

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.316.13

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.37-44](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.37-44)

А.І. Саченко, асп., С.П. Плешков, доц., канд. техн. наук, П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, В.В. Зінзура, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: artem.sachenko.97@gmail.com

Оптимальне керування режимами розподільних електричних мереж з сонячними електростанціями при несиметричному навантаженні

Робота присвячена удосконаленню системи автоматичного керування режимами роботи розподільних електричних мереж, що містять сонячні електростанції з метою досягнення одночасного зниження рівнів усталеного відхилення напруги, несиметрії напруг на затискачах електроспоживачів за умови максимізації рівня генерації електроенергії сонячною електростанцією. Показано, що таку задачу автоматичного керування найдоцільніше інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації. Обґрунтовано метод вирішення цієї задачі багатокритеріальної оптимізації. Розв'язки зазначеної задачі багатокритеріальної оптимізації можуть бути покладені в основу роботи оптимальної системи автоматичного керування параметрами режиму розподільних електричних мереж, що містять сонячні електростанції.

сонячні електростанції, багатокритеріальна оптимізація, показники якості електричної енергії

Постановка проблеми. Забезпечення нормально допустимих рівнів показників якості електроенергії в розподільних електричних мережах (РЕМ) – це одна з найбільш актуальних проблем, які виникають в процесі проектування та експлуатації сучасних РЕМ. Як відомо, погіршення якості електроенергії призводить до появи таких негативних явищ, збільшення додаткових втрат в елементах електричної мережі, скорочення терміну служби електрообладнання, зменшення продуктивності виробничого обладнання та ін. Найбільш суттєвий негативний вплив на функціонування елементів РЕМ, в тому числі і електроспоживачів, спостерігається при збільшенні рівнів усталеного відхилення та несиметрії напруг понад нормативні значення.

Характерною особливістю розвитку сучасних РЕМ є широке розповсюдження в них установок з відновлюваними джерелами енергії. В РЕМ України найбільшого поширення набули сонячні електростанції (СЕС) [1]. Це, перш за все, зумовлено сприятливими географічними та кліматичними умовами нашої держави. Так, в період з 2019 по 2021 рік загальна встановлена потужність СЕС в РЕМ України збільшилася майже на 50 % (на 1,8 ГВт) [2].

Застосування СЕС в електричних мережах пов'язане з рядом особливостей роботи цих мереж. Так, за деяких обставин, в точці приєднання СЕС до шин РЕМ може відбуватись підвищення рівня усталеного відхилення напруги понад нормативне значення.

Сучасні сонячні інвертори дозволяють здійснювати керування рівнем усталеного відхилення напруги в точці їх приєднання до електричної мережі. Окрім цього, конструктивні особливості побудови інверторів СЕС дозволяють їм змінювати (в певних межах) не лише рівень усталеного відхилення напруги, але й впливати на рівні несиметрії напруг та на параметри режиму реактивної потужності мережі [3].

Зважаючи на це, задача удосконалення САК, реалізація яких дозволить в більш повній мірі врахувати багатофункціональний вплив сонячних інверторів на параметри режиму РЕМ, що містять СЕС, є досить актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [4] запропоновано САК режимом роботи РЕМ із сонячними електростанціями, в основу роботи якої покладено двохконтурний метод керування. Реалізація запропонованої в [4] САК дає змогу не лише змінювати рівень напруги на затискачах інвертора СЕС, але й впливати на режим реактивної потужності СЕС. Недоліком описаної в роботі [4] САК є неврахування впливу інвертора СЕС на несиметрію напруги в РЕМ.

В статті [5] запропоновано САК режимом роботи РЕМ із СЕС, що базується на методі ковзного режиму. Застосування такої САК дозволяє дещо підвищити рівень генерації активної потужності СЕС, здійснювати керування перетоками реактивної потужності в РЕМ та впливати на рівні несинусоїдальності напруги. Недоліком описаної в роботі [5] САК, як і у випадку САК [4] є неврахування впливу інвертора СЕС на рівні несиметрії напруг в РЕМ.

В роботі [6] запропонована САК параметрами режиму РЕМ із СЕС, що базується на розв'язках задачі багатокритеріальної оптимізації. Реалізація запропонованої САК дозволяє підвищити рівень генерації активної потужності СЕС за умов дотримання нормально допустимих значень усталеного відхилення напруги. Недоліком описаної в роботі [6] САК є неврахування впливу інвертора СЕС на режими реактивної потужності РЕМ.

