

Міністерство освіти і науки України
Херсонський національний технічний університет

МАТЕРІАЛИ
П'ятої Всеукраїнської науково-практичної
інтернет-конференції студентів, аспірантів і
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ
СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ



20-22 травня 2020 р.
м. Херсон, Херсонський національний технічний університет
http://kntu.net.ua/Conference_APME

Матеріали V-ї Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної енергетики». – Херсон: ПП "Резнік", 2020. – 234 с.

У матеріалах конференції викладені результати досліджень, які присвячені актуальним проблемам сучасної традиційної та альтернативної енергетики: питанням електроенергетики та теплоенергетики, дослідженню, впровадженню та оптимізації систем нетрадиційної та відновлюваної енергетики, енергозбереженню та автоматизації енергетичних процесів, а також їх економічним та екологічним аспектам.

Усі матеріали публікуються в авторській редакції. Відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації, несуть автори та наукові керівники опублікованих матеріалів.

Організацію та проведення конференції затверджено наказом по Херсонському національному технічному університету від 28.04.2020 №79.

Відповідно до пункту № 438 листа ДНУ «Інститут модернізації змісту освіти» від 20.01.2020 №22.1/10-143 «Про перелік міжнародних, всеукраїнських науково-практичних конференцій здобувачів вищої освіти і молодих учених»

ISBN 978-617-7917-02-0

Адреса організаційного комітету: 73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24,
Херсонський національний технічний університет, корп. 1, ауд. 125.

© Колектив авторів, 2020
© Дизайн та макетування. Кафедра енергетики, електротехніки і фізики
Херсонського національного технічного університету

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ SMART GRID

К.т.н., доц. Нерубацький В.П., аспірант Гордієнко Д.А.

Український державний університет залізничного транспорту, м. Харків

NVP9@i.ua, D.Hordiienko@i.ua

Науковий керівник: к.т.н., доц. Нерубацький В.П.

Одним з основних напрямків розвитку електроенергетики є застосування методології інтелектуальних мереж (Smart Grid) [1]. Реалізація концепції Smart Grid спрямована на забезпечення надійності та енергоефективності електропостачання, підвищення якості електричної енергії, пропускної здатності електричних мереж і їх керованості, вирівнювання змінних графіків навантаження, організації моніторингу параметрів і контролю стану енергосистеми, інтеграцію відновлюваних джерел енергії [2, 3].

Система залізничного транспорту є однією з найбільших енергоємних споживачів в електроенергетичних системах [4]. Тому існує потреба в підвищенні енергоефективності залізничних енергетичних систем шляхом включення компонентів інтелектуальної мережі Smart Grid.

Запропоновану систему тягового електропостачання електричного рухомого складу з інтегрованою системою Smart Grid наведено на рис. 1.

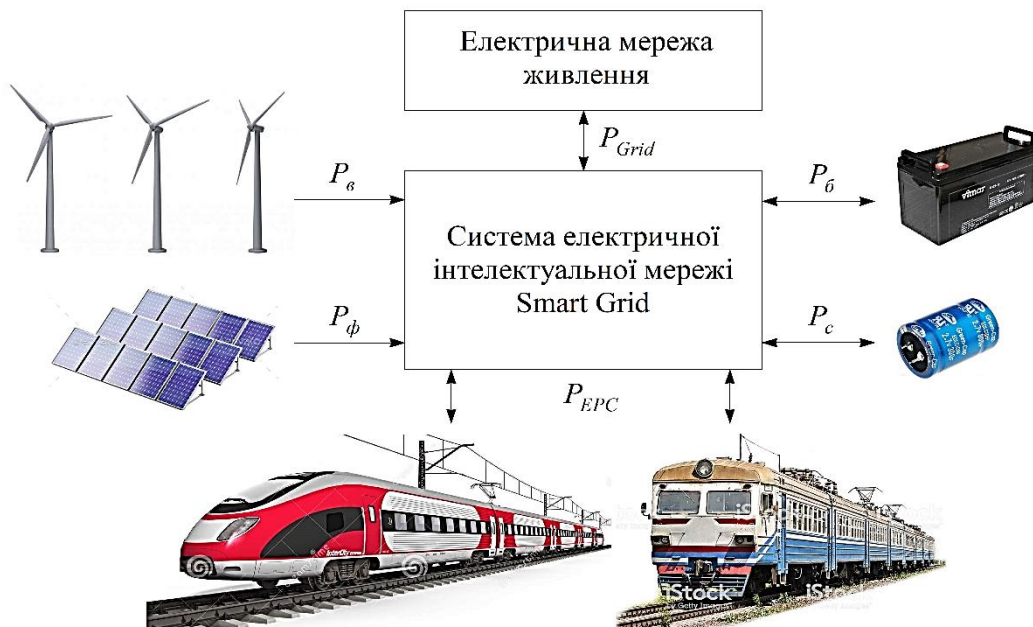


Рисунок 1 – Система тягового електропостачання електричного рухомого складу з інтегрованою системою Smart Grid

