

В. М. Бодунов

РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ВИБОРУ ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ СІЛЬСЬКИХ РЕГІОНІВ

Розглянуто питання оптимізації потужності джерел розподіленої генерації в розподільних електричних мережах сільських регіонів. Запропоновано використання централізованого керування потужністю джерел розподіленої генерації.

Вступ

Останні роки в багатьох країнах світу набуло поширення використання міні- та мікроелектростанцій для часткового або повного забезпечення власних потреб споживачів в електроенергії. Для сільських регіонів України особливістю систем електропостачання є значна розосередженість навантаження та використання протяжних повітряних ліній 10, 6 та 0,38 кВ. Оскільки вони мають низьку надійність та великі втрати напруги та потужності, то використання джерел розподіленої генерації (ДРГ) може значно підвищити ефективність роботи електричних мереж. Для цього необхідно оптимізувати місця встановлення і потужність ДРГ в електричних мережах. В статті пропонується метод розв'язування цієї задачі, коли за критерієм оптимальності взято мінімум втрат активної потужності в елементах мережі.

Матеріали дослідження

Розглянемо вибір потужностей ДРГ в розподільній електричній мережі. Встановлюючи ДРГ лише в одному вузлі мережі, її можна узагальнено подати заступною схемою з двома еквівалентними вузлами навантаження (рис. 1).

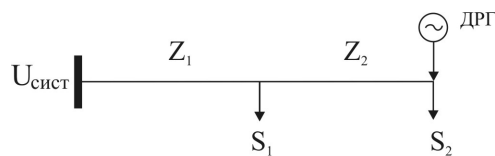


Рис. 1. Заступна схема з двома еквівалентними вузлами навантаження

Як основний критерій, за яким проводиться оптимізація потужності ДРГ в певний момент роботи, взято мінімум втрат активної потужності в елементах мережі [1, 3]. Розв'язуючи цю задачу без урахування обмежень на величину потужності ДРГ, матимемо

$$\sum \Delta P_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

де i — номер інтервалу осереднення.

Нехтуючи впливом втрат потужності на потекорозподіл для мережі (рис. 1), отримуємо:

$$\sum \Delta P_i = \frac{(P_{1i} + P_{2i} - P_{\text{ДРГ}i})^2 + (Q_{1i} + Q_{2i} - Q_{\text{ДРГ}i})^2}{U_{\text{НОМ}}^2} r_1 + \frac{(P_{2i} - P_{\text{ДРГ}i})^2 + (Q_{2i} - Q_{\text{ДРГ}i})^2}{U_{\text{НОМ}}^2} r_2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

де P_{1i} , Q_{1i} та P_{2i} , Q_{2i} — відповідно, активні та реактивні потужності вузлів навантаження на i -му інтервалі часу.

Екстремум цієї функції за змінними $P_{\text{ДРГ}i}$ та $Q_{\text{ДРГ}i}$ для i -го інтервалу часу знаходимо шляхом порівнювання часткових похідних по змінних до нуля:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta P_i}{\partial P_{\text{ДРГ}}} = 0; \\ \frac{\partial \Delta P_i}{\partial Q_{\text{ДРГ}}} = 0. \end{cases}$$

Після перетворення отримаємо:

$$\begin{cases} P_{\text{ДРГ}i}(\Delta P_{\text{min}}) = P_{2i} + P_{1i} \frac{r_1}{r_1 + r_2}; \\ Q_{\text{ДРГ}i}(\Delta P_{\text{min}}) = Q_{2i} + Q_{1i} \frac{r_1}{r_1 + r_2}. \end{cases} \quad (3)$$

Як впливає з рівнянь, значення активної потужності ДРГ, за якої втрати в мережі, показаній на рис. 1, будуть мінімальними і знаходяться в діапазоні $P_2 \leq P_{\text{ДРГ}} < P_1 + P_2$ в залежності від співвідношення активних складових опорів ділянок. Така залежність показана на рис. 2.