Таким чином, загальним недоліком запропонованих в роботах [4-6] САК режимами роботи РЕМ із СЕС є неврахування в повній мірі багатофункціонального впливу цих інверторів на параметри режиму РЕМ (в тому числі і на показники якості електроенергії, що нормують усталене відхилення та несиметрію напруг).

Постановка завдання. Метою даної роботи є удосконалення САК параметрами режиму роботи РЕМ номінальною напругою 10 кВ, що містять СЕС, застосування якої дозволить досягнути одночасного зниження рівня усталеного відхилення напруги, рівня несиметрії напруг, та рівня споживання реактивної потужності за умови максимально можливого значення генерації електроенергії.

Виклад основного матеріалу. Узагальнена структурна схема РЕМ з СЕС зображена на рис. 1.

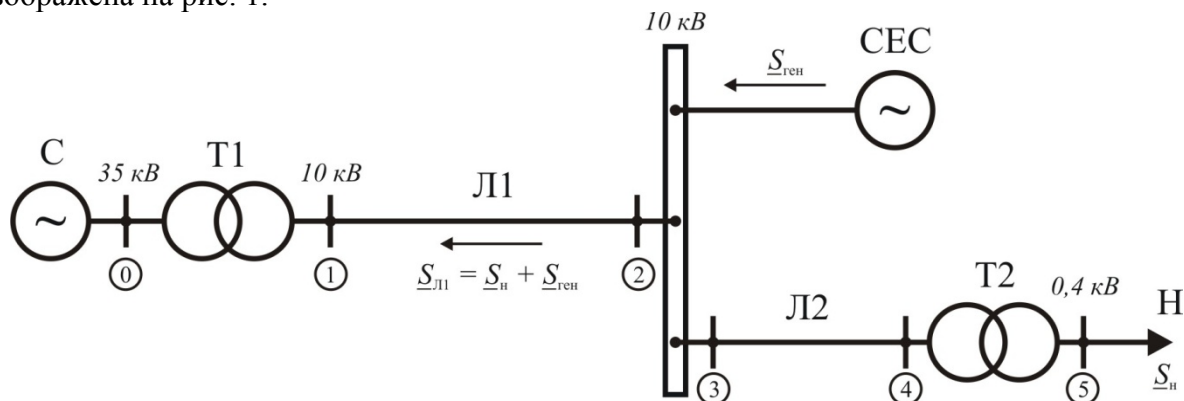


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема РЕМ з СЕС

Джерело: розроблено авторами

На рис. 1: С – енергосистема (ділянка районної електричної мережі, від якої живиться РЕМ); Т1 – знижувальний силовий трансформатор 35/10 кВ; Л1, Л2 – лінії електропередачі номінальною напругою 10 кВ; СЕС – сонячна електростанція; Т2 – знижувальний силовий трансформатор 10/0,4 кВ; Н – узагальнене електричне навантаження електроспоживачів; $\underline{S}_{\text{ген}} = P_{\text{ген}} + jQ_{\text{ген}}$ – повна електрична потужність генерації СЕС; $P_{\text{ген}}$, $Q_{\text{ген}}$ – активна та реактивна потужність генерації СЕС; $\underline{S}_{\text{н}} = P_{\text{н}} + jQ_{\text{н}}$ – повна електрична потужність навантаження; $P_{\text{н}}$, $Q_{\text{н}}$ – активна та реактивна потужність навантаження; $\underline{S}_{\text{Л1}} = \underline{S}_{\text{ген}} + \underline{S}_{\text{н}} = P_{\text{Л1}} + jQ_{\text{Л1}}$ – повна електрична потужність, що протікає по лінії Л1; $P_{\text{Л1}}$, $Q_{\text{Л1}}$ – активна та реактивна потужність, що протікає по лінії Л1.

Слід зазначити, що значення активної $P_{\text{ген}}$ та реактивної $Q_{\text{ген}}$ потужностей генерації СЕС в розрахунках береться зі знаком «-».