Система складається з розподіленої генерації (генерації енергії вітру та сонця) і гібридної системи зберігання енергії (накопичення енергії з акумуляторних батарей та суперконденсаторів). До мережі надходить енергія,

що генерується від поїздів під час сповільнення (режим рекуперативного гальмування), а під час прискорення поїздів енергія споживається. При цьому відбувається обмін енергією між інтелектуальною мережею Smart Grid та основною електромережею.

Завданням запропонованої системи є мінімізація загальної вартості на експлуатацію енергосистеми та інтелектуальної мережі з урахуванням споживання електроенергії поїздами, виробленням вітрової та сонячної енергії і стану заряду акумуляторних батарей з урахуванням різних обмежень.

Підвищення енергоефективності системи тягового електропостачання електричного рухомого складу з інтегрованою системою Smart Grid вирішується з використанням мікрогенетичного алгоритму, що є досить простим, надійним, гнучким і здатним знайти оптимальне глобальне рішення. Мікрогенетичний алгоритм має еволюційну концепцію, засновану на випадкових процесах, виборі кодованих рішень, зменшення простору пошуку з використанням спеціальних знань. При цьому час обробки мікрогенетичного алгоритму менше у порівнянні з іншими алгоритмами.

Цільова функція запропонованої системи піддається обмеженням рівності й нерівності та визначається як:

$$F = \sum_{i=1}^n \left[C_{Grid} (P_{Grid}^t) + C_c (P_c^t) + C_{\bar{o}} (P_{\bar{o}}^t) + C_e (P_e^t) + C_{\phi} (P_{\phi}^t) \right], \quad (1)$$

де P_{Grid} – потужність інтелектуальної електромережі Smart Grid;

P_c – потужність суперконденсатора;

$P_{\bar{o}}$ – потужність акумуляторної батареї;

P_e – потужність вітроелектростанції;

P_{ϕ} – потужність сонячної фотоелектричної установки;

t – період планування, $t = 1, 2, 3, \dots, n$.

Рівняння балансу потужності визначається як:

$$P_{EPC}^t + P_n^t = P_{Grid}^t + P_c^t + P_{\bar{o}}^t, \quad (2)$$

де P_{EPC} – потужність електричного рухомого складу;

P_n – надлишкова потужність.

Параметр P_{EPC} позитивно впливає на систему енергоспоживання при уповільненні (процес рекуперації) та негативно при прискоренні руху поїздів.

Обмеження на потужність від енергосистеми загального користування визначається як [3]:

$$P_{Grid}^{\min} \leq P_{Grid}^t \leq P_{Grid}^{\max}. \quad (3)$$

Обмеження надлишкової потужності визначається як [3]:

$$P_n^t \geq 0. \quad (4)$$

Рівняння балансу стану заряду акумуляторної батареї визначається як [5]:

$$C(t) = C(t-1) + I(t)\Delta t, \quad (5)$$

де $I(t)$ – зарядний (розрядний) струм акумуляторної батареї.

Обмеження заряду акумуляторної батареї визначається як:

$$C(t)_{\min} \leq C(t) \leq C(t)_{\max}, \quad (6)$$

де $C(t)_{\min}$ – мінімальна ємність акумуляторної батареї;

$C(t)_{\max}$ – максимальна ємність акумуляторної батареї.

Обмеження струму заряду (розряду) батареї визначається як:

$$I(t)_{\min} \leq I(t) \leq I(t)_{\max}, \quad (7)$$

де $I(t)_{\min}$ – обмеження струму розряду акумуляторної батареї;

$I(t)_{\max}$ – обмеження струму заряду акумуляторної батареї.

