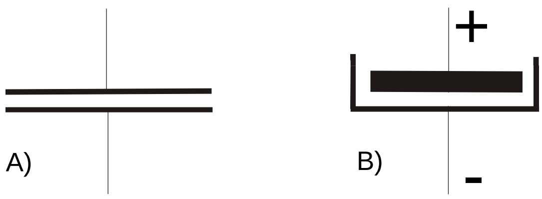
ĆWICZENIE 65	**BADANIE PROCESÓW ŁADOWANIA I ROZŁADOWANIA KONDENSATORA**

Cel ćwiczenia: Wyznaczenie przebiegów ładowania i rozładowania kondensatora oraz wyznaczenie stałej czasowej układów RC.
.

Zagadnienia: prawa Ohma i Kirchhoffa, dzielnik napięć, budowa i parametry kondensatora, układ RC i jego zastosowania - całkowanie i różniczkowanie sygnału elektrycznego oraz filtrowanie.
.

1 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 pomiędzy nimi jest wypełniona dielektrykiem np. powietrzem. Symbol graficzny kondensatora „zwykłego" pokazano na rys. 65.1a. Rys. 65.1b pokazuje symbol kondensatora elektrolitycznego lub tantalowego. Ta grupa kondensatorów ma oznaczoną biegunowość elektrod – mylne ich połączenie może doprowadzić do zniszczenia kondensatora.



Rys. 65.1. Symbole kondensatora a) - zwykłego, b) – elektrolitycznego.

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

$$Q = C \cdot U \tag{65.1}$$

Współczynnik proporcjonalności pomiędzy ładunkiem a napięciem oznaczony we wzorze (65.1) oznaczony przez *C* nosi nazwę pojemności kondensatora a jego wartość zależy od konkretnego rozwiązania konstrukcyjnego. Fizyczny sens pojemności jest taki, że mówi nam ona o tym, jaki ładunek zostanie zgromadzony na kondensatorze jeśli do jego okładek przyłożymy jednostkowe napięcie. Jednostką pojemności jest 1 ***farad*** co zapisujemy jako 1F.

$$1F = 1\frac{A \cdot s}{V}$$

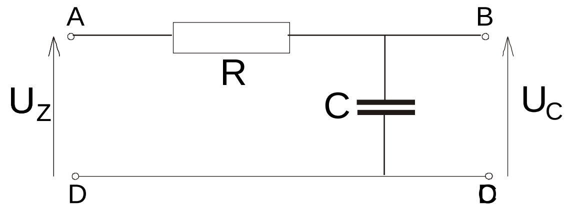
1F jest jednostką bardzo dużą. W praktyce używa się mikrofaradów ($1\mu F=10^{-6}F$), nanofaradów ($1nF =10^{-9}F$) oraz pikofaradów ($1pF=10^{-12}F$)

Na podstawie wzoru (65.1) można by sądzić, że stosując dowolnie duże napięcia można zgromadzić dowolnie duży ładunek. Jest to rozumowanie błędne. 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 („przebicie”). Potencjały okładek kondensatora wyrównują się. Napięcie na kondensatorze jest wtedy równe zeru a co za tym idzie zgromadzony ładunek jest też zerowy.

Na rys.65.2. 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 U_C .

65.1.1. Ładowanie kondensatora

Na podstawie praw Kirchhoffa napięcie zasilania U_Z równa się sumie napięć na oporniku $U_R = U_{AB}$ oraz na kondensatorze $U_C = U_{BD}$



Rys. 65.2. Rozkład napięć w obwodzie zawierającym pojemność C i oporność R

Można więc zapisać, że

$$U_R + U_C = U_Z \qquad (65.2)$$

Z prawa Ohma oraz z definicji (65.1) wynika, że

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

co pozwala zapisać równanie (65.2) w postaci

$$I \cdot R + \frac{Q}{C} = R \cdot \frac{d}{dt} Q + \frac{1}{C} \cdot Q = U_Z \qquad (65.3)$$

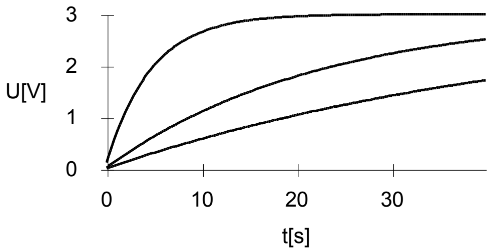
Równanie (65.3) opisuje zależność ilości zgromadzonego na kondensatorze ładunku Q od czasu ładowania t i przyłożonego napięcia U_Z.

Jak łatwo sprawdzić, w przypadku gdy $U_Z=const,$ rozwiązanie równania (65.3) ma postać

$$Q(t) = C \cdot U_Z \cdot (1 - e^{\frac{-t}{RC}})$$

$$U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = U_Z \cdot (1 - e^{\frac{-t}{RC}}) \qquad (65.4)$$

Na rys.65.3 pokazano przebieg ładowania (wzór 65.4) kondensatora do napięcia 3V. Widać, że im większą pojemność ma kondensator tym wolniej rośnie napięcie $U_C(t)$.



Rys. 65.3. Przebieg ładowania kondensatora dla różnych wartości C i dla R=100kΩ.

