

# РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З РОЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

Литвиненко А.В., студентка, Труніна Г.О., к.т.н., старший викладач  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** На сьогодні в Україні здійснюється поступовий перехід від централізованого генерування електроенергії (на теплових, атомних та крупних гідроелектростанціях) до комбінованого, коли розвивається розосереджене генерування в розподільних електричних мережах. Розосереджені джерела енергії (РДЕ) – це традиційні та відновлювані джерела енергії невеликої потужності до 10 МВт (малі гідроелектростанції, сонячні та вітрові електростанції).

Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в електричних мережах потенційно може покращити їх техніко-економічні показники. Зокрема, ВДЕ як додаткові джерела енергії можуть сприяти підвищенню структурної і режимної надійності електропостачання. За узгодженого планування роботи різнотипних ВДЕ досягається підвищення балансової надійності та зменшення споживання електроенергії від централізованих джерел. Розвантаження магістральних мереж і понижувальних трансформаторів в результаті генерування ВДЕ дозволяє зменшити в них втрати електроенергії. Проте, як свідчить досвід впровадження ВДЕ в електричних мережах, має свої недоліки. Підключення ВДЕ в мережу може спричинити зміну перетоків електроенергії (можливе підвищення втрат), підвищення напруги в вузлах мережі вище допустимих меж 0.95в.о.-1.05в.о., впливають на роботу релейного захисту. В розподільних електричних мережах за рахунок близького розташування РДЕ до споживачів, а також при узгодженому керуванні потужністю РДЕ та додатковими засобами регулювання, втрати електроенергії при її транспортуванні можна зменшити, а рівні напруг у вузлах мережі підтримувати в допустимих межах [1].

**Мета роботи.** Аналіз та порівняння основних засобів регулювання напруги в розподільних електричних мережах з розосередженими джерелами енергії.

**Матеріали і результати досліджень.** З розбудовою в розподільних електричних мережах ВДЕ виникають нові задачі. Це необхідність оптимізації комбінованого електропостачання від електроенергетичної системи (ЕЕС) і розосередженого генерування, узгодження покриття графіка навантаження відновлюваними джерелами, які через фізичні особливості можуть видавати потужність за різними графіками, оцінювання впливу ВДЕ на значення струмів короткого замикання і, відповідно, на роботу релейного захисту та автоматики, оцінювання впливу на техніко-економічні показники розподільних електричних мереж (РЕМ) тощо [2].

Заходи компенсації реактивної потужності - цілеспрямована дія на баланс реактивної потужності в конкретному вузлі електроенергетичної системи з метою зменшення втрат електричної енергії та регулювання напруги. Заходи компенсації забезпечують зменшення реактивної потужності, що перетікає між джерелами та електроприймачами, природно без використання спеціальних засобів компенсації, а тому не потребують великих матеріальних витрат для їх реалізації. Тому ці заходи мають упроваджуватись в першу чергу, і лише коли їх наслідки будуть недостатніми для досягнення необхідного ступеня компенсації, повинні розглядатися і впроваджуватись засоби і способи штучної компенсації.

Для зменшення відхилень та коливань напруги в РЕМ з РДЕ застосовують компенсацію реактивної потужності, яка може здійснюватися статичними компенсаторами реактивної потужності (СТАТКОМ). Такі засоби мають плавне регулювання, але економічно затратні та можуть збільшувати втрати потужності в РЕМ через додаткове споживання реактивної потужності. Тому використання СТАТКОМ ефективно в мережі напругою 110 кВ і вище.

Для зменшення відхилень напруги в РЕМ з РДЕ більш вигідне встановлення батарей статичних конденсаторів (БСК), але їх використання дає можливість лише генерувати реактивну потужність, що доцільно при роботі РДЕ, побудованих на основі асинхронних генераторів (АГ). У той же час змінність вихідної потужності ДРГ призводить до збільшення перемикань БСК (до декількох десятків), що призводить до швидкого скорочення терміну служби комутаційної системи. У такому випадку рекомендують використовувати синхронний компенсатор (СК), що має плавний характер регулювання. Його головна перевага – можливість як генерувати, так і споживати реактивну потужність. Але через високу вартість СК рідко використовуються на території України. У той же час, споживання реактивної потужності СК може призвести до збільшення втрат потужності в РЕМ. Обидва засоби встановлюють на напрузі 6-110 кВ і вище [4].

Статичні тиристорні компенсатори (СТК) можуть як генерувати так і споживати реактивну потужність. Через споживання реактивної потужності СТК можливе збільшення втрат потужності в мережі. При цьому їх вартість менша, ніж СК. СТК зазвичай використовують на напрузі 110 кВ, але можливе використання таких пристроїв на напрузі 35 кВ [5].

Застосування РПН трансформаторів практично не призводить до збільшення втрат потужності в РЕМ. РПН зазвичай встановлюють на трансформаторах 35-110-220 кВ, рідше – 6-10 кВ.