Обмеження струму заряду суперконденсатора визначається як:

$$P_{c \min}^s(t) \leq P_c^s(t) \leq P_{c \max}^s(t). \quad (8)$$

Обмеження струму розряду суперконденсатора визначається як:

$$P_{c \min}^p(t) \leq P_c^p(t) \leq P_{c \max}^p(t). \quad (9)$$

Максимальна потужність генератора енергії вітру, що може бути інтегрований в систему електропостачання, складає 3 МВт. Прийємо середню швидкість вітру $v = 10$ м/с. Для даної швидкості вітру вихідна потужність від вітроелектростанції визначається як:

$$P_e = \begin{cases} 0 & \text{при } v_0 < v < v_i; \\ P_r \left(\frac{v - v_i}{v_r - v_i} \right) & \text{при } v_i \leq v \leq v_r; \\ P_r & \text{при } v_r \leq v \leq v_0. \end{cases} \quad (10)$$

Максимальне обмеження потужності сонячної фотоелектричної установки, що може бути інтегрована в систему електропостачання, складає 3 МВт, а сонячне випромінювання складає $G = 800$ Вт/м². Вихідна потужність від сонячної фотоелектричної установки визначається як:

$$P_\phi(G) = \begin{cases} P_{сеп} \left(\frac{G^2}{G_s \cdot G_c} \right) & \text{при } 0 < G < R_c; \\ P_{сеп} \left(\frac{G}{G_s} \right) & \text{при } G > R_c. \end{cases} \quad (11)$$

Нижнє та верхнє обмеження заряду акумуляторної батареї розглядаються як 10 кА·год і 15 кА·год відповідно. Максимальна потужність акумуляторної батареї складає 1 МВт. Максимальна потужність суперконденсатора складає 2 МВт. Максимальна потужність від інтелектуальної електромережі Smart Grid складає 20 МВт.

Для порівняння енергоефективності систем тягового електропостачання електричного рухомого складу було проведено розрахунки. У першому випадку розрахунки було виконано без урахування компонентів інтелектуальної мережі Smart Grid. Отримані значення цільової функції наведено в табл. 1. Енергія, що споживається електрорухомим складом, складає 19,24 МВт, а енергія, що повертається в електричну мережу, складає 2,32 МВт.

У другому випадку розрахунки було виконано з урахуванням компонентів інтелектуальної мережі Smart Grid (з урахуванням компонентів мікрогенетичного алгоритму): генератора енергії вітру, сонячної

фотоелектричної установки, акумуляторної батареї та суперконденсатора. При цьому кількість енергії, що споживається електрорухомим складом, складає 19,24 МВт, а енергія, що повертається в електричну мережу, складає 4,49 МВт. Об'єм виробленої електроенергії від генератора енергії вітру складає 2,48 МВт, від сонячної фотоелектричної установки 1,35 МВт, потужність акумуляторної батареї складає 0,76 МВт, а потужність суперконденсатора складає 1,16 МВт.

Таблиця 1

Значення параметрів цільової функції

Параметр	Без системи Smart Grid	З системою Smart Grid
Енергія, що споживається електричним рухомим складом, МВт·год	19,24	19,24
Енергія, що повертається в електричну мережу, МВт·год	2,32	4,49
Потужність генератора енергії вітру, МВт	–	2,48
Потужність сонячної фотоелектричної установки, МВт	–	1,35
Потужність акумуляторної батареї, МВт	–	0,76
Потужність суперконденсатора, МВт	–	1,16

За результатами розрахунків видно, що кількість енергії, яка повертається в електричну мережу у другому випадку, збільшується на 2,17 МВт. Таким чином, застосування компонентів інтелектуальної мережі Smart Grid збільшує кількість енергії, що повертається в електричну мережу живлення, в результаті чого зменшуються загальні витрати на електроенергію.

Список літератури:

1. Rylatt R. M. Exploring Smart Grid possibilities: a complex system modelling approach / R. M. Rylatt // Smart Grid. – 2015. – Vol. 1, No. 1. – P. 1–15.
2. Smolenski R. Conducted electromagnetic interference in Smart Grids / R. Smolenski // Springer-Verlag London. –2012. – P. 160. DOI: 10.1007/978-1-4471-2960-8.
3. Vijayapriya T. Smart Grid: An Overview / T. Vijayapriya , D. Kothari // Smart Grid and Renewable Energy. 2011. Vol. 2, No. 4. P. 305–311. DOI: 10.4236/sgre.2011.24035.
4. Нерубацький В. П. Інтелектуальне багаторівневе управління на залізничному транспорті / В. П. Нерубацький, Д. А. Гордієнко // Перша міжнародна науково-технічна конференції «Інтелектуальні транспортні технології», 24–30 січня 2020 р., Трускавець–Харків: тези доп. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – С. 90–92.
5. Нерубацький В. П. Аналіз технічних характеристик акумуляторних батарей і систем заряджання електромобілів / В. П. Нерубацький та ін. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2019. – № 6. – С. 11–19. DOI: 10.18664/ikszt.v24i6.185510.