INSTYTUT ELEKTRONIKI
I SYSTEMÓW STEROWANIA

WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY

POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA

LABORATORIUM FIZYKI

Ćwiczenie NR E-1

BADANIE PROCESÓW ŁADOWANIA I ROZŁADOWANIA KONDENSATORA

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zbadanie przebiegu procesów ładowania i rozładowania kondensatora oraz wyznaczenie stałych czasowych dla układów RC.

2. Zagadnienia do przestudiowania

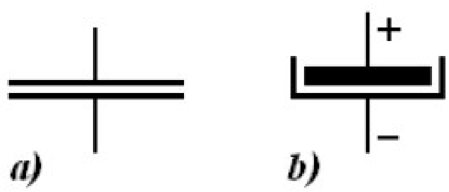
- Pole elektryczne – natężenie i potencjał.
- Pojemność kondensatora.
- Ładowanie i rozładowanie kondensatora.
- Stała czasowa obwodu.

3. Wprowadzenie

Kondensator służy do gromadzenia ładunku elektrycznego i jest układem dwóch odizolowanych elektrycznie przewodników. W najprostszym przypadku są to dwie jednakowe, równoległe względem siebie i odizolowane metalowe płyty. Przestrzeń między nimi jest wypełniona dielektrykiem, np. powietrzem. Symbol graficzny kondensatora „zwykłego" pokazano na rys. 1 a. Rysunek 1 b. pokazuje symbol kondensatora elektrolitycznego lub tantalowego. Ta grupa kondensatorów ma oznaczoną biegunowość elektrod - mylne ich połączenie może doprowadzić tło zniszczenia kondensatora.

Ilość zgromadzonego na kondensatorze ładunku elektrycznego Q zależy od geometrii jego płyt, rodzaju zastosowanego dielektryka oraz przyłożonego do jego okładek napięcia U i jest opisana wzorem:

$$\mathbf{Q} = \mathbf{C} \cdot \mathbf{U} \qquad (1)$$



Rys.1 . Symbole kondensatora: a) zwykłego, b) elektrolitycznego

Współczynnik proporcjonalności między ładunkiem a napięciem oznaczony we wzorze (1) jako C nosi nazwę pojemności kondensatora a jego wartość zależy od konkretnego rozwiązania konstrukcyjnego. Fizyczny sens pojemności – mówi, jaki ładunek zostanie zgromadzony na kondensatorze, jeśli do jego okładek przyłożymy jednostkowe napięcie.

$$\mathbf{C = \frac{Q}{U}}$$

Jednostką pojemności jest 1 farad, co zapisujemy jako l F.

$$\mathbf{1F = \frac{1C}{1V}}$$

W praktyce wygodniejsze w użyciu są jednostki mniejsze:

mikrofarad $1\mu F = 10^{-6} F$

nanofarad $1nF = 10^{-9} F$

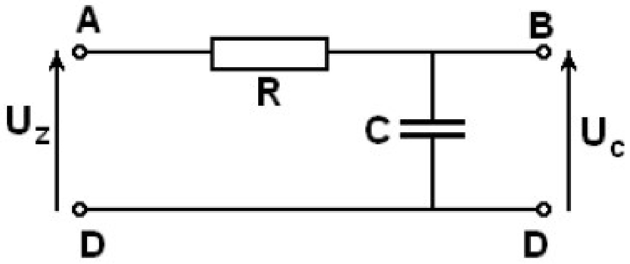
i pikofarad $1\ pF = 10^{-12}\ F$.

Znajdujący się w kondensatorze dielektryk (izolator) ma określoną wartość napięcia przebicia. Po naładowaniu kondensatora do napięcia powyżej tej wartości następuje przepływ ładunku elektrycznego z jednej elektrody na drugą poprzez dielektryk. Potencjały okładek kondensatora wyrównują się. Napięcie na kondensatorze jest wtedy równe zeru, a co za tym idzie zgromadzony ładunek jest też zerowy.

Na rysunku 2 pokazano prosty układ RC. Składa się on z opornika R i kondensatora C, które tworzą czwórnik czyli układ o czterech zaciskach. Dwa z nich, A i D, stanowią wejście układu, a dwa, B i D, wyjście. Do wejścia przykładamy napięcie zasilania U_z, natomiast na wyjściu czwórnika otrzymujemy napięcie użyteczne.

