

Ćwiczenie 16

Superkondensatory jako metoda magazynowania energii

Patrycja Trybułowska, Zuzanna Rudzińska
Zespół 7

04/11/2022

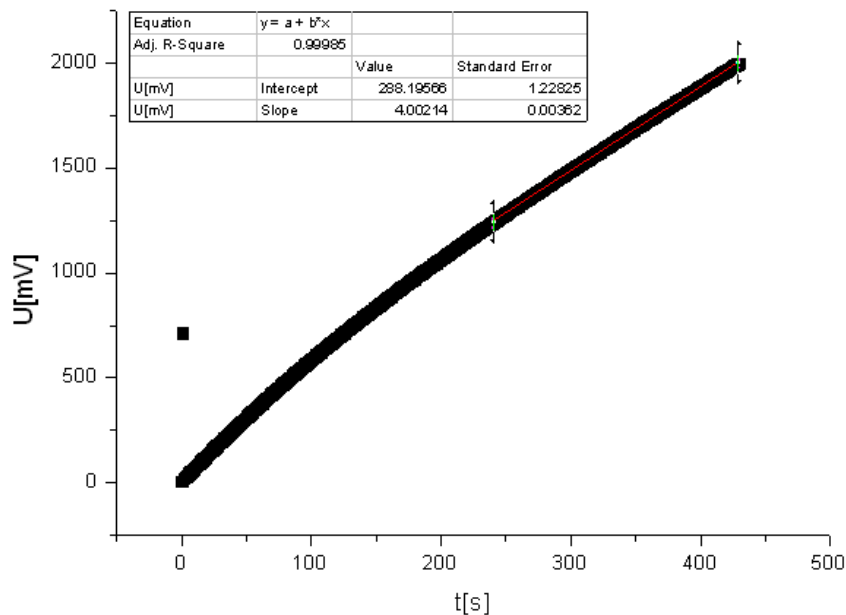
1 Wykonanie ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zbadanie układu zawierającego superkondensator. Badaliśmy proces ładowania i rozładowywania się kondensatora, aby następnie wyznaczyć parametry badanego superkondensatora. Posługiwaliśmy się układem w którego skład wchodził sterowany elektronicznie układ do ładowania i rozładowywania kondensatora zawierający klucz z opornikiem, płytka z kondensatorem oraz komputer z programem sterującym.

Parametry, które przyjęliśmy przy wykonywaniu pomiarów:

- Prąd ładowania-140 [mA]
- Prąd rozładowywania-140 [mA]
- Wartość napięcia, do którego ma być naładowany kondensator-2000 [mA]
- Czas fazy- 1200[s]
- Interwał czasowy- 1[s]

1.1 Pierwsza faza cyklu pomiarowego (ładowanie)



Rysunek 1: Wykres wykonany w programie Origin- napięcie w czasie dla fazy 1

Na wykresie określiliśmy zakres, w którym zależność jest w przybliżeniu liniowa, i wykonaliśmy dopasowanie metodą najmniejszych sumy kwadratów.

Określiśmy współczynnik nachylenia prostej i niepewność jego wyznaczenia:

$$a = 4.00214$$

$$u(a) = 0.00362$$

Na podstawie dopasowania obliczyliśmy pojemność kondensatora zgodnie ze wzorem:

$$C = \frac{I_r \cdot \Delta t}{\Delta V}$$

Wiemy jednak, że współczynnik nachylenia prostej jest równy:

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Wiedząc, że wartość prądu jak ustawiliśmy początkowo w programie wynosiła 140mA możemy policzyć pojemność:

