

де E – напруга живлення РПН; $Z_0 = \sqrt{\frac{3}{\omega_0 C}}$ – характеристичний опір; $\alpha = 1$ або $\alpha = 0$ відповідно при ввімкненій або вимкненій комутованій секції; φ – зсув фаз між імпульсами регулювальної і некомутованої секцій; $\Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$ – відносна робоча частота; $Q = \frac{3R_i}{Z_0}$ – добротність резонансного контуру РПН.

На рис.3 зображено залежність відносної потужності p РПН від зсуву фаз при використанні комутувальної секції (m – кількість ввімкнених секцій). При $m=3$ зсув фаз

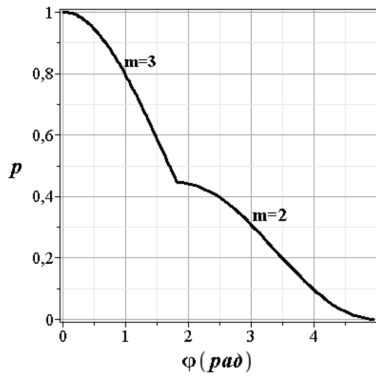


Рис. 3

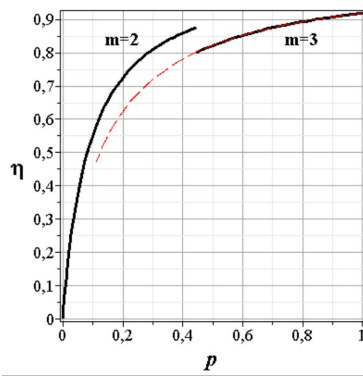


Рис. 4

змінюється від 0 до 1,82 рад, що відповідає зміні p від 100% до 43%, а при $m=2$ зсув фаз змінюється від 0 до $\pi/2$ рад, що відповідає зміні p від 43% до 0.

На рис.4 зображено залежність ККД η від відносної потужності. При переході РПН від $m=3$ до $m=2$ в точці комутації і подальшому зменшенні потужності має місце вищий ККД. Для порівняння пунктиром зображена залежність ККД РПН $m=3$ при зміні φ в межах від 0 до $\pi/2$ рад.

до $\pi/2$ рад.

Таким чином, запропонований трисекційний РПН дає змогу підвищити ККД на потужностях, менших за 43% від максимальної, шляхом вимикання «надлишкової» секції, а також при цьому забезпечує незмінність його робочої частоти, що підтримує його електромагнітну сумісність на рівні некомутованих секційних РПН.

УДК 621.311.25

Н.С. Лясковець, Я.М. Осадца, к.т.н., доцент

Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, Україна

СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ. СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДЛЯ УКРАЇНИ.

N.S. Liaskovets, Ya.M. Osadtsa, Ph.D., Assoc. Prof.

ENERGY STORAGE SYSTEM. GLOBAL TRENDS IMPLEMENTATION AND PROSPECTS FOR UKRAINE.

Огляд світової практики використання систем накопичення енергії (СНЕ) демонструє, що будівництво і впровадження нових потужних систем накопичення є одним із шляхів вирішення глобальної проблеми нестабільності в електроенергетичних системах, пов'язаної перш за все зі стрімким зростанням частки відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). З допомогою використання СНЕ можна вирішити низку актуальних задач, таких як вирівнювання електричних навантажень, підвищення якісних показників електропостачання, регулювання частоти, інтеграція ВДЕ в енергосистему тощо. Водночас СНЕ сприяють більш швидкому переходу до зеленої енергетики, позитивно впливаючи на екологічні показники пов'язані з необхідністю скорочення парникових викидів.

За типом та формою зберігання розрізняють механічні (*кінетичні, гравітаційні, гідроакумуючі, накопичувачі енергії на стисненому повітрі*), теплові, електричні (*магнітні надпровідникові, суперконденсатори*), електрохімічні (*електроліз водню, проточні акумуляри, акумуляторні*) та гібридні (*мультинакопичувачі*) системи накопичення енергії. Усі вони мають певні характеристики основними з яких є: потужність, ємність, щільність накопичення енергії, тривалість зберігання та інше. Це в свою чергу дозволяє проводити попередній аналіз параметрів накопичувача та здійснити вибір СНЕ в залежності від вимог електроенергетичної системи в якій планується його використання.

Сьогодні безсумнівними світовими лідерами щодо розробки та впровадження систем накопичення та зберігання енергії є Китай, Сполучені Штати Америки та окремі країни Європи. За підсумками 2023 року встановлена потужність систем накопичення енергії (*всі типи включаючи ГАЕС та теплові сховища електроенергії*) у КНР склала 86,5 ГВт, збільшившись на 45% порівняно з 2022 роком. Станом на кінець 2023 року сукупна встановлена потужність нових накопичувачів енергії (*до яких належать батареї, пневматичні акумулятори тощо*) у КНР досягла 34,5 ГВт/ємність 74,5 ГВт*год [1]. У структурі накопичення енергії Китаю, частка ГАЕС знизилась до 60 %, а частка нових технологій СНЕ у 2023 році зросла майже до 40 відсотків порівняно з 21 % у 2022 році. Протягом року було додано понад сотню нових систем накопичення, встановлена потужність кожної з яких перевищує 100 МВт. При цьому найбільше застосування (97%) знайшли акумулятори на основі літію. Основним чинником широкомасштабного впровадження нових накопичувачів є стрімке зростання частки відновлювальних джерел енергії у енергосистемі, тільки за 2023 рік було додано 200 ГВт потужності сонячних та вітрових електростанцій.

