

Література

- 1.Багач РВ Відновлювана енергетика електротранспорту. Електроенергетика, електромеханіка та технології в АПК: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 6 листопада 2024 р., Держ. біотехнологічний ун-т. Харків: ДБТУ, 2024. С. 60-61.
- 2.Багач Р. В. (2024). Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму (Doctoral dissertation, Харківський національний автомобільно-дорожній університет).
- 3.Гнатов, А., Аргун, Щ., Багач, Р., Гнатова, Г., Тарасова, В. ., & Ручка, О. (2021). Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (20), 17–26.
- 4.Багач, Р. В. Підвищення енергетичної ефективності зарядних станцій для електромобілів / Р. В. Багач, В. Д. Латвинський // Сучасне автомобілебудування, автотехнічна експертиза, експлуатація автомобільного транспорту та підготовка фахівців галузі транспорт : зб. тез доп. Міжнар. наук.-практ. конф. до Дня автомобіліста та дорожника, 22–23 жовт. 2024 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2024. – С. 221–225.
- 5.Mercorelli, P. (2023). Control of Permanent Magnet Synchronous Motors for Tracking Problems: A Review. *Electronics*, 12(15), 3285.
- 6.Горященко, К. Л. (2023). Моделювання та випробування синхронних двигунів з постійними магнітами. Електронний науковий архів Хмельницького національного університету (ELAR).
- 7.Gauthey, T., Gangl, P., & Hage Hassan, M. (2021). Multi-Material Topology Optimization with Continuous Magnetization Direction for Permanent Magnet Synchronous Reluctance Motors. arXiv preprint arXiv:2107.04825.

УДК 621.311

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ІЄРАРХІЧНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОМЕРЕЖАМИ У СКЛАДІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Нечаус Андрій Олександрович, канд. техн. наук, доцент кафедра АЕ,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
e-mail: nechaus@ukr.net, ORCID: [0000-0001-8833-0802](https://orcid.org/0000-0001-8833-0802)

Оснащення систем електропостачання окремих промислових або комунальних об'єктів, в тому числі тих, які включають зарядні станції електромобілів, альтернативними відновлюваними джерелами електричної енергії у вигляді вітрових або сонячних електростанцій, є критерієм їх асоціації з мікромережами – в цьому випадку з'являється можливість їх автономної роботи окремо від державної електричної системи. Світова зацікавленість у подібному підході до вирішення екологічних та економічних проблем,

пов'язаних з використанням викопного палива, широко обговорюється у науковій літературі [1, 2].

Перехід на використання відновлюваних джерел електричної енергії має свої позитивні сторони, які визначають екологічність систем виробництва енергії, в той же час, він вимагає значних капіталовкладень, пов'язаних з вартістю новітніх технологій перетворення енергії та адаптації її параметрів до існуючих систем. Головним недоліком відновлюваних джерел енергії, таких як вітрові або сонячні електростанції, є залежність вироблення ними енергії від кліматичних чинників, які важко передбачити. Це створює певний спектр технічних питань, які з одного боку повинні обґрунтовувати доцільність використання альтернативних джерел енергії, а з іншого боку – мінімізувати додаткові збурюючі впливи цих джерел на роботу існуючих систем.

Завдання, які покладаються на систему керування мікромережами:

- регулювання напруги та частоти у визначених точках електричної мережі (1 на рис. 1) повинне здійснюватися на часовому інтервалі порядку від одиниць мілісекунд до одиниць секунд;
- розподіл потужності між окремими джерелами енергії (2 на рис. 1) – від сотень мілісекунд до одиниць секунд;
- забезпечення заданого рівня якості електричної енергії (3 на рис. 1) – від одиниць мілісекунд до одиниць хвилин;
- виявлення можливості або необхідності переходу мікромережі у автономний режим роботи і назад (4 на рис. 1) – від одиниць мілісекунд до одиниць секунд;
- диспетчеризація електроенергії (5 на рис. 1) – від одиниць хвилин до одиниць годин;
- керуваннями установками клімат контролю будівель та споруд (6 на рис. 1) – від десятків хвилин до одиниць годин;
- прогнозування попиту електричної енергії (7 на рис. 1) – від десятків хвилин до одиниць годин;
- реагування на попит електричної енергії (8 на рис. 1) – від десятків годин до доби;
- економічна диспетчеризація (9 на рис. 1) – від десятків хвилин до десятків годин;
- комерційні розрахунки на ринку електричної енергії (10 на рис. 1) – від одиниць годин до доби.