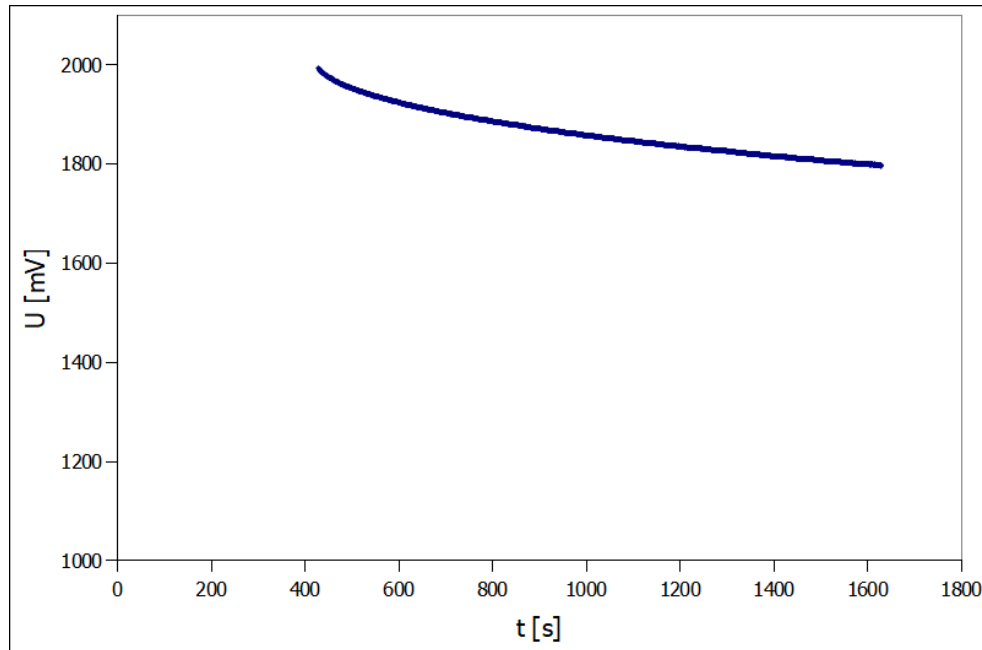
$$C = \frac{I_r}{a} = \frac{140mA}{4.00214} = 34.98[F]$$

Niepewność wyznaczenia tej wartości wynosi zaś zgodnie z propagacją niepewności:

$$u(C) = \frac{I_r \cdot u(a)}{a^2} = 3.16 \cdot 10^{-5}[F]$$

1.2 Druga faza cyklu pomiarowego (pomiar napięcia na zaciskach kondensatora bez ładowania)

Otrzymaną charakterystykę (napięcie w czasie) przedstawiliśmy na rysunku poniżej.



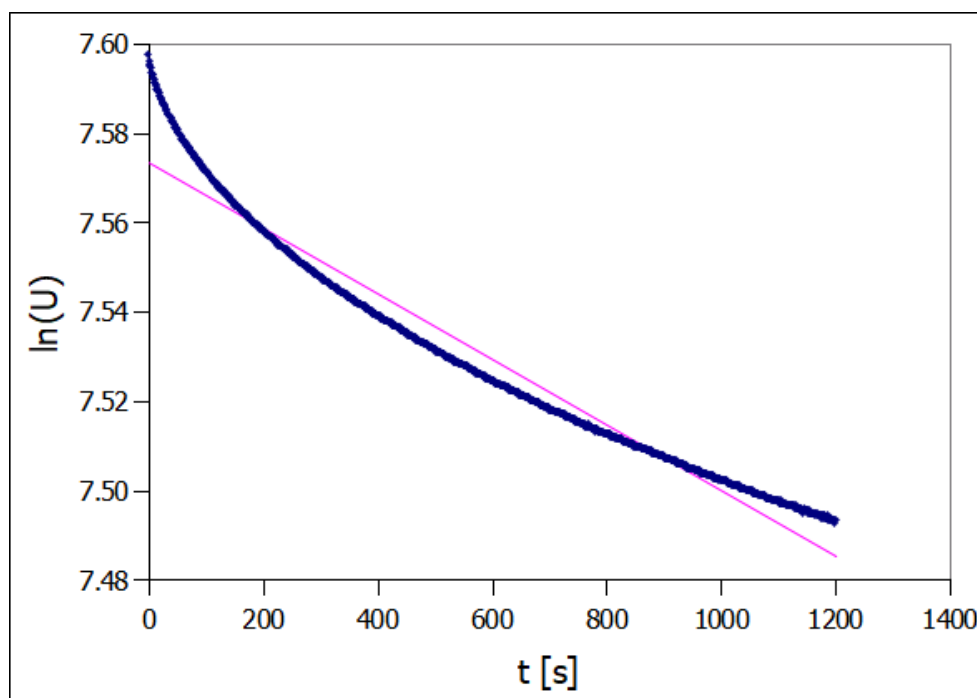
Rysunek 2: Wykres napięcia od czasu dla fazy 2

W czasie tego cyklu napięcie spadło o 197mV licząc od maksymalnego napięcia do końcowego napięcia w tej fazie.

