

УЗГОДЖЕННЯ ГРАФІКІВ ГЕНЕРУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ СИСТЕМІ

Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У зв'язку з тим, що розбудовуються нетрадиційні і відновлювані джерела енергії, зокрема фотоелектричні станції, в електричних мережах, останні приймають ознаки локальних електричних систем (ЛЕС). Це значить, що стосовно до них виникають задачі, які є характерними для електроенергетичних систем (ЕЕС) з крупними тепловими, атомними і гідроелектростанціями. До них відносяться забезпечення надійності електропостачання споживачів, підтримка рівнів напруги в допустимих межах, оптимізація потоків потужності з метою зменшення втрат, а також підтримування балансової надійності в ЛЕС з комбінованим електроживленням від місцевих і централізованих джерел енергії.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, зонний тариф на електроенергію, електричні мережі.

PHOTOVOLTAIC OPTIMAL INTEGRATION IN ELECTRICAL NETWORKS OF ENERGY SYSTEMS

Abstract

Due to the fact that non-traditional and renewable energy sources are being developed, in particular photovoltaic stations, in electrical networks, the latter take signs of local electrical systems (LES). This means that, in relation to them, there are problems that are typical of electric power systems (UES) with large thermal, nuclear and hydroelectric power plants. These include ensuring the reliability of consumers' power supply, maintaining voltage levels within acceptable limits, optimizing power flows to reduce losses, and maintaining balance reliability in forest with combined power supply from local and centralized energy sources.

Keywords: renewable energy sources, zone tariff for electricity, electric networks.

Вступ

Поява відновлювальних джерел електроенергії (ВДЕ) поряд зі споживачем потенційно повинна призводити до розвантаження електричних мереж, підвищення якості і надійності електропостачання. Однак, нестабільність генерування ВДЕ, зумовлена залежністю від природних умов, часом завищена потужність приєднаного джерела призводять до зниження ефективності функціонування електричної мережі і погіршення якості послуг з електропостачання кінцевого споживача. Особливо це стосується фотоелектричних станцій (ФЕС), одинична та сумарна встановлена потужність яких в електричних мережах зростає з кожним роком.

Наявність в розподільних електричних мережах джерел енергії дозволяє характеризувати їх як локальну електричну систему (ЛЕС), від надійної і економічної роботи якої залежить не лише рівень послуг з електропостачання, а й стабільна робота енергосистеми. Важливим є узгодження графіків навантаження і генерування в ЛЕС таким чином, щоб шляхом балансування потужності в ЛЕС мінімізувати їх вплив на основні центри живлення від електроенергетичної системи (ЕЕС). Особливо тоді, коли в точках примикання ЛЕС до ЕЕС необхідно витримувати заданий графік споживання (генерування) електроенергії. В цьому випадку необхідно мінімізувати відхилення від централізовано заданого графіка сукупного генерування ВДЕ за заданих обмежень на первинні енергоресурси та з врахуванням їх характеристик. При цьому повинна бути забезпечена стійкість ЛЕС як в режимі мінімального навантаження, так і в режимі максимального навантаження[1].

Метою роботи є підвищення балансової надійності локальних електричних систем та покращення їх якості функціонування шляхом узгодження графіків генерування фотоелектричних станцій та навантаження.

Результати дослідження

Збільшення генерування фотоелектричних електростанцій, в розподільних мережах шляхом зменшення навантаження на централізовану систему електропостачання дозволяє отримувати низку позитивних ефектів. Вони проявляються у зменшенні втрат потужності й електроенергії в ЛЕП, якими здійснюється транспортування потужності, підвищенні якості електроенергії, розвантаженні електричних мереж.

Проте, це стосується лише випадків, коли графік генерування ФЕС є узгодженими з графіком локального електроспоживання. Тому, постає задача штучного узгодження графіків генерування ВДЕ, зокрема ФЕС та електричного навантаження.

Для розроблення методу узгодження графіків генерування ФЕС та навантаження ЛЕС потрібно оцінити вплив генерування фотоелектричних станцій на нерівномірність добового графіка електричних навантажень.