Фактично ця задача є задачею з обмеженнями. Одним з основних обмежень є максимальне значення активної та реактивної потужностей, які відповідне ДРГ здатне видати в мережу (ізоляції на рис. 2). З урахуванням цього обмеження система рівнянь (3) набуває вигляду:

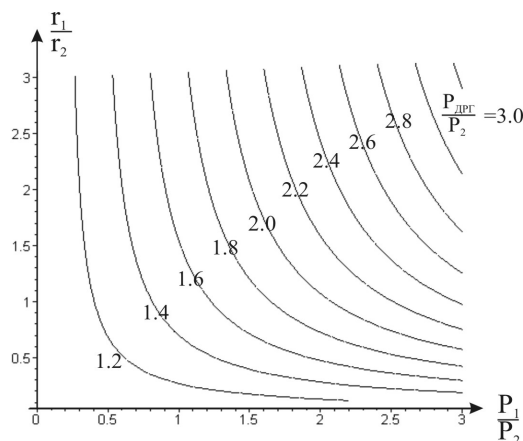


Рис. 2. Залежності потужності ДРГ від співвідношення активних складових опорів ділянок мережі (рис. 1)

$$\begin{cases} P_{\text{ДРГ}i} = \begin{cases} P_{\text{ДРГ}i}(\Delta P_{\text{min}}), & P_{\text{ДРГ}i}(\Delta P_{\text{min}}) < P_{\text{ДРГ}i \text{max}}; \\ P_{\text{ДРГ}i \text{max}}, & P_{\text{ДРГ}i}(\Delta P_{\text{min}}) \geq P_{\text{ДРГ}i \text{max}}; \end{cases} \\ Q_{\text{ДРГ}i} = \begin{cases} Q_{\text{ДРГ}i}(\Delta P_{\text{min}}), & Q_{\text{ДРГ}i}(\Delta P_{\text{min}}) < Q_{\text{ДРГ}i \text{max}}; \\ Q_{\text{ДРГ}i \text{max}}, & Q_{\text{ДРГ}i}(\Delta P_{\text{min}}) \geq Q_{\text{ДРГ}i \text{max}}. \end{cases} \end{cases} \quad (4)$$

Розглянемо приклад розгалуженої розподільної електричної мережі 10 кВ з таким навантаженням: 50 % – сільськогосподарські житлові будинки та комунально-побутові споживачі, 25 % – однозмінне промислове підприємство у сільській місцевості, 25 % – ферма з виробництва молока (рис. 3).

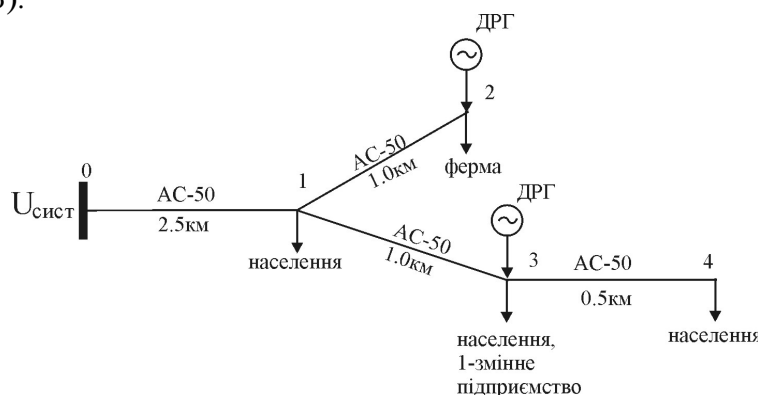


Рис. 3. Приклад розгалуженої розподільної електричної мережі 10 кВ

Добові графіки навантаження електричної мережі за активною та реактивною потужностями у відносних одиницях (рис. 4) отримані з характерних графіків навантаження.