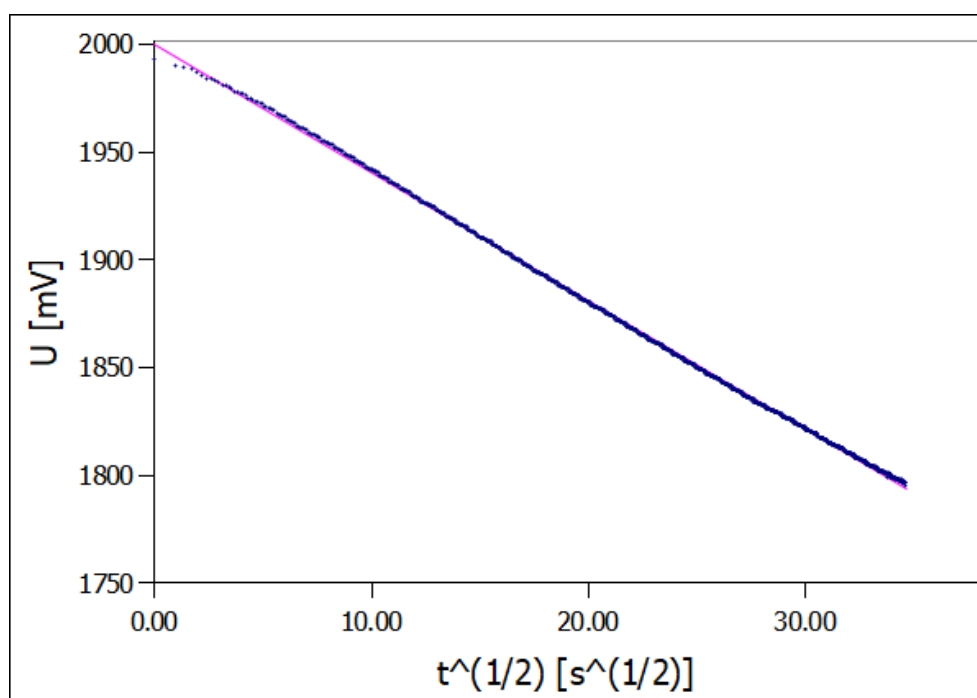
1.2.1 Typ zależności czasowej i dominujący proces powodujący rozładowanie kondensatora

Dla fazy 2 wykonaliśmy dwa wykresy: $\ln U(t)$ oraz $U(t^{1/2})$ i porównaliśmy ich liniowość. Metodą najmniejszych kwadratów (za pomocą funkcji w programie Gnumeric) obliczyliśmy współczynniki dopasowanych prostych:

	$\ln U(t)$	$U(t^{1/2})$
a	$-7.33 \cdot 10^{-5}$	-5.9554
da	$4.38 \cdot 10^7$	0.0036