Для РЕМ, схема якої зображена на рис. 1, можна виділити два характерних режими роботи: режим споживання електроенергії ($S_{\text{н}} > S_{\text{ген}}$) та режим генерації електроенергії ($S_{\text{н}} < S_{\text{ген}}$). Найбільш цікавим з точки зору впливу СЕС на параметри РЕМ є режим генерації електроенергії, за якого сумарна потужність на шинах 10 кВ $\underline{S}_{\text{Л1}}$ передається в напрямку енергосистеми. Для зручності подальших математичних виразів позначимо потужність $\underline{S}_{\text{Л1}}$ для режиму генерації як $\underline{S}_{\Sigma\text{ген}} = \underline{S}_{\text{Л1}} = P_{\Sigma\text{ген}} + jQ_{\Sigma\text{ген}}$.

Зважаючи на це задачу автоматичного керування параметрами РЕМ з СЕС можна інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації. Для РЕМ номінальною напругою 10 кВ постановка даної задачі має наступний вигляд:

$$\begin{cases} -P_{\Sigma\text{ген}}(\mathbf{S}_{\text{ген}}) \rightarrow \min, \\ |\text{tg } \varphi(\mathbf{S}_{\text{ген}})| \rightarrow \min, \\ |\Delta U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}})| \rightarrow \min, \\ U_2(\mathbf{S}_{\text{ген}}) \rightarrow \min, \\ \mathbf{S}_{\text{ген}} \in \Omega, \end{cases} \quad (1)$$

де $\mathbf{S}_{\text{ген}} = (\underline{S}_{\text{ген}A}, \underline{S}_{\text{ген}B}, \underline{S}_{\text{ген}C})$ – вектор фазних потужностей генерації СЕС (вектор керування);

$\underline{S}_{\text{ген}i} = P_{\text{ген}i} + jQ_{\text{ген}i}$, $i = A, B, C$ – комплекс повної потужності генерації СЕС для i -ї фази;

$\Omega \in \mathbb{C}^3$ | $\underline{S}_{\text{ген}i}^{\min} \leq \underline{S}_{\text{ген}i} \leq \underline{S}_{\text{ген}i}^{\max}$, $i = A, B, C$ – область допустимих значень вектора керування $\mathbf{S}_{\text{ген}}$;

$\underline{S}_{\text{ген}i}^{\min}$, $\underline{S}_{\text{ген}i}^{\max}$, $i = A, B, C$ – мінімально та максимально допустимі значення вектора керування $\mathbf{S}_{\text{ген}}$;

$\Delta U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}}) = U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}}) - U_{\text{ном}}$ – різниця значень модуля комплексу напруги прямої послідовності \underline{U}_1 та номінальної напруги РЕМ $U_{\text{ном}}$;

$\text{tg } \varphi(\mathbf{S}_{\text{ген}})$ – коефіцієнт реактивної потужності в режимі генерації:

$$\text{tg } \varphi(\mathbf{S}_{\text{ген}}) = \frac{Q_{\Sigma\text{ген}}(\mathbf{S}_{\text{ген}})}{P_{\Sigma\text{ген}}(\mathbf{S}_{\text{ген}})}, \quad (2)$$

$Q_{\Sigma\text{ген}} = \text{Im}(\underline{S}_{\Sigma\text{ген}})$ – трифазна реактивна потужність, що генерується в мережу;

$P_{\Sigma_{\text{ген}}} = \text{Re}(\underline{S}_{\Sigma_{\text{ген}}})$ – трифазна активна потужність, що генерується в мережу.

Комплекс повної трифазної потужності, що генерується в мережу $\underline{S}_{\Sigma_{\text{ген}}}$ визначається за формулою:

$$\underline{S}_{\Sigma_{\text{ген}}} = \underline{S}_{\text{ген}} - \underline{S}_{\text{н}} = \sum_{i=1}^3 [P_{\text{ген}i} - P_{\text{н}i} + j(Q_{\text{ген}i} - Q_{\text{н}i})] \quad (3)$$

де $\underline{S}_{\text{н}}$ – комплекс повної потужності навантаження:

$$\underline{S}_{\text{н}} = \sum_{i=1}^3 (P_{\text{н}i} + jQ_{\text{н}i}) \quad (4)$$

Значення модуля комплексу напруги прямої послідовності U_1 визначається за формулою:

$$U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}}) = \left| \frac{1}{3} [\underline{U}_{AB}(\underline{S}_{\text{ген}A}) + a\underline{U}_{BC}(\underline{S}_{\text{ген}B}) + a^2\underline{U}_{CA}(\underline{S}_{\text{ген}C})] \right| \quad (5)$$

де $a = e^{j\frac{2}{3}\pi}$ – оператор повороту.