Основна ідея такого підходу – не вироблення електроенергії, а створення нових або мотивування вже існуючих споживачів електроенергії здійснювати маневрування власним споживанням. В Україні зараз основним мотивуючим заходом є зонний тариф на електроенергію (табл. 1), згідно якого вартість електроенергії диференціюється за періодами часу доби. Отже, споживач може зменшити плату за електроенергію, не зменшуючи обсягів споживання. При цьому зменшується нерівномірність ГЕН.

Таблиця 1 – Зонний тариф на електроенергію диференційований за періодами часу

Період часу	Нічний	Денний	Піковий
Двотонні тарифи, диференційовані за періодами часу			
Тарифні коефіцієнти	0,5	1	-
Тривалість періоду	23:00 – 07:00	07:00 – 23:00	-
Тризонні тарифи, диференційовані за періодами часу			
Тарифні коефіцієнти	0,4	1	1,5
Тривалість періоду	23:00 – 07:00	07:00 – 08:00 11:00 – 20:00 22:00 – 23:00	08:00 – 11:00 20:00 – 22:00

Для аналізу та оцінювання впливу відновлювальних джерел енергії на сумарний графік навантаження електричної мережі, як буде показано далі, можливо і доцільно використовувати морфометричні показники нерівномірності ГЕН. Перевага таких показників для аналізу нерівномірності графіків навантаження полягає в їх інтегральності. З урахуванням інтегральних характеристик морфометричних показників [2] можна якісно обґрунтувати вирівнювання ГЕН та узгодження з графіком генерування ВДЕ.

Враховуючи те, що графік електричних навантажень нерівномірний і, оскільки пік генерування ФЕС припадає на денний провал у графіку навантаження тим самим, збільшуючи таку нерівномірність, то виникає необхідність мотивувати споживачів зміщувати свій добовий графік електричних навантажень в години максимуму генерування ФЕС. За кордоном впроваджується концепція віртуальних електростанцій та споживачів регуляторів, що значно спрощує таку задачу.

Для оцінювання вартості зміщення потужності споживання потрібно розробити показник, який би враховував зміну тарифного коефіцієнта вартості електроенергії згідно зонного тарифу, вартість компенсаційних витрат споживачеві за зміщення графіка електроспоживання, вартість зменшення втрат потужності внаслідок вирівнювання сумарного добового ГЕН:

$$B_{ij} = P_{zm} \cdot C_m (K_{Tj} - K_{Ti}) + \beta - \Delta P \cdot C_m \quad (1)$$

де K_{Tj} – коефіцієнт вартості електроенергії згідно зонного тарифу ступені графіка, з якої планується перенести потужність, у в.о., K_{Ti} – коефіцієнт вартості електроенергії згідно зонного тарифу ступені графіка, в яку планується переносити потужність, у в.о., P_{zm} – потужність, яку споживач має змістити для вирівнювання графіка навантаження ЛЕС, кВт, C_m – тариф на електроенергію по енергопостачальній компанії, грн. /кВт год, β – вартість технологічного зсуву виробництва, що має бути компенсована енергосистемою, грн, ΔP – зменшення втрат потужності внаслідок коригування графіка навантаження споживача, кВт.

Показник вартості переносу навантаження B_{ij} з однієї ступені ГЕН на іншу доцільно використати в задачі узгодження графіків генерування ВДЕ на навантаження. Поява джерел розосередженого генерування в розподільних електричних мережах дозволяє розглядати їх не як магістрально-радіальні, а як мережі із двостороннім живленням або локальні електричні системи. Оскільки конфігурацію електричної мережі можна вважати відносно постійною, то використовуючи коефіцієнти матриці струморозподілу за заступною r -схемою [3] можна визначити споживачів, графік навантаження яких буде найбільше впливати на сумарну нерівномірність добового графіка електричних навантажень ЛЕС спричиненою генеруванням ФЕС:

$$C_r = R^{-1}M^T (MR^{-1}M^T)^{-1}, \quad (2)$$

де R – діагональна матриця активних опорів віток, M – перша матриця з'єднань.

