

Подільський державний університет
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

Дослідження використання кінетичних накопичувачів енергії з метою підвищення ефективності електропостачання підприємства

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми навчання
освітнього ступеня «Магістр», освітньо-
професійної програми «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

_____ **Олександр КОРЧАК**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Віктор ДУБІК**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«___» _____ 2023 р.

Керівник проектної групи

(гарант освітньої програми)

«Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2023р.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМА РЕГУЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕКТРОСИСТЕМИ.....	11
1.1 Властивості навантаження електричної системи	11
1.2. Вплив нерівномірного електроспоживання на витрати палива для ТЕС.....	17
1.3. Загальні та питомі витрати палива на діючих теплових електростанціях України	27
1.4 Вплив нерівномірності електроспоживання на втрати електроенергії в електричних мережах.....	37
Висновки по розділу:	48
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.	49
2.1 Аналіз накопичувачів електричної енергії.....	53
2.2 Аналіз кінетичних накопичувачів енергії	58
2.2.1 аналіз конструктивних особливостей ротора.....	59
2.2.2 Аналіз електричних машин в складі КНЕ	65
2.2.3 Аналіз вакуумних систем в складі КНЕ	66
2.2.4 Аналіз протирезонансних систем в складі кне	67
2.2.5 Аналіз силової електроніки в складі кне	67
2.2.6 Аналіз проблеми саморозряду КНЕ	68
Висновки по розділу:	72
РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМИ І СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ КНЕ	73

3.1. Завдання розробки системи автоматичного управління КНЕ МПЖ..	74
3.2. Розробка системи автоматичного управління активної потужності КНЕ	82
3.2.1 Режими роботи КНЕ в складі енергосистеми	82
3.2.2. Алгоритм управління активною потужністю КНЕ	87
3.2.3 Синтез регуляторів САУ активної потужності.....	99
3.2.4 Структурна схема САУ активної потужності	107
3.3 Система автоматичного управління реактивної потужності КНЕ МПЖ	115
3.3.1 Режим роботи кне мпж при управлінні реактивною потужністю.	116
3.3.2 Передавальні функції регуляторів сау реактивної потужності...	117
3.3.3 Структурна схема САУ реактивної потужності КНЕ МПЖ	118
Висновки по розділу	120
РОЗДІЛ 4. РИНКОВІ ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КНЕ	121
4.1. Актуальність проблеми	122
4.2 Аналіз ринку кінетичних накопичувачів.....	123
4.3 Вибір оптимального розташування установки КНЕ.	133
4.4 Розрахунок терміну окупності КНЕ на підприємстві з трьохзонним тарифом електропостачання.	135
Висновки по розділу:	138
Висновки	139
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	141

ВСТУП

Актуальність теми. У даній ситуації, проблема нерівномірності електроспоживання в Україні визначена технічним та режимним станом теплових електростанцій (ТЕС). Вчені, такі як Б. Патон і А. Халатов, підкреслюють, що тривала експлуатація застарілих ТЕС у маневреному режимі може стати загрозою для стабільності енергосистеми України.

Важливим аспектом є відсутність достатньої потужності маневрених джерел електроенергії, що примушує ТЕС працювати у маневреному режимі, що призводить до підвищення питомих витрат палива. Проблема економії енергоресурсів стає актуальною, і оптимізація складу, потужності та режимів роботи електростанцій, зокрема для автономних енергосистем, стає нагальною.

Особливості автономних енергосистем, таких як невелика потужність окремих споживачів порівняно з електростанцією та менші вимоги до якості електроенергії, роблять питання оптимізації роботи цих систем особливо важливим. Технологічні особливості деяких автономних енергосистем можуть ускладнювати вибір потужності генераторів та оптимізацію режимів роботи.

До прикладів таких систем можна віднести енергосистеми суден технічного флоту та гірничодобувні машини, де характерним є різкозмінний графік навантаження. Наприклад, у енергосистемі плавучого крана частота навантаження може досягати 300 і більше разів на годину, а час використання максимальної потужності становить невеликий відсоток від технологічного циклу.

Ураховуючи ці особливості, важливо розглядати та вдосконалювати енергетичні системи з урахуванням їхньої специфіки та розвивати методи оптимізації, які дозволяють ефективно управляти нерівномірністю навантаження.

Метою роботи є Впровадження кінетичного накопичувача енергії в енергомережі сприяє покращенню якості електроенергії та підвищенню ефективності системи. Це досягається за рахунок компенсації коливань напруги,

регулювання активної та реактивної потужності, збереження енергії в пікових періодах, підвищення використання відновлювальних джерел, а також підтримки роботи в ізольованих системах.

Об'єктом дослідження є процеси генерації, накопичення та споживання електричної енергії.