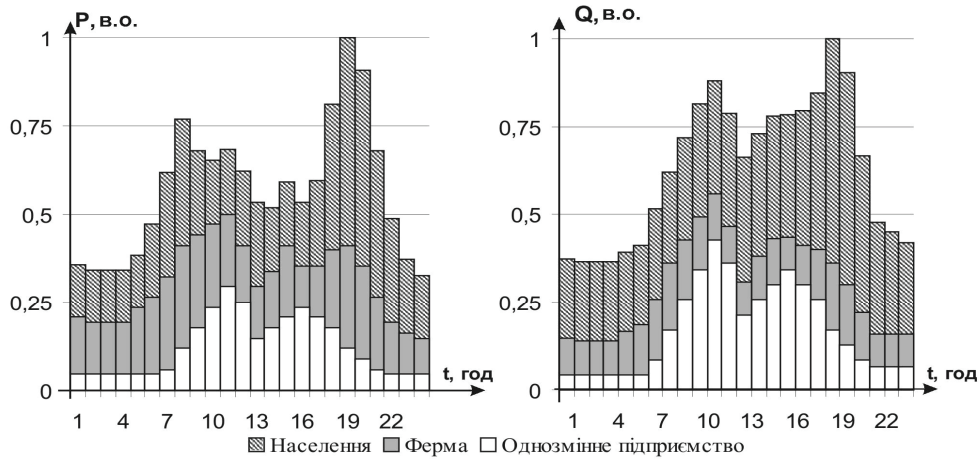


Рис. 4. Добові графіки навантаження електричної мережі

Для наочності проведено оптимізацію лише за активною потужністю ДРГ. Оптимізуючи активні потужності двох джерел без урахування обмежень для електричної мережі (рис. 3), матимемо:

$$\begin{cases} P_{\text{ДРГ}2i}(\Delta P_{\min}) = P_{2i} + P_{1i} \frac{r_{01}r_{13}}{r_{01}r_{13} + r_{01}r_{12} + r_{12}r_{13}}; \\ P_{\text{ДРГ}3i}(\Delta P_{\min}) = P_{3i} + P_{4i} + P_{1i} \frac{r_{01}r_{12}}{r_{01}r_{13} + r_{01}r_{12} + r_{12}r_{13}}. \end{cases} \quad (5)$$

Враховуючи обмеження, в якості $P_{\text{ДРГmax}}$ прийнято максимальне значення активної потужності навантажень споживачів з ДРГ (така потужність ДРГ дозволяє забезпечити електроенергією власне навантаження у разі втрати живлення від енергосистеми). Результати розрахунків втрат електричної енергії за добу зведені у таблицю. За 100 % взято втрати активної електроенергії за відсутності ДРГ.

Місце встановлення ДРГ	Втрати активної електроенергії, % в електричній мережі з ДРГ		
	Без оптимізації потужності ($P_{\text{ДРГ}} = \text{const}$)	З оптимізацією потужності $P_{\text{ДРГ}}$	
		без обмежень	$P_{\text{ДРГ}} \leq P_{\text{max}}$
Вузол 2	57,0	45,2	54,4
Вузол 3	48,0	40,5	47,2
Вузли 2 та 3	45,4	35,0	34,3

Як впливає з таблиці, встановлення ДРГ одразу у двох вузлах мережі з одночасним централізованим регулюванням їх потужності дозволяє зменшити втрати електроенергії в елементах мережі в три рази у порівнянні з варіантом без ДРГ. Також видно, що використання ДРГ без керування величиною потужності дає менший ефект ніж при її зміні.

На рис. 5 показано графіки генерації активної потужності для розрахованих режимів зі встановленням ДРГ в обох вузлах. З рисунку випливає, що у нерегульованому режимі генерації протягом 17 годин доби електрична енергія передаватиметься від ДРГ на шини енергосистеми, що призведе до додаткових втрат, не врахованих розрахунковою моделлю мережі.