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

65.1.2. Rozładowanie kondensatora

Zwarcie wejścia układu (punktów A i D z rysunku 65.2) oznacza, że $U_Z = 0$. W tym wypadku, jeśli ładunek na kondensatorze jest różny od zera, przez opór R płynie prąd

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

równy ubytkowi ładunku na kondensatorze w jednostce czasu

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

co wraz z definicją (65.1) pozwala zapisać równanie rozładowania kondensatora w postaci

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{RC} \qquad (65.5)$$

To ostatnie równanie ma rozwiązanie

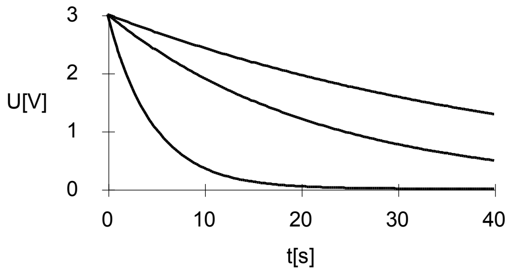
$$Q(t) = Q_O \cdot e^{\frac{-t}{RC}}$$

przy czym Q_O oznacza ładunek zgromadzony na kondensatorze w chwili rozpoczęcia rozładowania ($t=0$). Równanie to prowadzi do zależności

$$U_C(t) = \frac{Q(t)}{C} = U_O \cdot e^{\frac{-t}{RC}} \qquad (65.6)$$

gdzie U_O oznacza napięcie, do którego naładowany był kondensator w chwili $t=0$.

Rysunek 65.4 przedstawia rozładowanie kondensatora (wzór 65.6).



Rys. 65.4. Przebieg rozładowania kondensatora dla różnych wartości *C* i dla R=100kΩ.

Tu najszybciej rozładowuje się kondensator o najmniejszej pojemności. Dochodzenie do zerowego napięcia jest także asymptotyczne. Wykresy na obydwu rysunkach (65.3 i 65.4) 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.

65.1.3. Wyznaczanie stałej czasowej układu RC

Wielkość RC występującą we wzorach 65.5 i 65.6 nazywa się stałą czasową układu. Jej wartość to czas po upływie którego w procesie rozładowania napięcie na okładkach kondensatora spadnie do wartości U_O/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 (65.6) otrzymuje się liniową zależność logarytmu ze stosunku napięć od czasu.

$$y = \ln\left(\frac{U_C(t)}{U_O}\right) = -\frac{1}{RC}\cdot t \qquad (65.7)$$

Wykres $y = f(t)$ otrzymany z danych pomiarowych po ich przekształceniu według wzoru (65.7) jest linią prostą, której współczynnik nachylenia wynosi −1/RC.

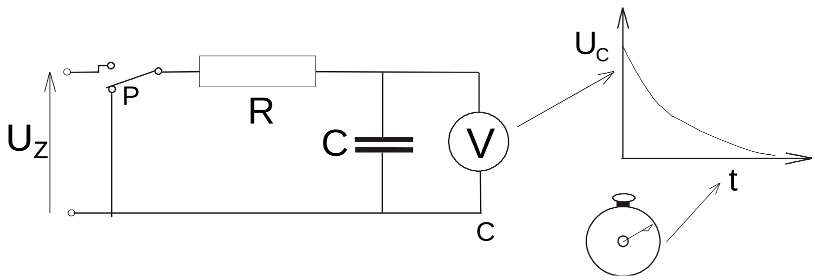
2. Zauważmy, że jeśli $U_O/U_C=e$ to $t=RC$, *co* pozwala na wyznaczenie stałej czasowej wprost (bez linearyzacji) z wykresów $U_C=f(t)$.

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 pomiędzy 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.

65.2. Zasada pomiaru i układ pomiarowy

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie przebiegów ładowania i rozładowania kondensatora dla różnych wartości R oraz C i wyznaczenie stałych czasowych. Idea pomiaru pokazana jest na rys.65.5.



Rys.65.5. Pomiar przebiegów czasowych napięcia

Układ pomiarowy składa się ze źródła napięcia zasilającego U_Z, przełącznika P oraz elementów R i C. Po przełączeniu P w górne położenie kondensator C jest ładowany poprzez opornik R. W położeniu dolnym następuje jego rozładowanie. Napięcie na kondensatorze jest mierzone przy pomocy woltomierza V. Jednocześnie stoperem mierzy się czas ładowania lub rozładowania kondensatora. Z otrzymanych w ten sposób danych sporządza się wykres $U_C(t)=f(t)$.

Potrzebne do obsługi stanowiska informacje podane są w znajdującej się w laboratorium instrukcji roboczej do ćwiczenia.

65.3. Zadania do wykonania

1. Zmontować układ pomiarowy o dużej stałej czasowej.
2. Wykonać pomiary w trybie punkt po punkcie (ze stoperem).
3. Zmontować układ pomiarowy o małej stałej czasowej
4. Przy pomocy komputera otrzymać krzywe ładowania i rozładowania dla trzech różnych wartości RC i na ich podstawie określić parametry dla pomiarów cyfrowych.
5. Opracować wyniki pomiarów:
   - sporządzić wykresy zmierzonych przebiegów;
   - wyznaczyć stałe czasowe;
   - oszacować dokładność otrzymanych wyników.

4 Pytania:

1. Omówić budowę i zastosowanie kondensatora. Podać definicję pojemności kondensatora (jednostka).
2. Napisać II prawo Kirchhoffa dla szeregowego obwodu RC i podać jego rozwiązanie.
3. Narysować krzywe ładowania i rozładowania kondensatora w czasie i omówić wpływ pojemności kondensatora na przebieg krzywych.
4. Wyjaśnić sens fizyczny stałej czasowej RC i przedstawić sposoby jej wyznaczenia.

Literatura:

1. Szczeniowski Sz., Fizyka doświadczalna, t. III, PWN, Warszawa, 1972
2. Nuhrmann D., Elektronika łatwiejsza niż przypuszczasz - elementy, WKiŁ, Warszawa, 1987
3. Purcell E. M. , Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa, 1971
4. Stacewicz T., Kotlarski A., Elektronika w laboratorium naukowym, PWN Warszawa, 1994
Tekst.

Opracował dr A. Kolarz