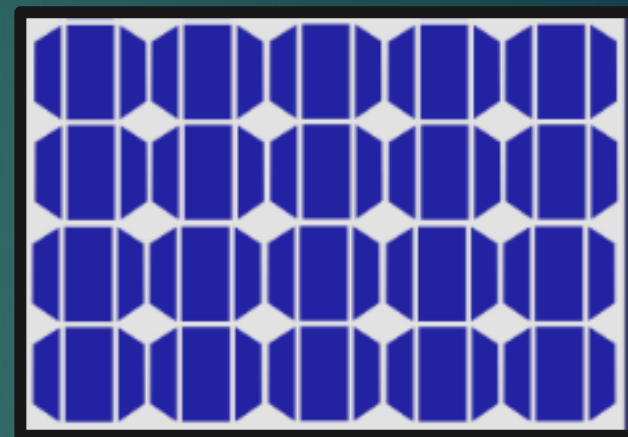


Оптимізація керування Microgrid за допомогою бібліотеки CVXPY

Велігорський Б.О., аспірант гр. АСД-ЕІ25
(науковий керівник: Хоменко М.А.)



CVXPY

Мікромережі (Microgrid)

2

- ▶ Головна ідея – забезпечити надійне цілодобове електропостачання об'єктів за рахунок включення розподіленої генерації (близької до об'єкта споживання).
- ▶ **Ізольований режим роботи:** об'єкт отримує електроенергію за рахунок лише власної розподіленої генерації.
- ▶ **Мережевий режим роботи:** об'єкт отримує електроенергію за рахунок генерації з централізованого джерела (ТЕС, АЕС тощо).
- ▶ Широке використання відновлювальних джерел електроенергії (сонячні та вітрові електростанції).



Керування Microgrid

3

- ▶ Керування Microgrid повинно бути раціональним!
- ▶ 2 основні режими.
- ▶ Обмеження 1: відновлювальні джерела є нестабільними (генерація залежить від погодних умов) – не завжди можна розраховувати на неї.
- ▶ Обмеження 2: попит на електроенергію серед споживачів різний (наприклад, у вечірні години для приватного будинку він буде найвищим) – фактичний попит спрогнозувати складно.
- ▶ Типова задача: мінімізувати споживання електроенергії з централізованого джерела (забезпечити найбільш можливу енергоне залежність).

Модель Microgrid

4

- ▶ Централізоване джерело електроенергії (P_{GRID}).
- ▶ Батарея – накопичувач «невикористаної» електроенергії (P_{BAT}).
- ▶ Відновлювальне джерело електроенергії (P_{PV}).
- ▶ Попит споживання (P_{LOAD}).

$$P_{LOAD} = P_{BAT} + P_{PV} + P_{GRID}$$

Матеріали та методи

5

- ▶ Мова програмування Python (3.12.7).
- ▶ Середовище розробки PyCharm (2026.2.2).
- ▶ Бібліотека Matplotlib (3.11.2).
- ▶ Бібліотека CVXPY.
- ▶ Моделювання.



matplotlib

CVXPY

Бібліотека CVXPY

6

- ▶ Призначена для вирішення задач опуклої оптимізації.
- ▶ Знаходить мінімуми та максимуми цільової функції.
- ▶ Враховує обмеження (constraints).
- ▶ Відкрите програмне забезпечення.
- ▶ Для Python.
- ▶ Можна встановити з PyCharm!
- ▶ Офіційний сайт: <https://www.cvxpy.org/>.

CVXPY

Фрагменти програмного коду

7

```
N = 24
SOC_initial = 0.2
SOC_min = 0.2
SOC_max = 0.8
dt = 1
E_bat = 60
P_charge_max = 5
P_discharge_max = 5
P_grid_max = 5.0
c_buy = 50

SOC = cp.Variable(N)
P_bat = cp.Variable(N)
P_grid = cp.Variable(N)
P_load = cp.Variable(N)
P_pv = cp.Variable(N)
```