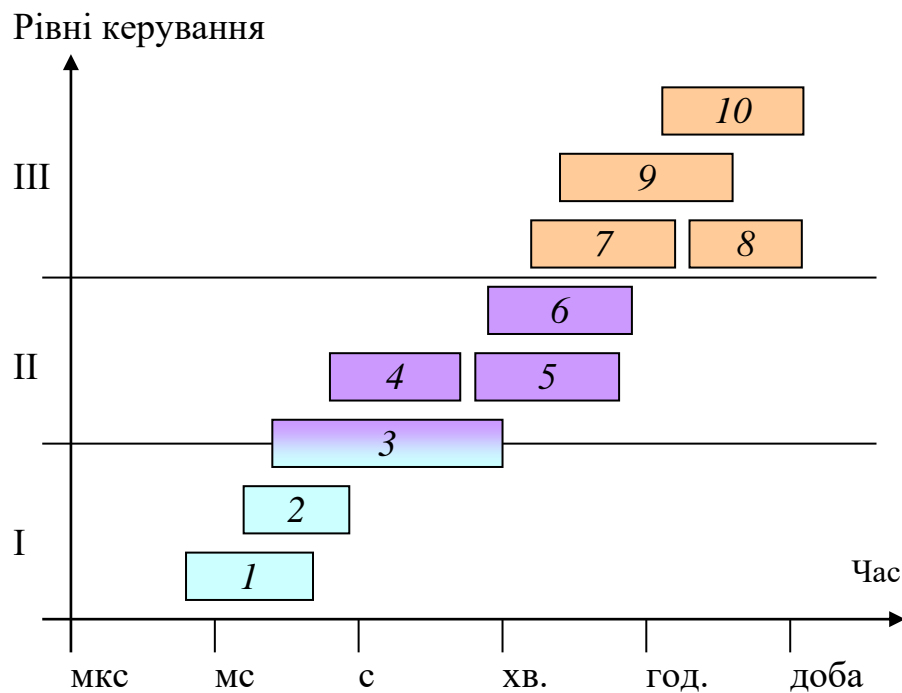


Рисунок 1 – функції та рівні ієрархічного керування мікромережами

Визначені завдання вирішуються системою керування відповідно до визначених рівнів, які утворюють ієрархічну структуру.

Первинне керування, або перший рівень ієрархічного керування, спрямоване на керування окремими джерелами електричної енергії у мікромережі та їх силовими перетворювачами. На цьому рівні керування вирішуються завдання керування напругою та частотою у заданих точках мережі, здійснюється розподіл потужності між окремими джерелами, а також частково вирішуються питання забезпечення якості електричної енергії.

Вторинне керування здійснює корегування відхилень напруги та частоти, які не були вирішені первинним керуванням. Цей рівень також є проміжною ланкою між третім та першим рівнем, узгоджуючи команди третього рівня керування з реальними існуючими можливостями мікромережі.

Третинне керування є найвищим рівнем ієрархічного керування. На цьому рівні визначаються оптимальні значення активної та реактивної потужності кожного окремого джерела електричної енергії, а також кількість енергії та її вартість на ринку електроенергії, враховуючи економічні та метеорологічні дані прогнозування.

Також, залежно від складу мікромереж, наявності комунікаційних та інформаційних технологій, ієрархічне керування поділяють на централізоване, розподілене або гібридне. У основу цієї класифікації покладається структура вторинного рівня керування, а саме його диспетчерські можливості.

Найбільш цікавими для подальших досліджень слід вважати методи керування, які застосовуються на другому та третьому рівнях ієрархічного керування. При цьому можна виділити два основні напрямки розвитку інженерних рішень.

Перший напрямок спрямований на вдосконалення методів регулювання напруги та частоти у електроенергетичній системі. Двома основними групами методів при цьому є детерміновані та прогностичні.

Другий напрямок – дослідження та вдосконалення методів розподілу потужності між окремими джерелами електричної енергії. Цей напрямок включає у себе наступні групи методів:

- метаевристичні методи;
- детерміновані методи;
- методи прогнозного керування;
- методи на основі штучного інтелекту;
- стохастичні методи.

Кожна група має декілька більшою або меншою мірою розроблених методів, однак у [2] було зроблено спробу їх порівняння за декількома критеріями: здатність враховувати прогнози; складність розрахунків; залежність від моделі; гнучкість щодо розширення мікромережі; стійкість до невизначеностей. На підставі наведених порівняльних даних можна зробити висновок про те що на теперішній час більш прийнятними до подальшої розробки та впровадження є групи методів прогнозного керування [3] та методів на основі штучного інтелекту [4].

Висновки

Проведено аналіз методів, які використовуються при ієрархічному керуванні мікромережами у складі електричних систем. Визначено шляхи подальшого вдосконалення структури систем керування мікромережами на верхніх рівнях керування.

Література

1. Abdulmalik, & Sabo, Aliyu & Ogunleye, Olutosin & Abdul Wahab, Noor Izzri & Shahinzadeh, Hossein & Na'inna, Abdulmajid. (2025). Microgrid Control Techniques: A Review. *Vokasi Unesa Bulletin of Engineering, Technology and Applied Science*. 2. 281-305. 10.26740/vubeta.v2i2.36477.
2. Daniela Yassuda Yamashita, Ionel Vechiu, Jean-Paul Gaubert. A review of hierarchical control for building microgrids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, 118, pp.109523. 10.1016/j.rser.2019.109523. hal-02977170.
3. Samikannu, Ravi & Mohamud, Said. (2025). Model Predictive Control for Power Quality Enhancement in Grid-Tied Renewable Energy Inverters. *International Innovative Research Journal of Engineering and Technology*. 11. 22-33. 10.32595/iirjet.org/v11i1.2025.229.
4. Kumar, Rinku & Saini, Manish & Mukhija, Pankaj. (2024). Adaptive Distributed Control for Microgrids Facing Topological Changes and Generation Variability. *Journal of Electrical Systems*. 20. 2208-2219.