Rysunek 3: Wykres $\ln U(t)$ dla fazy 2 wraz z dopasowaną prostą

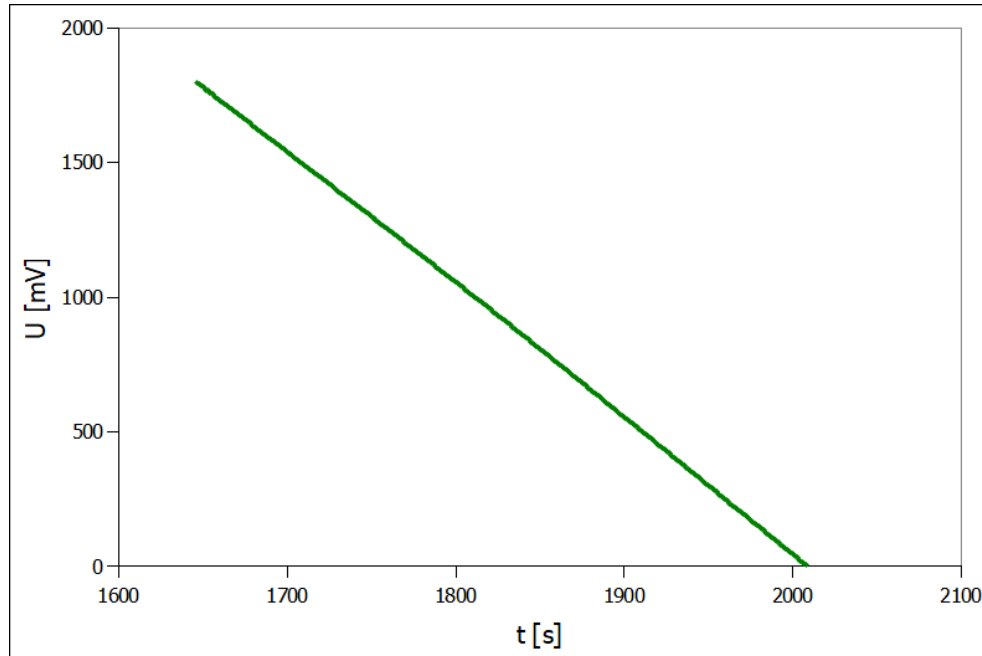


Rysunek 4: Wykres $U(t^{1/2})$ dla fazy 2 wraz z dopasowaną prostą

Jak widzimy bardziej liniowym wykresem okazuje się być charakterystyka $U(t^{1/2})$. Jak wiemy oznacza to, że dominującym procesem powodującym rozładowanie kondensatora

jest dyfuzja jonów. Gdyby były to zanieczyszczenia na materiale elektrody lub elektrolicie to wtedy zależność logarytmu napięcia od czasu byłaby bardziej liniowa. Widzimy jednak znaczne odstępstwa od liniowości nawet bez liczenia współczynnika nachylenia prostej.

1.3 Trzecia faza cyklu (rozładowanie)



Rysunek 5: Wykres napięcia od czasu dla fazy 3

Wyznaczyliśmy pojemność kondensatora korzystając z dwóch metod:

Podobnie jak poprzednio, do wykresu dopasowaliśmy prostą korzystając z metody najmniejszych kwadratów. Otrzymany tak współczynnik nachylenia prostej był równy:

$$a = -4.9585 \frac{mV}{s}$$

$$u(a) = 0.0034 \frac{mV}{s}$$

- Zgodna z normą IEC

Przy tej metodzie na krzywej rozładowania znaleźliśmy punkty odpowiadające $V_1 = 90\%$ oraz $V_2 = 70\%$ wartości napięcia V_R dla fazy 2 (zakładając, że napięcie to ma stałą wartość). Na podstawie czasu, który jest potrzebny do rozładowania kondensatora od wartości napięcia V_1 do wartości napięcia V_2 obliczyliśmy pojemność zgodnie ze wzorem:

$$C = \frac{I_r \Delta t}{\Delta V} = \frac{I_r(t_2 - t_1)}{V_1 - V_2} = \frac{140(1759 - 1684)}{1613.7 - 1255.1} = 29,280[F]$$

Niepewność obliczyliśmy korzystając z metody propagacji niepewności. Zakładając niepewność czasu jako połowę interwału ($u_t = 0.5s$), natomiast niepewność zmiany niepewności jako odstepu między kolejnymi zmierzonymi wartościami ($u_V = 2mV$):

$$u(C) = \sqrt{\left(\frac{\delta C}{\delta \Delta C} u_t\right)^2 + \left(\frac{\delta C}{\delta \Delta V} u_v\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{I^2 u_t^2}{\Delta V^2}\right)^2 + \left(\frac{I^2 \Delta t^2 u_v^2}{\Delta V^4}\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{140^2 \cdot 0.5^2}{358.6^2}\right)^2 + \left(\frac{140^2 \cdot 75^2 \cdot 2^2}{358.6^4}\right)^2} = 0.218[F]$$