Ładowanie kondensatora

Z praw Kirchhofia wynika, że napięcie zasilania U_z równa się sumie napięć na oporniku $U_R = U_{AB}$ oraz na kondensatorze $U_C = U_{BD}$.



Rys. 2. Rozkład napięć w obwodzie zawierającym pojemność C i oporność R.

Można więc zapisać, że:

$$\mathbf{U_R+U_C=U_Z.} \qquad (2)$$

Z prawa Ohma oraz z definicji (1) wynika, że

$$\mathbf{U_R = I \cdot R.} \qquad\qquad \mathbf{U_C = \frac{Q}{C}}$$

co pozwala zapisać równanie (2) w postaci

$$\mathbf{R \cdot I + \frac{Q}{C} = R\frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{C} = U_Z} \qquad (3)$$

Równanie (3) opisuje zależność ilości zgromadzonego na kondensatorze ładunku **Q** od czasu ładowania **t** i przyłożonego napięcia $\mathbf{U_Z}$.

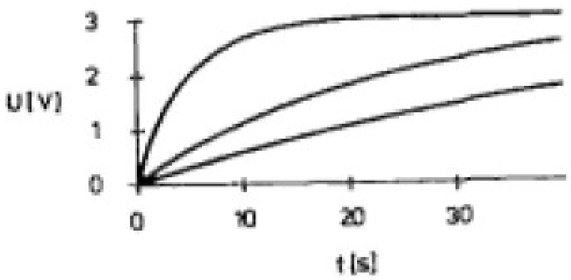
Gdy U_Z= const., rozwiązanie równania (3) ma postać:

$$\mathbf{Q(t) = C \cdot U_Z\left(1 - e^{\frac{-t}{R \cdot C}}\right)},$$

$$\mathbf{U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = U_Z\left(1 - e^{\frac{-t}{R \cdot C}}\right)}. \qquad (4)$$

Na rysunku 3 pokazano przebieg ładowania (wzór (4)) kondensatora do napięcia 3 V. Widać, że im większą pojemność ma kondensator, tym wolniej rośnie napięcie.

Do pełnego napięcia kondensator ładuje się asymptotycznie, czyli osiągnie go po czasie t = ∞.



Rys.3. Przebieg ładowania kondensatora dla różnych wartości C i R = 100 Ω

<u>Rozładowanie kondensatora</u>

Zwarcie wejścia układu (punktów A i D z rysunku 2) oznacza, że $U_Z = 0$. W tym wypadku, jeśli ładunek na kondensatorze jest różny od zera, przez opór R płynie prąd:

$$\mathbf{I = \frac{U_C}{R}}$$

równy ubytkowi ładunku na kondensatorze:

$$\mathbf{I = -\frac{dQ}{dt}},$$

co wraz z definicją (1) pozwala zapisać równanie rozładowania kondensatora w postaci:

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{R \cdot C}. \qquad (5)$$

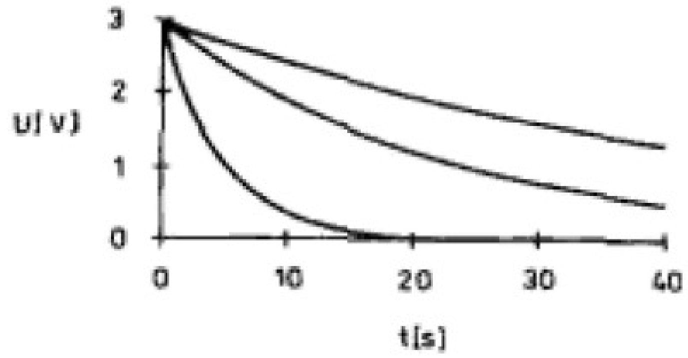
To ostatnie równanie ma rozwiązanie:

$$Q(t) = Q_0 e^{\frac{-t}{R \cdot C}}$$

gdzie Q_0 oznacza ładunek zgromadzony na kondensatorze w chwili rozpoczęcia rozładowania (t = 0). Równanie to prowadzi do zależności

$$U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = U_0 e^{\frac{-t}{R \cdot C}}, \qquad (6)$$

gdzie U_0 oznacza napięcie, do którego naładowany był kondensator w chwili t = 0



Rys. 4. Przebieg rozładowania kondensatora dla różnych wartości C i R=100 kΩ

Powyższy rysunek przedstawia rozładowanie kondensatora (wzór (6)).