Для силових трансформаторів загального призначення у переважній більшості випадків число перемикань пристрою РПН на добу не перевищує 10–20. Але при появі в мережі РДЕ зі змінним характером генерування можлива значно більша частота перемикань (до 30–60 протягом доби), що призводить до швидкого зменшення терміну служби системи. У той же час, заводські інструкції вітчизняних підприємств указують робити ревізію контакторів пристроїв РПН після 20 тис. перемикань. Для більш дорогих систем термін служби контакторів пристроїв РПН становить до 300–500 тис. перемикань.

Тому до суттєвих недоліків трансформаторів з РПН відноситься їх висока вартість і обмежений ресурс перемикачів. Для звичайних систем РПН перемикачів відгалуження займає від 5 с до 2 хв.

На основі проведеного аналізу сформовано таблицю порівняння основних засобів компенсації та регулювання (табл.1), яка може бути використана при виборі засобів регулювання напруги в РЕМ з РДЕ. В таблиці прийнято позначення вартості засобів регулювання – Ц.

Таблиця 1 – Порівняння засобів регулювання напруги

Вимоги \ Засоби	БСК	РПН трансформаторів	СТК	СТАТКО М	СК
Плавність регулювання	-	-	+	+	+
Швидкість регулювання	до 150 с	до 120 с	25-100 мс	до 4 мс	1-2 с
Зменшення втрат потужності	-	майже не впливає	+	+	+
Генерування реактивної потужності	+	-	+	+	+
Споживання реактивної потужності	-	-	+	+	+
Економічність	Ц <sub>БСК</sub>	Ц <sub>РПН</sub> > Ц <sub>БСК</sub>	Ц <sub>СТК</sub> > Ц <sub>РПН</sub>	Ц <sub>СТАТКОМ</sub> > Ц <sub>СТК</sub>	Ц <sub>СК</sub> > Ц <sub>СТАТКОМ</sub>
Рекомендована напруга встановлення	6 - 110 кВ і вище	35-110-220 кВ рідше 6-10 кВ	35 кВ 110 кВ	110 кВ і вище	6 - 110 кВ і вище

**Висновки.** Розглянуто питання впливу розосереджених джерел енергії на основі ВДЕ на роботу розподільних електричних мереж. Встановлено, що підключення РДЕ може призводити до таких проблем: зміна перетоків

електроенергії (можливе підвищення втрат), підвищення напруги в вузлах мережі вище допустимих меж, вплив на роботу релейного захисту.

Проведено аналіз підходів до регулювання напруги в РЕМ з РДЕ на основі ВДЕ. На основі цього аналізу було розроблено таблицю порівняння засобів регулювання напруги, яку можна використовувати для вибору підходу до регулювання напруги за наявності РДЕ на основі ВДЕ згідно з такими критеріями: плавність та швидкість регулювання, зменшення втрат потужності, генерування та споживання реактивної потужності, економічність і рекомендована напруга встановлення.

#### Перелік посилань

1. Лежнюк П.Д., докт. техн. наук, Комар В.О., канд. техн. наук, Кулик В.В., канд. техн. наук, Вплив відновлюваних джерел енергії на функціонування розподільних електричних, 1-9 с.

2. П.Д. Лежнюк, О.А. Ковальчук, О.В. Нікіторович, В.В. Кулик Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних, - Вінниця ВНТУ 2014 р. – 13-16 с.

3. Є.Д. Хмельницький, доцент О.О.Крупник, ст.викладач, Відповідальний за випуск: В.Б.Нізімов, д.т.н., професор, Конспект лекцій з дисципліни "Електропостачання промислових підприємств", - Дніпродзержинськ 2016 р., 55-74 с.

4. Труніна, Г.О. Підвищення ефективності регулювання напруги в розподільних електричних мережах з розосередженим генеруванням: дис. ... канд. техн. наук : 05.14.02 – Електричні станції, мережі і системи / Труніна Ганна Олексіївна. – Київ, 2019. – 216 с.

5. Статичні тиристорні компенсатори URL:

<https://studfile.net/preview/3741562/page:3/> (дата звернення: 15.11.2021р.)

6. Статические генераторы реактивной мощности (СТАТКОМ) URL:

<https://nidec-asi-vei.ru/produksiya/statkomi-dlya-nuzhd-promishlennosti-i-energetiki/> (дата звернення: 17.11.2021р.)

7. James O'Donnell, Voltage Management of Networks with Distributed Generation. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy. The University of Edinburgh. September 2007. – 222 p.

8. F. Fran Li, John Kueck, Tom Rizu, Tom King, Oak Ridge National Laboratory, A Preliminary Analysis of the Economics of Using Distributed Energy as a Source of Reactive Power Supply, April 2006 – 74 p.