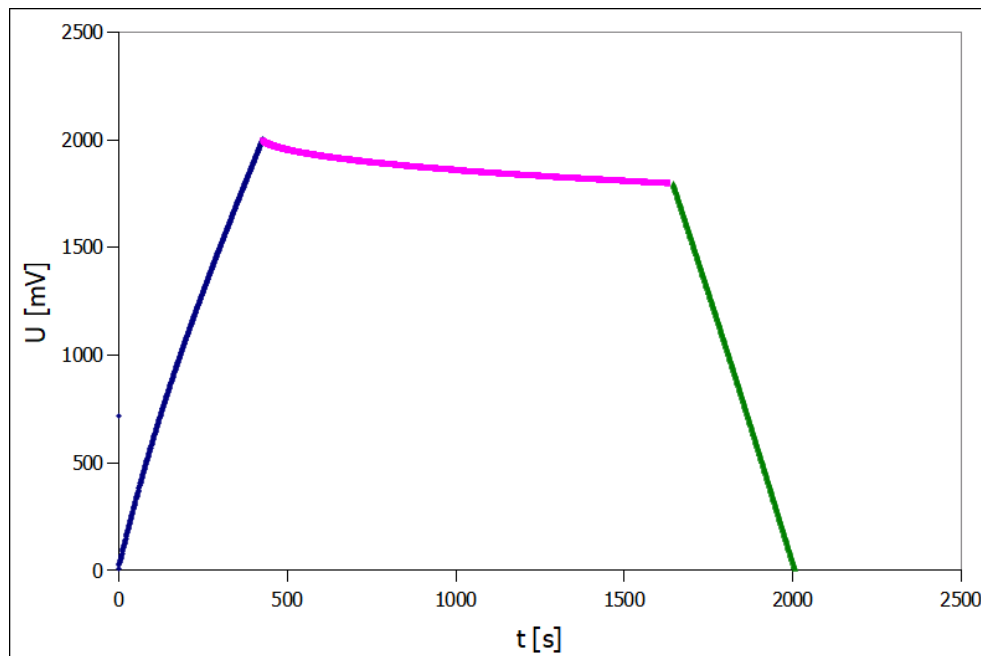
- Na podstawie współczynnika nachylenia prostej wyznaczonego metodą najmniejszych sumy kwadratów (analogicznie do wyznaczenia pojemności kondensatora w pierwszej fazie cyklu pomiarowego):

$$C = \frac{I_r}{a} = \frac{-140}{-4.9585} = 28,234[F]$$

$$u(C) = \frac{I_r \cdot u(a)}{a^2} = \frac{-140 \cdot 0.0034}{-4,9585^2} = 0,095[F]$$

Na podstawie początkowego spadku napięcia, korzystając z metody ekstrapolacji można obliczyć wartość oporu wewnętrznego kondensatora. Dla naszego przebiegu napięcia w funkcji czasu dla fazy 3 nie zauważyliśmy nieliniowego spadku napięcia. Zatem nie byliśmy w stanie wyznaczyć oporności wewnętrznej korzystając z tej metody.

1.4 Zbiorczy wykres obrazujący cały cykl pomiarowy



Rysunek 6: Wykres napięcia od czasu dla fazy 2

2 Wnioski

Wykorzystany w ćwiczeniu superkondensator odbiega nieznacznie od rzeczywistego. Wiadać to wyraźnie w fazie 2, gdy mierzymy napięcie na zaciskach bez jego ładowania. W fazie tej obserwujemy spadek napięcia o 197mV, co nie działałoby się w kondensatorze idealnym. Po dokonaniu różnych wykresów z otrzymanych danych: $\ln U(t)$ oraz $U(t^{1/2})$ oraz sprawdzeniu ich liniowości powiedzieć możemy coś o dominującym procesie powodującym owe rozładowanie kondensatora o niecałe 200mV. W naszym przypadku procesem tym jest dyfuzja jonów. Wiemy to, gdyż wykres $U(t^{1/2})$ okazuje się bardziej zbliżony do liniowego. Odpowiada to spadkowi napięcia zależnemu od pierwiastka czasu: $U(t) = U_0 - a\sqrt{t}$.

Porównując otrzymane wartości pojemności badanego kondensatora podczas fazy ładowania oraz rozładowania wyliczone różnymi metodami możemy powiedzieć, że odbiegają one od siebie. Na różnice pomiędzy wartością wyliczoną w fazie 1 a fazie 3 mogły mieć wpływ wady urządzenia pomiarowego, z którego korzystaliśmy lub programu, który wykorzystywaliśmy do badania kondensatora. Ponadto w trakcie wykonywania doświadczenia popełniłyśmy błąd wpisując dane wartości do pomiaru co spowodowało chwilowe ponowne ładowanie kondensatora po zakończeniu fazy 2 zamiast przejść do fazy rozładowania. Jak najszybciej skorygowałyśmy ten błąd. Kolejnym warunkiem który mógł przyczynić się do różnicy w otrzymanych pomiarach jest występowanie zjawiska upływności.