Початкова ініціалізація

Фрагменти програмного коду

8

```
# початкове значення заряду
constraints = [
    SOC[0] == SOC_initial
]

for t in range(N - 1):
    # реалізація заряду батареї
    constraints += [
        SOC[t + 1] ==
        SOC[t] - P_bat[t] * dt / E_bat
    ]

# обмеження на рівень заряду батареї
constraints += [
    SOC >= SOC_min,
    SOC <= SOC_max,
    P_bat >= -P_charge_max,
    P_bat <= P_discharge_max,
]

# рівняння балансу
P_grid = P_load - P_pv - P_bat
```

Обмеження на рівень заряду
батареї, реалізація її
заряджання/розряджання, а
також рівняння балансу

Фрагменти програмного коду

9

```
# обмеження на імпорт електроенергії з  
# централізованого джерела  
constraints += [  
    P_grid <= P_grid_max,  
    P_grid >= 0  
    #,P_grid[12] == 0, P_grid[13] == 0,  
]
```

Обмеження на імпорт
електроенергії

```
# обмеження на PV-генерацію  
constraints += [  
    P_pv >= 0,  
    P_pv[0] == 0, P_pv[1] == 0,  
    P_pv[2] == 0, P_pv[3] == 0,  
    P_pv[4] == 0, P_pv[5] == 0, P_pv[21] == 0,  
    P_pv[22] == 0, P_pv[23] == 0,  
    P_pv[12] == 5, P_pv[13] == 5  
]
```

Обмеження на генерацію з
відновлювального джерела

```
# обмеження на попит  
constraints += [  
    P_load >= 0  
]
```

Обмеження на попит

Фрагменти програмного коду

10

```
cost = cp.sum(  
    cp.multiply(c_buy, P_grid)  
) * dt  
  
problem = cp.Problem(cp.Minimize(cost),  
constraints)  
  
problem.solve()
```

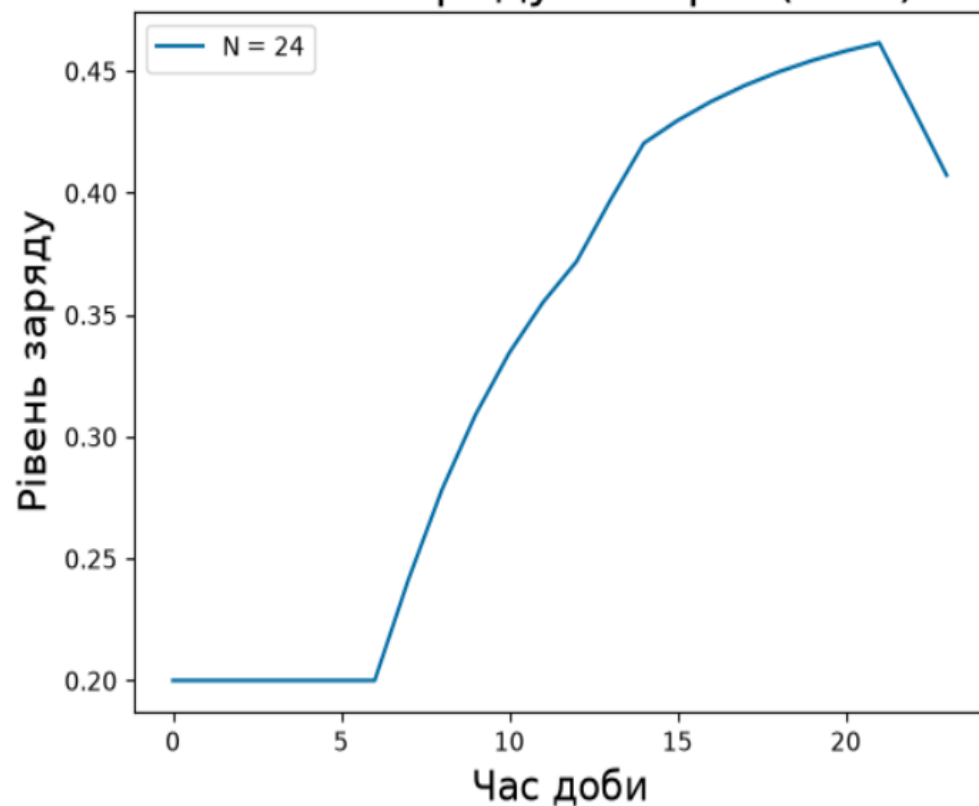
*Вирішення задачі мінімізації
використання централізованої
електроенергії*