Значення комплексів лінійних напруг \underline{U}_{AB} , \underline{U}_{BC} , \underline{U}_{CA} в точці приєднання СЕС до РЕМ (т. 2, рис. 1) визначається шляхом вирішення нелінійних рівнянь режиму РЕМ у вигляді балансу струму:

$$\begin{cases} \underline{U}_{AB}(\underline{S}_{\text{ген}A}) = \underline{U}_{cAB} - \frac{(\underline{S}_{\text{ген}A} - \underline{S}_{\text{н}A})^*}{\underline{U}_{AB}^*} \cdot \underline{Z}_{cA}, \\ \underline{U}_{BC}(\underline{S}_{\text{ген}B}) = \underline{U}_{cBC} - \frac{(\underline{S}_{\text{ген}B} - \underline{S}_{\text{н}B})^*}{\underline{U}_{BC}^*} \cdot \underline{Z}_{cB}, \\ \underline{U}_{CA}(\underline{S}_{\text{ген}C}) = \underline{U}_{cCA} - \frac{(\underline{S}_{\text{ген}C} - \underline{S}_{\text{н}C})^*}{\underline{U}_{CA}^*} \cdot \underline{Z}_{cC}, \end{cases} \quad (6)$$

де \underline{U}_{cAB} , \underline{U}_{cBC} , \underline{U}_{cCA} – комплекси лінійних напруг на шинах системи (т. 0, рис. 1):
 \underline{Z}_{cA} , \underline{Z}_{cB} , \underline{Z}_{cC} – значення комплексів еквівалентних фазних опорів ділянки схеми РЕМ від т. 0 до т. 2 (рис. 1).

Значення модуля комплексу напруги зворотної послідовності визначається за виразом:

$$U_2(\mathbf{S}_{\text{ген}}) = \left| \frac{1}{3} [\underline{U}_{AB}(\underline{S}_{\text{ген}A}) + a^2\underline{U}_{BC}(\underline{S}_{\text{ген}B}) + a\underline{U}_{CA}(\underline{S}_{\text{ген}C})] \right| \quad (7)$$

Слід зазначити, що рівняння (6) належать до класу нелінійних рівнянь функції комплексної змінної, і їх вирішення можливе лише шляхом використання відповідних чисельних методів. Це, в свою чергу, унеможливорює знаходження взаємозв'язку між

значеннями компонент вектора керування $\mathbf{S}_{\text{ген}}$ та значеннями лінійних напруг \underline{U}_{AB} , \underline{U}_{BC} , \underline{U}_{CA} в аналітичній формі.

Як зазначено в роботі [6], найдоцільнішим методом вирішення задач багатокритеріальної оптимізації вигляду (1) є метод наближення до утопічної точки в просторі критеріїв. Для випадку задачі (1) координатами утопічної точки будуть мінімальні значення кожного з критеріїв $\mathbf{Q}_{\text{ут}} = (-P_{\Sigma\text{генmin}}, \text{tg } \varphi_{\text{min}}, \Delta U_{1\text{min}}, U_{2\text{min}})$.

Розв'язок задачі багатокритеріальної оптимізації даним методом відбувається в два етапи:

1. Шляхом знаходження мінімуму кожного з критеріїв визначається координати утопічної точки $\mathbf{Q}_{\text{ут}} = (-P_{\Sigma\text{генmin}}, \text{tg } \varphi_{\text{min}}, \Delta U_{1\text{min}}, U_{2\text{min}})$ в просторі критеріїв $\{Q\} \subset \mathbb{R}^4$.

2. Шляхом розв'язку задачі мінімізації відстані ρ від утопічної точки до парето-оптимальної множини розв'язків в просторі критеріїв знаходиться кінцевий розв'язок задачі багатокритеріальної оптимізації (1) $\mathbf{S}_{\text{ген}}^{\text{opt}}$ в просторі керування $\mathbf{S}_{\text{ген}}^{\text{opt}} \subset \mathbb{C}^3$.