Застосування такого підходу, в задачі вирівнювання добового ГЕН, дозволить не тільки зменшити нерівномірність останнього, а й зменшити втрати електроенергії в ЛЕС. Для зменшення нерівномірності сумарного добового ГЕН РЕМ та мінімізації втрат активної потужності пропонується коригувати графік кожним вузлом по черзі відповідно до коефіцієнта струморозподілу. Для розв'язання цієї задачі скористаємося методом транспортної задачі (табл. 2), в якій умовно можна виділити m годин, в які власне споживання вузла більше за генерування СЕС, A_1, \dots, A_m , та n годин, в які генерування СЕС переважатиме споживання вузла, Z_1, \dots, Z_m . Для цього використовуються потужності вузлів, уточненні шляхом множення на коефіцієнт струморозподілу. Відносну вартість B_{ij} переносу потужності з одного часового проміжку графіка на інший визначатимемо за (1).

Таблиця 2 – Розподіл вартостей зміщення споживання згідно транспортної задачі

B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}	B_{15}	B_{16}	B_{17}	...	...	B_{1i}	Z_1
B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}	B_{25}	B_{26}	B_{27}	...	...	B_{2i}	Z_2
...
B_{j1}	B_{j2}	B_{j3}	B_{j4}	B_{j5}	B_{j6}	B_{j7}	...	...	B_{ji}	Z_n
A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	...	...	A_m	

Очевидно, що значення відносних вартостей B_{ij} для кожного вузла будуть відрізнятись.

Відповідно до поставленої задачі визначимо цільову функцію:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij} \cdot P_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

де P_{ij} – потужність, яку потрібно змістити з j -тої ступені графіка навантаження на i -ту.

Перша група обмежень вказує, що потужність на будь-якій ступені ГЕН повинна дорівнювати сумарній потужності споживання електроенергії цієї ступені ГЕН:

$$\sum_{i=1}^m P_{ij} = A_i.$$

Друга група обмежень вказує, що сумарний зсув споживання на деяку ступень ГЕН повинен повністю компенсувати генерування на цій ступені:

$$\sum_{j=1}^n P_{ij} = Z_j.$$

Також вводиться обмеження на неможливість зміщення від'ємних значень потужності споживання:

$$P_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n.$$

Залежність режиму роботи відновлювальних джерел енергії від природних умов в більшості випадків призводить до погіршення режиму роботи розподільних електричних мереж. Тому необхідно виконувати штучне узгодження графіків навантаження і ВДЕ. Особливо це стосується фотоелектричних станцій. Запропоновано метод вирівнювання добового ГЕН локальних електричних систем, на основі використання оптимальних коефіцієнтів струморозподілу і транспортної задачі дозволяє розв'язати задачу вирівнювання сумарного графіка електроспоживання ЛЕС і зниження втрат електроенергії в електричних мережах.

Висновки

Шляхом аналізу взаємовпливу графіків роботи електроспоживачів і фотоелектричних станцій встановлено, що найбільший техніко-економічний ефект від використання ФЕС в електричних мережах отримується лише за умови узгодження графіка їх генерування з сумарним графіком

електроспоживання локальної електричної системи. Запропоновано новий метод узгодження графіків електричних навантажень локальної електричної системи і генерування фотоелектричних станцій в ній. Метод ґрунтується на визначенні споживачів, узгодження графіків яких дозволить максимально використати енергію генеровану ФЕС з мінімальним завантаженням елементів ЛЕС. В результаті це дозволяє зменшити втрати електроенергії в мережі, покращити якість напруги і, як наслідок, підвищити енергоефективність системи електропостачання;

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А. В. Праховник "Управление электропотреблением" , Изв. АН СССР: Энергетика и транспорт. –1990. – № 1. – С. 5-16.
2. Komenda T. I. Roundness, compactness and lengthening schedules electrical load / T.I. Komenda, N.V. Komenda, L.V. Davydenko // Herald of Vinnitsa Polytechnic Institute. -2016.- №2. - P. 98-105.
3. В.Г. Холмский, "Расчет и оптимизация режимов электрических сетей М.: Высшая школа, 1975.– 280 с.

Урода А.Б. — студентка, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bd_2015@ukr.net

Науковий керівник: **Леско В.О.** — кандидат технічних наук, доцент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: lesko.vlad@ukr.net.

Uroda Anastasiia B. – student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: bd_2015@ukr.net

Supervisor: Lesko Vladyslav O. - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), docent , Vinnitsa National Technical University, docent of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: lesko.vlad@ukr.net.