

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СПІВВІДНОШЕННЯ МАС ЕЛЕКТРОДІВ СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ

Досліджена залежність ємності асиметричних суперконденсаторів, виготовлених із вуглецевої тканини, від співвідношення мас електродів. Встановлено формулу, яка дозволяє розрахувати оптимальне співвідношення мас електродів. Розраховано оптимальне співвідношення мас для даного електродного матеріалу.

The capacitance of the asymmetric supercapacitors manufactured of woven carbon is investigated depending on the ratio of electrode masses. A relationship making possible to establish the optimum electrode masses ratio is found. The optimum mass ratio for this electrode material is determined.

У найпростішому вигляді схема заміщення суперконденсатора для постійного струму складається з двох послідовно з'єднаних ємностей подвійних електричних шарів [1-3]. Тоді для загальної ємності суперконденсатора можна використовувати співвідношення для послідовного з'єднання ємностей

$$\frac{1}{C_{\text{заг}}} = \frac{1}{C_{\text{ел}}^+} + \frac{1}{C_{\text{ел}}^-}, \quad (1)$$

де $C_{\text{заг}}$ – ємність суперконденсатора, $C_{\text{ел}}^+$, $C_{\text{ел}}^-$ – ємності його електродів.

У цьому випадку загальна ємність конденсатора буде менша за найменшу з ємностей електродів. До того ж ємність електродів залежить від того, які іони накопичуються на його поверхні. Тобто для одного й того ж електрода ємність буде залежати від знака прикладеної напруги. З цих міркувань випливає, що суперконденсатор із абсолютно однаковими електродами є також несиметричним у плані ємності його електродів. Але незалежно від полярності симетричний суперконденсатор буде виявляти одну й ту саму ємність, оскільки при зміні полярності напруги відбувається лише перестановка ємностей як доданків місцями у співвідношенні (1).

Інакше себе поведуть асиметричні суперконденсатори, в яких електроди різні за масою. Їх ємність залежить від знака прикладеної напруги.

Нами проводилося дослідження залежності ємності від співвідношення мас електродів ($N = m_1/m_2$). Для дослідів використовували розбірну комірку. В ній як електроди використано кружечки, які вирізалися з вуглецевої тканини марки

T-15. Дана тканина була виготовлена з гідратцелюлози методом карбонізації з наступною активацією. Товщина тканини $\sim 0,35$ мм, маса кружечка 0,88 г. Як електроліт використаний 30%-ний водний розчин КОН.

Дослідження виявили залежність ємності асиметричного неполярного суперконденсатора від співвідношення мас електродів та знака прикладеної напруги (рис. 1). Тут C_1 відповідає випадку, коли плюс зарядної напруги подавався на менший електрод, C_2 – на більший електрод. Значимо, що як менший електрод у всіх дослідів використовувався один кружечок вуглецевої тканини з масою $m_2 = m_{\text{ел}} = 0,88$ г.

З рис. 1 випливає, що з ростом N зростає різниця між ємностями суперконденсатора при різній полярності зарядної напруги. Графік залежності асиметрії ємності при різній полярності

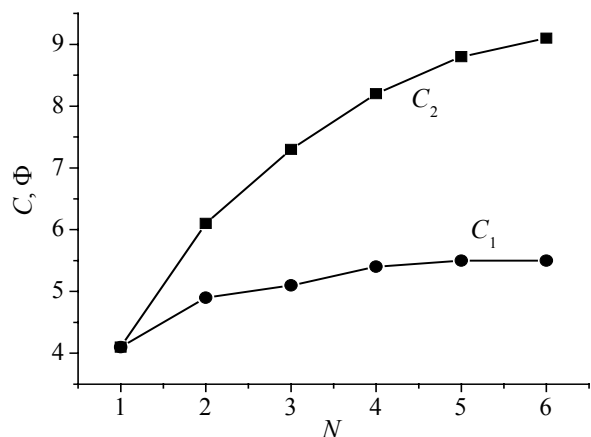


Рис. 1. Залежність ємності суперконденсатора від відношення мас електродів. Плюс зарядної напруги подається: на менший (C_1), на більший (C_2) електрод

зарядної напруги від співвідношення мас електродів наведено на рис. 2. Видно, що зі збільшенням різниці в масах електродів зростає асиметрія ємності суперконденсатора.

За експериментальними даними вдалося визначити ємність меншого електрода в залежності від знака прикладеної напруги: $C_{\text{ел}}^+$ становить близько 6 Ф, а $C_{\text{ел}}^-$ – майже 12,5 Ф, де верхній індекс визначає знак напруги, прикладеної до меншого електрода.

Оскільки більший електрод складається з n кружків тканини, то вважатимемо, що ємність більшого електрода дорівнює добутку відношення мас електродів та ємності меншого електрода для протилежного знака. Тоді загальна ємність суперконденсатора може бути визначена для обох випадків полярності так:

$$C_1 = \frac{NC_{\text{ел}}^+ C_{\text{ел}}^-}{C_{\text{ел}}^+ + NC_{\text{ел}}^-}, \quad C_2 = \frac{NC_{\text{ел}}^+ C_{\text{ел}}^-}{C_{\text{ел}}^- + NC_{\text{ел}}^+}. \quad (2)$$

Для перевірки припущення накладемо функції отриманих виразів на графіки експериментальних результатів (рис. 3). З рис. 3. можна зробити висновок про правильність наших припущень та можливість подальшого використання виразів (2) для проведення практичних розрахунків.