В загальному випадку, вираз для визначення відстані ρ має наступний вигляд:

$$\rho_{L^p} = \left(\sum_{i=1}^m |Q_i(\mathbf{S}_{\text{ген}}) - Q_{\text{uti}}|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (8)$$

Як показано в роботі [6], вирішення задачі (1) найдоцільніше здійснювати шляхом використання чебишевської метрики ($p \rightarrow \infty$). За такого підходу задача знаходження кінцевого розв'язку задачі (1) набуває вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \frac{-P_{\Sigma\text{ген}}(\mathbf{S}_{\text{ген}}) - (-P_{\Sigma\text{генmin}})}{\xi_1}, \frac{|\text{tg } \varphi(\mathbf{S}_{\text{ген}})| - \text{tg } \varphi_{\text{min}}}{\xi_2}, \right. \\ \left. \frac{|\Delta U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}})| - \Delta U_{1\text{min}}}{\xi_3}, \frac{U_2(\mathbf{S}_{\text{ген}}) - U_{2\text{min}}}{\xi_4} \right\} \rightarrow \min \\ \mathbf{S}_{\text{ген}} \in \Omega \end{array} \right. \quad (9)$$

де $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$ – вагові коефіцієнти, що враховують відносну важливість кожного з критеріїв.

Таким чином, шляхом застосування методу наближення до утопічної точки в просторі критеріїв розв'язок задачі багатокритеріальної оптимізації (1) зводиться до послідовного вирішення ряду задач скалярної оптимізації. Вирішення зазначених задач скалярної оптимізації найдоцільніше здійснювати шляхом застосування відомих числових методів розв'язку. Як зазначено в роботі [6], досить гарні результати з точки зору точності та швидкості розрахунку спостерігаються при застосуванні методу Нелдера-Міда.

Геометрична інтерпретація розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації (1) методом наближення до утопічної точки для випадку мінімізації чебишевської відстані, побудована за результатами розрахунку числового тестового прикладу, наведена на рис. 2.

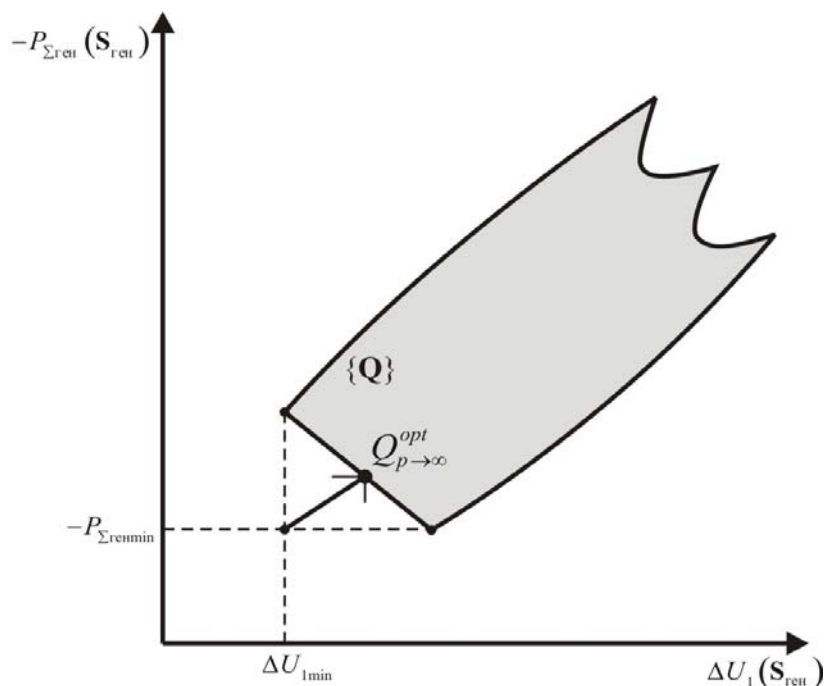


Рисунок 2 – Геометрична інтерпретація розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації методом наближення до утопічної точки для випадку чебишевської метрики

Джерело: розроблено авторами

Слід відмітити, що через неможливість графічного відображення функції чотирьох змінних, на рис. 2 відображена графічна залежність для випадку $|\operatorname{tg} \varphi(S_{\text{ген}})| = \text{const}, U_2(S_{\text{ген}}) = \text{const}$.