Посилання на програмний код: <https://github.com/BogdanVeligorskyi/MicrogridCVXPYDemo>

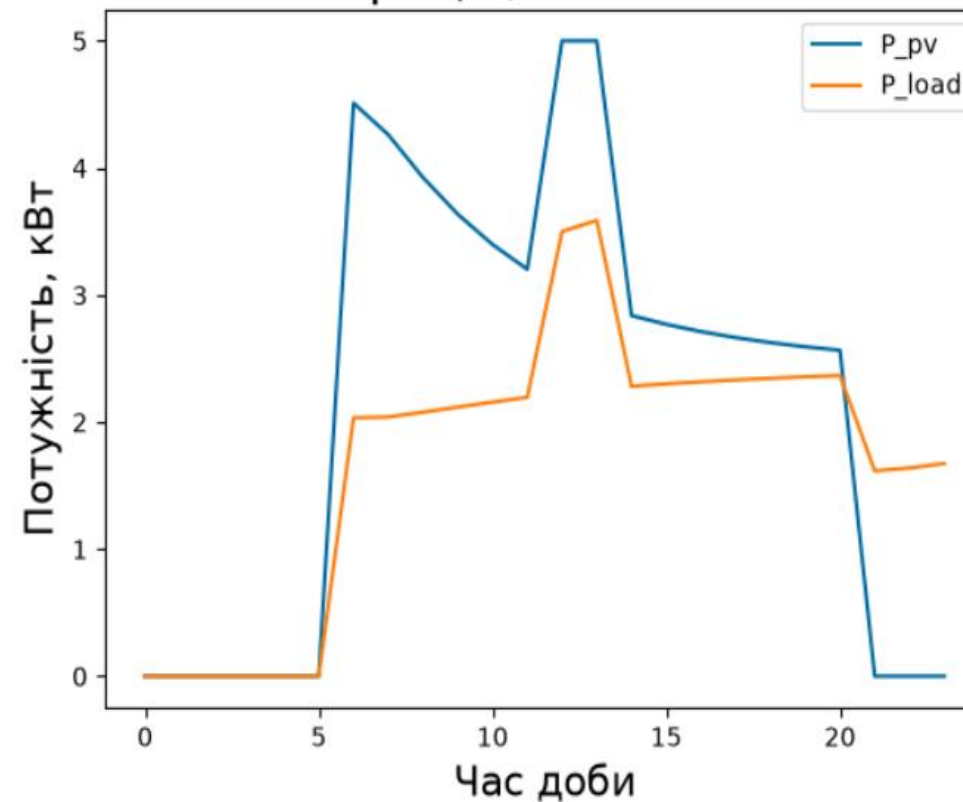
Результати

11

Рівень заряду батареї (SOC)



Генерація/споживання



Чому саме CVXPY?

12

- ▶ Відкрите ПЗ, доступне кожному.
- ▶ Допомогає не лише моделювати Microgrid, а й вирішувати складніші задачі оптимізації.
- ▶ На підставі отриманих результатів можна досліджувати шляхи досягнення раціонального керування режимами роботи Microgrid.

- ▶ Оптимізація керування Microgrid досить часто має економічний зміст.
- ▶ Реалізовано програмну модель мікромережі.
- ▶ Досліджено можливості застосування бібліотеки CVXPY для вирішення наукових задач, пов'язаних з Microgrid.
- ▶ Подальші напрями дослідження: побудова складнішої програмної моделі Microgrid та реалізація прогностного керування.

Використані джерела

14

1. P. Zhang. Microgrids. Theory and Practice. John Wiley & Sons, Incorporated, 2024.
2. L. Fortunato, M. Galassi. The case for free and open source software in research and scholarship Philosophical Transactions of the Royal Society A, 2021, vol.(379).
3. CVXPY. URL: <https://www.cvxpy.org/> (дата звернення: 17.09.2026).
4. D. Kuhlman. A Python Book: Beginning Python, Advanced Python, and Python Exercises. 2011, Section 1.1.
5. PyCharm. URL: <https://www.jetbrains.com/pycharm/> (дата звернення: 17.09.2026).
6. Matplotlib. URL: <https://matplotlib.org/stable/#about-us> (дата звернення: 17.09.2026).

Дякую за увагу!