Tu najszybciej rozładowuje się kondensator o najmniejszej pojemności. Dochodzenie do zerowego napięcia jest także asymptotyczne. Wykresy na rysunkach 3 i 4 są wynikiem symulacji komputerowej i dają wyobrażenie o czasach przebiegu obu procesów.

Równania ładowania i rozładowania kondensatora można oczywiście zapisać dla ładunku lub płynącego w obwodzie prądu. Tu podajemy tylko równania napięciowe, gdyż pomiar napięcia jest w praktyce wygodniejszy od pomiaru ładunku.

Wyznaczanie stałej czasowej układu RC

Wielkość RC występującą we wzorach (5) i (6) nazywa się stałą czasową układu. Jej wartość określa czas, po upływie którego w procesie rozładowania napięcie na okładkach kondensatora spadnie do wartości V_0/e, gdzie e jest podstawą logarytmów naturalnych. Stała czasowa jest bardzo istotną wielkością dla konstruktorów aparatury elektronicznej. O szybkości pracy zestawu układów elektronicznych decydują ich stałe czasowe. Odpowiedni ich dobór pozwala w optymalny sposób osiągać założone parametry układów.

Stałą czasową RC można wyznaczyć kilkoma metodami:

1. Po zlogarytmowaniu wzoru (6) otrzymuje się liniową zależność logarytmu ze stosunku napięć od czasu.

$$\mathbf{y = \ln\left(\frac{U_C(t)}{U_0}\right) = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot t}.$$

Wykres y = f(t) otrzymany z danych pomiarowych po ich przekształceniu według wzoru (7) jest linią prostą, której współczynnik nachylenia wynosi

$$\mathbf{\frac{1}{R \cdot C}}$$

2. Zauważmy, że jeśli $\frac{\mathbf{U_0}}{\mathbf{U_C}} = \mathbf{e}$, to $t = RC$, co z kolei pozwala na wyznaczenie stałej czasowej bez linearyzacji wykresów $U_C = f(t)$.

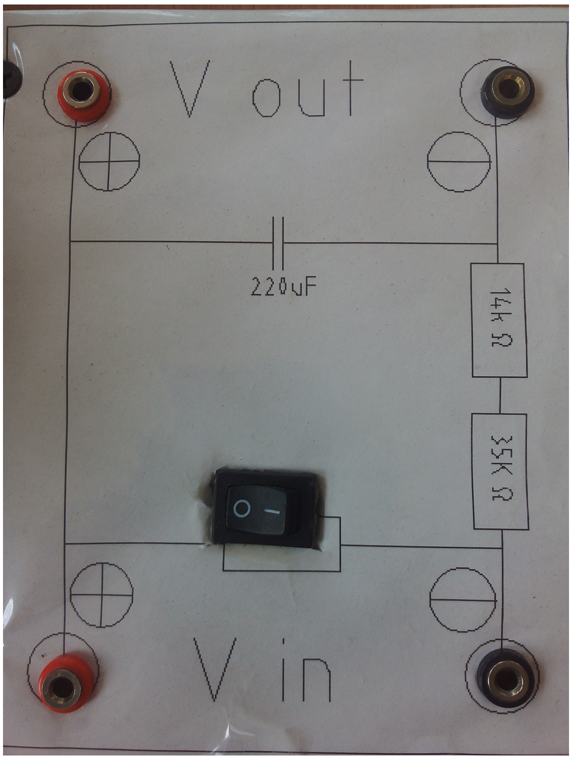
3. Można też wprowadzić dane pomiarowe do arkusza kalkulacyjnego i znając postać funkcji ładowania (rozładowania) skorzystać z możliwości policzenia współczynników najlepszego dopasowania odpowiedniej funkcji matematycznej.