Сполучені Штати Америки є другим за величиною ринком систем накопичення енергії у світі, якому притаманні стабільні темпи зростання, внаслідок активного впровадження альтернативних джерел енергії та розвитку технологій акумуляування. За висновками Управління енергетичної інформації США (EIA), у 2023 році потужність систем накопичення сягала 16 ГВт. Планується, що у США до 2030 року на кожні 25 ГВт сонячної енергії буде встановлено 50 ГВт мережевих акумуляторних накопичувачів [2].

В Європі за даними профільного видання Energy-storage, у 2022-му було введено 4,5 ГВт нових потужностей СНЕ. Лідируючі позиції займають такі країни, як: Німеччина, Велика Британія, та Греція [3]. Експерти Європейської асоціації з накопичення енергії наголошують, що для досягнення до 2030 року стратегічної мети у 200 ГВт потужностей систем накопичення енергії необхідно суттєво прискорити темпи їх впровадження — щонайменше до рівня 14 ГВт на рік [4].

В українській енергосистемі присутній високий дефіцит резервних (маневрових) генеруючих потужностей, основними накопичувачами виступають гідроакумуючі електростанції чого не достатньо для забезпечення повноцінного, ефективного, збалансованого її функціонування. Для розширення діапазону регулювання потужностей є доцільним проведення додаткового вивчення світового досвіду впровадження СНЕ його адаптація до українських реалій, визначення можливих шляхів застосування для підвищення стійкості об'єднаної електроенергетичної системи, надійності та якості енергопостачання.

Україна (*за оцінками фахівців енергетичної галузі*) потребує близько 760 МВт систем накопичення енергії. Такого обсягу потужностей СНЕ буде цілком достатньо протягом кількох років для нашої об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕС). Компанія ДТЕК спільно з Fluence Energy B.V. побудують в Україні декілька промислових установок зберігання енергії загальною потужністю 200 МВт для забезпечення балансування частоти та потужності і стабілізації української енергосистеми на замовлення українського ОСП «НЕК «УКРЕНЕРГО»» [5].

Світова практика впровадження СНЕ свідчить про тенденцію до подальшого розвитку та вдосконаленню акумуляторних накопичувачів, найбільш універсальному рішенні для енергетичних систем із значною часткою ВДЕ. Акумуляторні СНЕ для управління

електропостачанням або надання допоміжних послуг для електроенергетичної системи є новим популярним рішенням. Їхня популярність викликана зростаючими потребами у забезпеченні гнучкості, стабільності та передбачуваності електроенергетичних систем, у складі яких є значна або домінуюча частка альтернативних джерел енергії.

Сьогодні чітко прослідковується, що світова потреба в потужних та більш ефективних системах накопичення енергії є прямо пропорційною до темпів збільшення частки відновлюваних джерел енергії в загальному енергобалансі, динаміка зростання яких залишатиметься актуальною протягом найближчих десятиріч.

Література

1. У Китаї відзначається експоненційне зростання систем накопичення енергії. E-energy : веб-сайт URL: <https://e-energy.in.ua/novyny/u-kitayi-vidznachayetsya-eksponencijne-zrostannya-sistem-nakopichennya-energiyi.html> (дата звернення: 10.04.2025).
2. У США потужності зберігання енергії можуть зрости на 89% у 2024 році. ЕкоПолітика : веб-сайт URL: <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/u-ssha-potuzhnosti-zberigannya-energi-mozhut-zrosti-na-89-u-2024-roci/> (дата звернення: 10.04.2025).
3. Europe reached 4.5GW of battery storage installed in 2022; could hit 95GW by 2050. Energy-Storage.News : веб-сайт URL: <https://www.energy-storage.news/europe-reached-4-5gw-of-battery-storage-installed-in-2022-could-hit-95gw-by-2050/> (дата звернення: 10.04.2025).
4. Energy storage targets 2030 and 2050. EASE Storage : веб-сайт URL: <https://ease-storage.eu/publication/energy-storage-targets-2030-and-2050/> (дата звернення: 10.04.2025).
5. В Україні побудують систему накопичення енергії на 200 МВт. Укрінформ : веб-сайт URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3948078-v-ukraini-pobuduut-sistemu-nakopicenna-energi-na-200-mvt.html> (дата звернення: 10.04.2025).

УДК 621.31

Г. О. Макаrchук, І. В. Чміль, А. З. Стасів, І. М. Сисак, к.т.н., доц.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

РОЗРАХУНОК ЦЕНТРУ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

H. Makarchuk, I. Chmil, A. Stasiv, I. Sysak, Ph.D., Assoc. Prof.

CALCULATION OF THE CENTER OF ELECTRICAL LOADS IN MODERN CONDITIONS

Центр електричних навантажень (ЦЕН) є критичним аналітичним інструментом для планування та експлуатації електричних мереж. Його точне визначення дозволяє мінімізувати втрати електроенергії, забезпечити економічно ефективне розміщення джерел живлення, трансформаторів, та зменшити навантаження на мережу. З огляду на зростаючу складність електричних систем, особливо із впровадженням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зростає актуальність удосконалених методів обчислення ЦЕН.

Базовий підхід до обчислення координат ЦЕН полягає у використанні формул середньозважених координат [1, 2]:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}.$$

де P_i - споживана потужність у точці i ;

x_i, y_i - координати цієї точки.