Співвідношення мас електродів, при якому суперконденсатор буде володіти найбільшою питомою ємністю, вважатимемо оптимальним. Питома ємність, яка є відношенням ємності до маси, у нашому випадку може бути описана такими виразами:

$$C_{1\text{пит}} = \frac{NC_{\text{ел}}^+ C_{\text{ел}}^-}{(C_{\text{ел}}^+ + NC_{\text{ел}}^-)(N+1)m_{\text{ел}}}, \quad (3)$$

$$C_{2\text{пит}} = \frac{NC_{\text{ел}}^+ C_{\text{ел}}^-}{(C_{\text{ел}}^- + NC_{\text{ел}}^+)(N+1)m_{\text{ел}}}.$$

На рис. 4 наведені графіки функцій $C_{1\text{пит}}$, $C_{2\text{пит}}$ та точки, які відповідають експериментальним даним. Для визначення оптимального відношення мас електродів проведено аналіз функції $C_{2\text{пит}}(N)$, оскільки з графіків (рис. 4) видно, що максимум знаходиться на кривій 2. Дослідження вказаної функції на екстремум показало, що максимальному значенню питомої ємності відповідає відношення мас, яке буде визначатися виразом

$$N_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{C_{\text{ел}}^-}{C_{\text{ел}}^+}}. \quad (4)$$

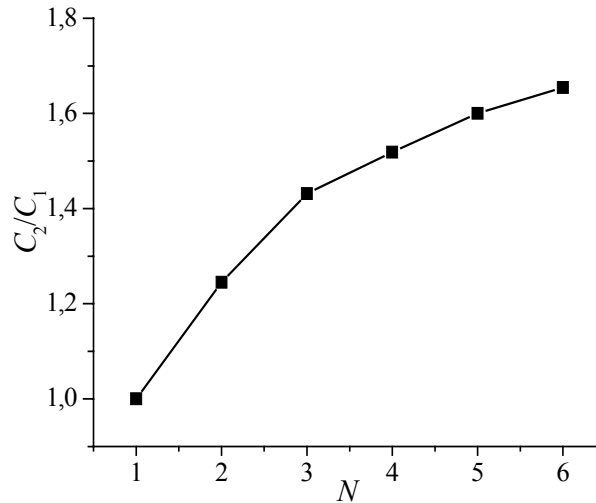


Рис. 2. Залежність асиметрії ємності від відношення мас електродів

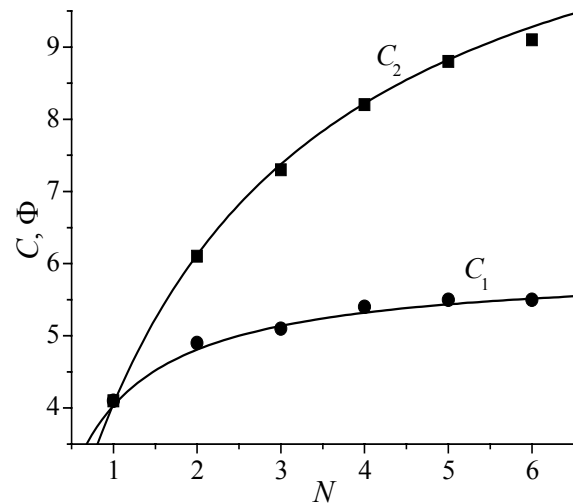


Рис. 3. Розрахункові криві, які виражають залежність ємності від відношення мас електродів. Маркери – експериментальні дані

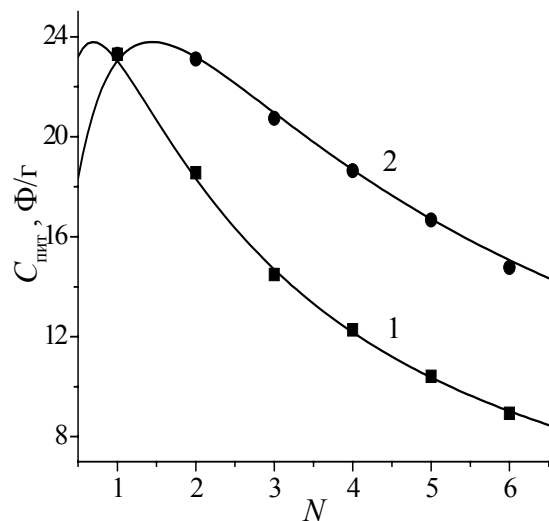


Рис. 4. Розрахункові криві, які виражають залежність питомої ємності від відношення мас електродів. Маркери – експериментальні дані

Значення оптимального співвідношення мас, яке визначене за отриманою формулою (4), для даного електродного матеріалу становить 1,44, що добре узгоджується із експериментальними даними.

Висновки

Досліджена залежність ємності асиметричних суперконденсаторів, виготовлених із вуглецевої тканини Т-15, від відношення мас електродів. Встановлена формула, яка дозволяє розрахувати оптимальне відношення мас електродів, виготовлених із різних електродних матеріалів. Розраховане оптимальне співвідношення мас електродів для даного електродного матеріалу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковалюк З.Д., Юрценюк С.П. Вплив розбалансованості електродів по масі на ємність суперконденсатора // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2003. – №1. – С.168-171.
2. Вдовін О.А., Мартинюк В.В., Павлов А.М., Слободзян М.В. Аналіз процесів, що виникають при вимірюванні великих ємностей // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – №2. – С.40-44.
3. Вдовін О.А., Мартинюк В.В., Бойко Ю.М. Математичні моделі об'єктів із надвеликими ємностями // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – №4. – С.7-9.