Wszystkie wyprowadzone powyżej wzory są słuszne dla idealnego kondensatora, dla którego opór między okładkami wynosi $R = \infty$! W praktyce opór ten jest bardzo duży, ale skończony - przez kondensator płynie niewielki prąd upływu. Dla dobrych jakościowo kondensatorów prąd ten jest praktycznie niemierzalny.

4. Zasada pomiaru

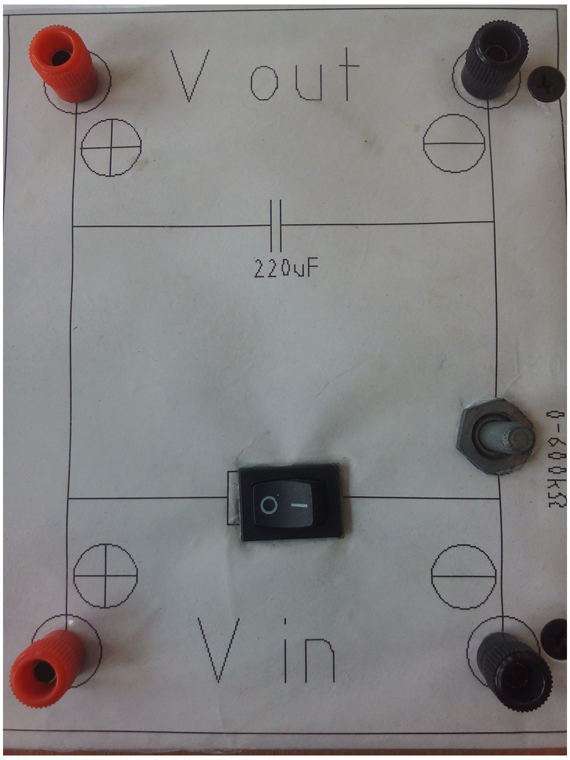
Zestaw pomiarowy:

- układ ze stałą rezystancją i stałą pojemnością (220 μF),



Rys. 5. Układ RC ze stałą pojemnością i stałą rezystancją

- układ ze zmienną rezystancją (potencjometr) i stałą pojemnością (220 μF),



Rys. 6. Układ RC ze stałą pojemnością i zmienną rezystancją do 600kΩ

- zasilacz laboratoryjny do 30V,

- miernik pomiarowy Metex,

- miernik uniwersalny,

- komputer PC.

Zadaniem jest stworzenie krzywych ładowania i rozładowania kondensatora dla dwóch w. w. układów oraz wyznaczenie stałych czasowych. Na zasilaczu należy ustawić wartości napięcia 5 i 10V. Dla układu ze zmienną opornością ustawiamy minimalną i maksymalną wartość rezystancji.

Należy wykonać pomiary dla trzech kombinacji.

- układ ze stałą rezystancją i stałą pojemnością (220 μF)

- układ z dużą rezystancją oraz stałą pojemnością (220 μF)

- układ z małą rezystancją i stałą pojemnością (220 μF)

Na zasilaczu laboratoryjnym ustawiamy założone napięcia i podłączamy go do zacisków na wejściu układu RC. Miernik Metex podłączamy do zacisków na wyjściu układu oraz do komputera PC. W celu sprawdzenia wartości oporu elektrycznego na potencjometrze będącym częścią składową układu RC podłączamy miernik uniwersalny. Dla uzyskanych krzywych wyznaczyć stałe czasowe dla badanych układów. Pomiary rejestrowane są na komputerze PC. W opcjach programu pomiarowego ustawiamy skale napięcia oraz czasu. Przy rozładowaniu kondensatora jeden z przewodów zasilających odłączony a przełącznik ustawiony na 1. Do sprawozdania należy dołączyć wykresy sporządzone podczas zajęć laboratoryjnych.

5. Literatura

- Szczeniowski Sz., Fizyka doświadczalna, t. III, PWN, Warszawa, 1972
- Purcell E. M. , Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa, 1971
- R.Resnick, D.Halliday, J.Walker – Podstawy fizyki.
- J. Lech Opracowanie wyników pomiarów w laboratorium podstaw fizyki, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Wydział Inżynierii Procesowej, Materiałowej i Fizyki Stosowanej, Częstochowa 2005.