Відповідно до вказаної мети необхідно розв'язати такі

Аналіз проблем електроенергетики і можливі рішення :

Сучасні виклики у сфері генерації, зберігання і споживання електроенергії вимагають усебічного розгляду для пошуку ефективних рішень. Важливі аспекти включають оцінку джерел енергії, розробку нових технологій, системи зберігання і управління споживанням. Після аналізу можливих проблем і підходів до їх рішення виділяються стратегії, такі як розвиток поновлюваних джерел енергії, поліпшення технологій зберігання і впровадження енергозберіжних технологій.

Аналіз контрольних систем і сфери їх застосування :

Розгляд контрольних систем і КНЕ дозволяє виділити області їх використання. Сонячні і вітрові електростанції підходять для споживачів енергії, виробничих об'єктів і інфраструктурних систем. Оптимізація виробництва, максимізація збору сонячної і вітрової енергії, а також адаптивне управління залежно від умов і потреб є ключовими аспектами ефективного застосування цих систем.

Предмет дослідження. Дослідження полягає в вивченні методів проектування та моделювання техніко-економічних показників енергомережі з різкозмінними навантаженнями. Для досягнення цієї мети сформульовано ряд завдань, які ми плануємо вирішити:

Аналіз літературних джерел щодо проблеми нерівномірності електроспоживання:

Першим етапом нашого дослідження буде ретельний аналіз наявних літературних джерел, що стосуються проблеми нерівномірності електроспоживання. Ми плануємо ознайомитися з різними підходами та дослідженнями, які вже проведені у цій області.

Проаналізувати сучасні методи компенсації піків електроспоживання:

Однією з ключових задач є вивчення та оцінка сучасних методів компенсації піків електроспоживання. Ми розглянемо різноманітні технології, які використовуються для зниження пікового навантаження на енергомережі.

Проаналізувати проблеми накопичення електричної енергії:

Іншим важливим аспектом нашого дослідження буде аналіз проблем, пов'язаних із накопиченням електричної енергії. Ми дослідимо різні технології зберігання енергії та їхню ефективність у вирішенні проблем різкозмінних навантажень.

Надаючи відповіді на ці завдання, ми сподіваємося внести вагому інформацію у сферу проектування енергетичних мереж з урахуванням їхньої техніко-економічної ефективності при умовах нерівномірного електроспоживання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

— використання кінетичного накопичувача енергії в комплексній енергомережі обґрунтовується його високою ефективністю. Маховики або суперконденсатори дозволяють зберігати та віддавати енергію швидко, що особливо важливо при різкозмінних навантаженнях. Це сприяє підтримці стабільності системи та оптимізації техніко-економічних показників енергомережі.

Практичне значення одержаних результатів:

– розроблена методика для покращення ефективності електропостачання підприємства включає аналіз добового споживання, впровадження компенсації піків та оптимізацію генеруючих підстанцій.

Апробація результатів магістерської дисертації.

У роботі були представлені основні положення та отримані результати на конференції Ефективне використання енергії стан і перспективи. Всеукраїнська студентська науково-практична конференція. 9 листопада 2023 р. (ЗВО «ПДУ», м. Кам'янець-Подільський).

Публікація:

Олександр КОРЧАК. **АНАЛІЗ КІНЕТИЧНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ** / Олександр КОРЧАК, Віктор ДУБІК, Олег ГОРБОВИЙ // Ефективне використання енергії стан і перспективи: збірник наукових праць III Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції. 9 листопада 2023 р. (ЗВО «ПДУ», м. Кам'янець-Подільський). – Кам'янець-Подільський, 2023. – С.

ВИСНОВКИ

У даній роботі були визначені та вирішені такі проблеми:

Проблема нерівномірності споживання електричної енергії: Був проведений аналіз нерівномірності споживання електроенергії та виявлені недоліки в існуючих режимах роботи.

Проблема різкозмінних напруг мережі: Розглянуті проблеми різкозмінних напруг в електричних мережах та їх вплив на ефективність систем.

Проблема накопичення та зберігання енергії: Представлений аналіз проблем накопичення та зберігання енергії, включаючи транспортні витрати та неефективні режими роботи.

На основі проведеного аналізу було визначено, що ефективним та раціональним рішенням для вирішення цих проблем є використання кінетичних накопичувачів енергії (КНЕ).

Для оптимального впровадження КНЕ в енергосистему був розроблений універсальний алгоритм управління, який визначає умови роботи КНЕ в різних режимах та при переходах між ними.

Також була проведена синтез Системи Автоматичного Управління (САУ) активною потужністю накопичувача. Ця САУ дозволяє стабілізувати активну потужність генератора, підтримувати необхідну якість перехідного процесу по частоті мережі та здійснювати ефективний перерозподіл активної потужності.