Висновки. В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Зважаючи на можливість багатофункціонального впливу інвертора СЕС на параметри режиму роботи РЕМ одним із найбільш доцільних методів підвищення ефективності роботи РЕМ з СЕС є удосконалення системи автоматичного керування сонячним інвертором.

2. Задачу одночасного зниження рівня усталеного відхилення напруги, рівня несиметрії напруг, та рівня споживання реактивної потужності за умови максимально можливого значення генерації електроенергії в РЕМ з СЕС найдоцільніше інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації.

3. Запропонований в роботі підхід до знаходження розв'язків задачі багатокритеріальної оптимізації може бути покладений в основу функціонування оптимальної САК параметрами режиму РЕМ з СЕС.

Список літератури

1. Солдатенко В.П., Плешков С.П. Автоматичне керування режимами роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Харків : НТУ "ХПІ", 2017. № 34 (1256). С. 66-70.
2. Зміни встановленої потужності ОЕС України. URL: <https://ua.energy/zagalni-novyny/u-2020-rotsi-vstanovlena-potuzhnist-ves-ta-ses-zrosla-na-41-a-yihnya-chastka-u-strukturi-vyrobnytstva-elektroenergiyi-vdvichi/> (дата звернення: 19.01.2022).
3. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кравчук С.В., Бандура І.О. Фотоелектричні станції як засіб регулювання перетоків реактивної потужності в електричній системі. *Наукові нотатки : міжвуз.*

- зб. (за галузями знань "Технічні науки"). 2019. Вип. 65. С. 137-141. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_65_22 (дата звернення: 19.01.2022).
4. WAN Qian, Xia Chengjun, Azeddine Houari, Zhao Xue1, Xia Chengjun, Zheng Xiaotian and Huang Chuyin (2020). The Reactive Power Support Strategy based on Dual-loop Control for Three-phase Grid-connected Inverter. 10th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE 2020), Volume 182. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018202011>
 5. Bahri, H., Aboulfatah, M., Guisser, M., Abdelmounim, E., & El Malah, M. (2018). Sliding mode control of a three phase grid connected photovoltaic system with a nonlinear load. International Review of Automatic Control, 11(6), 293-303. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireaco.v11i6.11686>
 6. Плешков П. Г., Гарасьова Н.Ю., Солдатенко В.П. Оптимальне керування режимом роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика: зб. наук. пр.* Харків : НТУ "ХПІ". 2018. № 32 (1308). С. 64-70. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2018.32.12>

References

1. Soldatenko, V.P., & Plieshkov, S.P. (2017). Avtomatychnе керування rezhymamy roboty kombinovanoi elektroenerhetychnoyi systemy z vidnovlyuvanymy dzherelamy enerhiyi [Automatic control of the operation modes of the combined electric power system with renewable energy sources] . Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». *Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya: Problemy udoskonalennya elektrychnykh mashyn i aparativ – Bulletin of NTU "KhPI" – Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection.* Kharkov : NTU "KhPI. Vol. 34. 66-70 [in Ukrainian].
2. Zminy vstanovlenoyi potuzhnosti OES Ukrayiny [Changes in the installed capacity of the United Energy System of Ukraine] Retrieved from <https://ua.energy/zagalni-novyny/u-2020-rotsi-vstanovlenapotuzhnist-ves-ta-ses-zrosla-na-41-a-yihnya-chastka-u-strukturi-vyrobnytstva-elektroenergiyi-vdvichi/> [in Ukrainian].
3. Lezhnyuk, P.D., Komar V.O., Kravchuk S.V., & Bandura I.O. (2019). Foteoelektrychni stantsiyi yak zasib rehulyuvannya peretokiv reaktyvnoyi potuzhnosti v elektrychniy systemi [Photovoltaic stations as a means of regulating the flow of reactive power in the electrical system]. *Naukovi notatky : mizhvuz. zb. (za haluzyamy znan' "Tekhnichni nauky") – Scientific notes: interuniversity. coll. (by fields of knowledge "Technical Sciences").* Vol. 65. 137-141. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_65_22 [in Ukrainian].
4. WAN Qian, Xia Chengjun, Azeddine Houari, Zhao Xue1, Xia Chengjun, Zheng Xiaotian and Huang Chuyin (2020). The Reactive Power Support Strategy based on Dual-loop Control for Three-phase Grid-connected Inverter. 10th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE 2020), Volume 182. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018202011> [in English].
5. Bahri, H., Aboulfatah, M., Guisser, M., Abdelmounim, E., & El Malah, M. (2018). Sliding mode control of a three phase grid connected photovoltaic system with a nonlinear load. International Review of Automatic Control, 11(6), 293-303. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireaco.v11i6.11686> [in English].
6. Plyeshkov, P.H., Haras'ova N.YU., & Soldatenko V.P. (2018). Optymal'ne keruvannya rezhymom roboty kombinovanoi elektroenerhetychnoyi systemy z vidnovlyuvanymy dzherelamy enerhiyi [Optimal control of the mode of operation of the combined electric power system with renewable energy sources]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KHPI". Ser. : Problemy udoskonaluyannya elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriya i praktyka – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Problems of improving electrical machines and devices. Theory and practice. Vol. 32.* 64-70. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2018.32.12> [in Ukrainian].