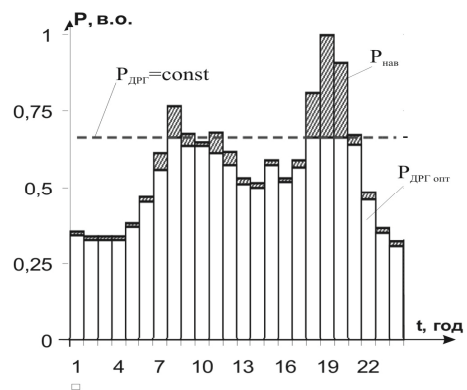


Рис. 5. Графіки генерації активної потужності для розрахованих режимів зі встановленням ДРГ в обох вузлах схеми рис. 3

Таким чином, для підвищення ефективності режимів роботи електричних мереж з ДРГ слід стимулювати споживачів, які забезпечують генерацію електроенергії в систему, використовувати власні засоби генерації відповідно до графіків навантаження споживачів, які отримують живлення по тій самій ділянці мережі. Досягти цього можливо перекладанням функцій управління генерацією енергії ДРГ з власника генерувальних потужностей на єдину централізовану систему керування [2].

Запропонований спосіб керування режимом генерації ДРГ підвищує ефективність роботи елементів енергосистеми, але при цьому зменшується коефіцієнт використання встановленої потужності ДРГ. На рис. 6 показана зміна величини коефіцієнта використання встановленої потужності та величини втрат електроенергії в залежності від встановленої потужності генераторів у відповідному вузлі розрахункової схеми електричної мережі (рис. 3).

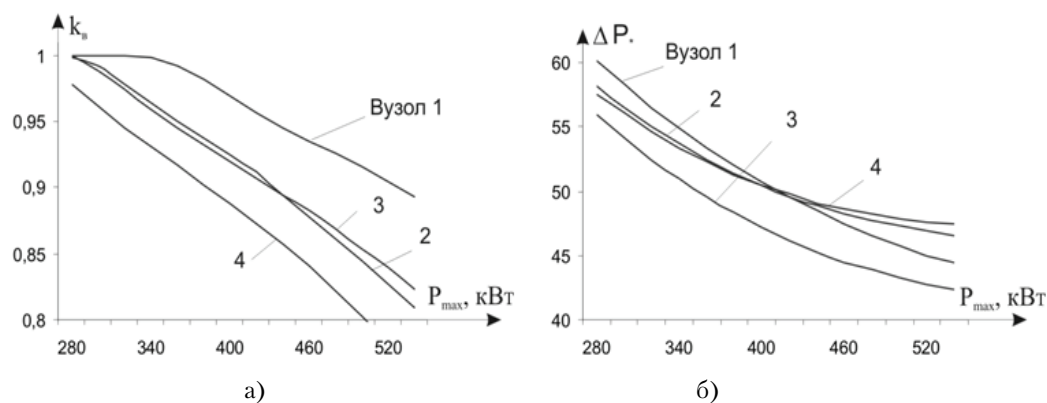


Рис. 6. Залежності: а — коефіцієнта використання встановленої потужності; б — втрат потужності від встановленої потужності генераторів

Висновки

Стихійне, майже неконтрольоване, нарощування встановлених потужностей ДРГ в розподільних мережах сільських регіонів в умовах значного спаду навантажень за неконтрольованих режимів генерації може звести нанівець більшість переваг розподіленої генерації, тому встановлення як самих ДРГ, так і систем централізованого управління їх режимами потребує якісного техніко-економічного обґрунтування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко О. В. Технічні аспекти впровадження джерел розподіленої генерації в електричних мережах / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко // Технічна електродинаміка. — 2011. — № 1. — С. 46—53.
2. Козирський В. В. Інтелектуальні системи захисту та автоматики замкнених електричних мереж з джерелами розподіленої генерації / [В. В. Козирський, В. В. Каплун, О. В. Гай, В. М. Бодунов] // Енергетика та електрифікація. — 2011. — № 3. — С. 42—47.
3. Жильцов А. В. Алгоритм встановлення джерел розподіленої генерації в електричних мережах / А. В. Жильцов, В. М. Бодунов, О. В. Гай // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова НАН України. — 2011. — Вип. 59. — С. 3—7.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 14.10.11
Рекомендована до друку 28.02.12

Бодунов Вадим Миколайович — старший викладач.

Кафедра електричних систем і мереж, Чернігівський державний технологічний університет, Чернігів