У результаті розроблено проект з метою впровадження КНЕ в енергосистему підприємства легкої промисловості, що має на меті забезпечити економічну та ефективну роботу системи.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. De collectie van het Vlaams Tram - en Autobusmuseum (каталог Фламандського музею трамваїв і автобусів), стор. 46-47.
2. Гулиа Н. В. Дивовижна механіка: У пошуках "енергетичної капсули". - М.: Вид-во НЦ ЭНАС, 2006. - 176 с.
3. Разрывобезопасный волоконный суперкрутень №217.015.7904 УКРПАТЕНТ
4. Циклічні випробування накопичувача кінетичної енергії великої потужності і енергоємності. Гулиа Н. В., Кацай А. В. Ніт, 4 грудня 2012 року.
5. Vafakhah, B.; Masiala, M.; Salmon, J.; Knight, A. Emulation of flywheel energy storage systems with a PMDC machine. In Proceedings of the 18th IEEE International Conference on Electric Machines, Vilamoura, Algarve, Portugal, 6–9 September 2008; pp. 1–6.
6. Liu, H.; Jiang, J. Flywheel energy storage — An upswing technology for energy sustainability. Energy Build. 2007, 39, 599–604.
7. Hebner, R.; Beno, J.; Walls, A. Flywheel batteries come around again. IEEE Spectr. 2002, 39, 46–51.
8. Bolund, B.; Bernhoff, H.; Leijon, M. Flywheel energy and power storage systems. Renew. Sustain. Energy Rev. 2007, 11, 235–258.

9. Sebastián, R.; Alzola, R.P. Flywheel energy storage systems: Review and simulation for an isolated wind power system. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012, 16, 6803–6813.
10. Emadi, A.; Nasiri, A.; Bekiarov, S.B. *Uninterruptable Power Supplies and Active Filters*; Illinois Institute of Technology: Chicago, IL, USA; CRC Press: Washington, DC, USA, 2005.
11. Sabihuddin, S.; Kiprakis, A.; Mueller, M. A Numerical and Graphical Review
12. Farhadi, M.; Member, S.; Mohammed, O. Energy Storage Technologies for High-Power Applications. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2016, 52, 1953–1961.
13. Daoud, M.I.; Abdel-Khalik, A.S.; Massoud, A.; Ahmed, S.; Abbasy, N.H. On The Development of Flywheel Storage Systems for Power System Applications: A Survey. In *Proceedings of the 20th International Conference on Electrical Machines (ICEM)*, Marseille, France, 2–5 September 2012; pp. 2119–2125.
14. Kenny, B.H.; Kascak, P.E.; Jansen, R.; Dever, T. Control of a High Speed Flywheel System for Energy Storage in Space Applications. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2005, 41, 1029–1038.
15. Pena–Alzola, R.; Sebastián, R.; Quesada, J.; Colmenar, A. Review of Flywheel based Energy Storage Systems. In *Proceedings of the 2011 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Malaga, Spain, 11–13 May 2011.

16. Yu, Y.; Wang, Y.; Sun, F. The Latest Development of the Motor/Generator for the Flywheel Energy Storage System. In Proceedings of the 2011 International Conference on Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer (MEC), Jilin, China, 19–22 August 2011; pp. 1228–1232.
17. Awadallah, M.A.; Venkatesh, B. Energy Storage in Flywheels: An Overview Le stockage d'énergie dans les volants: Aperçu. Can. J. Electr. Comput. Eng. 2015, 38, 183–193.
18. Zhang, C.; Tseng, K.J. Design and control of a novel flywheel energy storage system assisted by hybrid mechanical–magnetic bearings. Mechatronics 2013, 23, 297–309.
18. Truong, L.V.; Wolff, F.J.; Dravid, N.V. Simulation Of Flywheel Electrical System For Aerospace Applications. In Proceedings of the 35th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference and Exhibition, Las Vegas, NV, USA, 24–28 July 2000; Volume 1, pp. 601–608.
19. Babuska, V.; Beatty, S.; DeBlonk, B.; Fausz, J. A review of technology developments in flywheel attitude control and energy transmission systems. In Proceedings of the 2004 IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 6–13 March 2004; Volume 4, pp. 2784–2800.
20. Bitterly, J.G. Flywheel technology past, present, and 21st century projections. In Proceedings of the Thirty–Second Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC–97), Honolulu, HI, USA, 27 July–1 August 1997; Volume 4, pp. 2312–2315.

21. US Department of Energy Global Energy Storage Database. Available online: <http://www.energystorageexchange.org/projects> (accessed on 1 February 2017).

22. US Marine Corps Utilising Microgrid Energy Storage Project. Available online: <http://www.decentralizedenergy.com/articles/2015/09/us-marine-corp-utilising-microgrid-energy-storage-project.html>