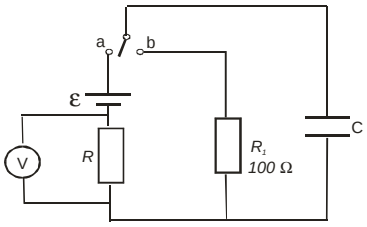
Badanie przebiegu procesu ładowania kondensatora oraz wyznaczenie stałej czasowej szeregowego układu *RC*.

15.2. Wiadomości teoretyczne

Podłączenie kondensatora do źródła siły elektromotorycznej (ε) prowadzi do jego naładowania ładunkiem q proporcjonalnym do pojemności kondensatora (C) :

$$q = C \cdot \varepsilon \ . \tag{15.1}$$

Szybkość ładowania kondensatora jest uwarunkowana szeregową opornością elektryczną (R), przez którą kondensator jest łączony ze źródłem ε. Proces ładowania wydłuża się w czasie, jeżeli rośni oporność R. Wyznaczmy stałą czasową tego procesu.



Rys.15.1. Schemat układu pomiarowego.

Rysunek 15.1 przedstawia schemat połączenia elementów układu. Ładowanie kondensatora następuje, gdy przełącznik jest ustawiony w położenie a. Wtedy praca wykonana przez źródło siły elektromotorycznej ($\varepsilon\, dQ$) musi być równa sumie energii wydzielonej w postaci ciepła na oporze ($I^2 R\, dt$) i przyrostowi energii zgromadzonej w kondensatorze $\left(d\left(\frac{Q^2}{2C} \right) \right)$:

$$\varepsilon\, dQ = I^2 R\, dt + \frac{Q}{C} dQ \ , \tag{15.2}$$

gdzie $dQ = I\, dt$ jest ładunkiem przepływającym w przedziale czasu dt. Z równania (15.2) otrzymujemy:

$$\varepsilon \frac{dQ}{dt} = I^2 R + \frac{Q}{C} \frac{dQ}{dt} \ , \tag{15.3}$$

co prowadzi do równania różniczkowego:

$$\varepsilon = R\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} \quad , \tag{15.4}$$

którego rozwiązanie, gdy $Q(t=0)=0$, ma postać:

$$Q = C \cdot \varepsilon \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)\right). \tag{15.5}$$

Równanie to pokazuje jak zmienia się ładunek na kondensatorze licząc od momentu ustawienia przełącznika w pozycję a. Jak widać:

$$\lim_{t \to \infty}(Q) = C \cdot \varepsilon \quad , \tag{15.6}$$

co jest zgodne z (15.1). Iloczyn RC określa szybkość ładowania kondensatora. Różniczkując równanie (15.5) względem czasu wyznaczamy prąd ładowania kondensatora:

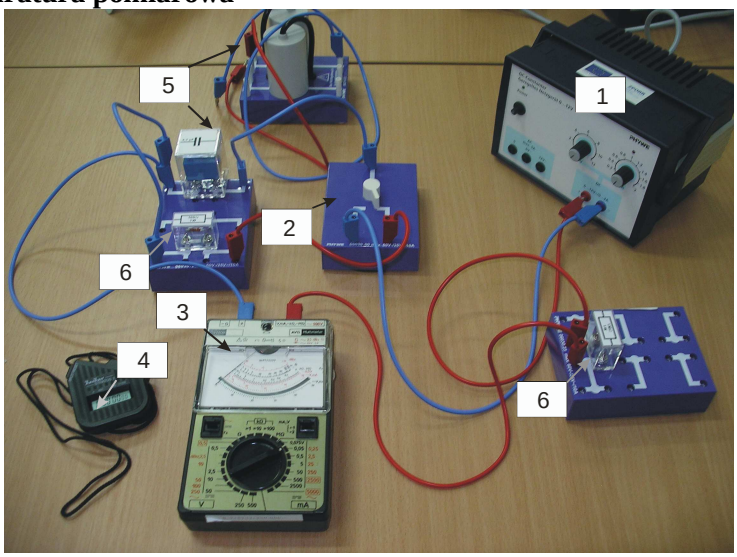
$$I = \frac{\varepsilon}{R}\exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad . \tag{15.7}$$

Po czasie τ, określonym wzorem:

$$\tau = RC\,, \tag{15.8}$$

prąd ten maleje e razy. Wielkość τ nazywamy stałą czasową układu.

5.3. Aparatura pomiarowa



Rysunek 15.2. Zdjęcie stanowiska pomiarowego.

Układ pomiarowy składa się z:

- zasilacza (1),
- przełącznika (2),
- miernika uniwersalnego (3),
- stopera (4),

- kondensatorów (5),
- oporników (6).

5.4. Zadania

W ramach ćwiczenia można mierzyć zmianę napięcia na oporze R w czasie ładowania kondensatora, przy czym:

- pierwszy pomiar warto przeprowadzić dla ε=12 V, R=1 MΩ i C=30 μF,
- a następnie można przeprowadzić analogiczne pomiary dla większych wartości C (przy stałych wartościach ε i R) oraz większych wartości R (przy stałych wartościach ε i C).

5.5. Przebieg pomiarów i opracowanie wyników

Celem ćwiczenia jest badanie przebiegu procesu ładowania kondensatora oraz wyznaczenie stałej czasowej szeregowego układu RC. Ze względów technicznych w ćwiczeniu mierzymy zmiany w czasie napięcia na szeregowym oporze R zamiast pomiaru zmian prądu ładowania. Taka metoda badań może być realizowana z użyciem miernika uniwersalnego – nie ma konieczności pomiaru mikroamperowych wartości prądu. Biorąc pod uwagę, że prąd ładowania ma postać (15.7), napięcie na oporze R jest następującą funkcją czasu:

$$U = \varepsilon \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad . \tag{15.8}$$

Ćwiczenie należy przeprowadzić tak, by równocześnie z włączeniem przełącznika do pozycji a uruchomić stoper i co 10 sekund spisywać wartość napięcia z miernika. Doświadczenie musi być wykonywane przez dwie osoby. W zależności od badanego układu pomiar należy przeprowadzić przez 150 – 300 s.

Przełączając włącznik do pozycji b powodujemy rozładowanie kondensatora. Prąd rozładowania płynie przez opornik R_1. Po rozładowaniu kondensatora można dołączyć do niego równolegle dodatkowy kondensator lub dołączyć szeregowo do opornika R dodatkowy opornik, tak by zwiększyć stałą czasową układu i przeprowadzić dodatkowe pomiary w analogiczny sposób. Ładowanie warto przeprowadzać przy ε=12 V – jest to maksymalna wartość napięcia, jaką można ustawić na zasilaczu.

Otrzymane wyniki należy wykreślić w postaci ln(U) w funkcji t. Bezpośrednio z wykresu lub metodą najmniejszych kwadratów można wyznaczyć współczynnik kierunkowy prostej i następnie obliczyć stałą czasową układu. Na końcu warto porównać otrzymane z doświadczenia τ z wartościami, jakich możemy oczekiwać biorąc pod uwagę nominalne wartości R i C.

5.6. Wymagane wiadomości

1. Pojemność kondensatora.
2. Ładowanie/rozładowanie kondensatora.

5.7. Literatura

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker – Podstawy fizyki, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.