Artem Sachenko, postgraduate student, **Sergii Plieshkov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Petro Plieshkov**, Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Zinzura**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Optimal Control of the Modes of Distribution Electrical Networks With Solar Power Plants Under Unbalanced Load

The article is devoted to improving the system of automatic control of modes of distribution electric networks containing solar power plants in order to achieve a simultaneous reduction of steady-state voltage deviations, voltage asymmetry at the terminals of consumers while maximizing the level of electricity generation by solar power plants.

Ensuring normal permissible levels of electricity quality indicators in distribution networks is one of the most pressing issues that arise in the design and operation of modern distribution networks. Deterioration of the

quality of electricity in electrical networks leads to the appearance of such negative phenomena, increase in additional losses in the elements of the electrical network, reduce the service life of electrical equipment, reduce the productivity of production equipment and others. The most significant negative impact on the functioning of the elements of electrical distribution networks, including electricity consumers, is observed with increasing levels of steady-state deviation and voltage asymmetry above the normative values. Modern solar inverters allow you to control the level of steady voltage deviation at the point of their connection to the mains. The design features of the construction of inverters of solar power plants allow them to change (within certain limits) not only the level of steady-state voltage deviation, but also to affect the level of voltage asymmetry and the parameters of the reactive power mode.

In view of this, the task of improving automatic control systems for the distribution of electric networks with solar power plants, the implementation of which will take into account the multifunctional influence of solar inverters on the parameters of these networks is quite relevant.

For the research, a fragment of a typical distribution electrical network with a nominal voltage of 10 kV was used, which contains a solar power plant that connects directly to the 10 kV busbars.

The authors of the article set the problem of controlling the parameters of the mode of distribution electric network with solar power plants in the form of the problem of multicriteria optimization. An approach to solving this problem is also proposed, which is based on the method of solving problems of multicriteria optimization by approaching the utopian point in the space of criteria.

Approximate calculations are carried out, which confirm the possibility of applying the proposed approach to the construction of systems for automatic control of the parameters of the mode of distribution electrical networks with solar power plants

solar power plants, multi-criteria optimization, indicators of the quality of electrical energy

Одержано (Received) 22.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.02.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 004.78

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.44-51](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.44-51)

О.В. Присяжнюк, доц., канд. техн. наук, **О.М. Близнюкова**, канд. психол. наук
*Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира
Винниченка, М. Кропивницький, Україна
e-mail: elena_drobot@ukr.net, blyyus@yahoo.com*

Розробка та використання веб додатків для оптимізації процедури проведення навчальної експертизи методом Делфі для задач управління

У статті розглядаються можливості використання веб додатків для навчання студентів організації та проведення колективного оцінювання методом Делфі у задачах управління. Розглянуто модель та технічні аспекти, що виникають при організації онлайн експертизи. Позначені психологічні проблеми, які належить вирішувати при реалізації даного підходу. Запропоновано технологію оптимізації процедури проведення навчальної онлайн експертизи у вигляді веб додатку.

експертна оцінка, метод Делфі, розробка веб додатків

Постановка проблеми. Метод експертних оцінок як науковий інструмент аналізу проблем, що складно формалізуються, в Україні, як і у всьому світі посідає надзвичайно важливе місце. Роль експертного оцінювання засобами онлайн додатків в умовах сучасних суспільно-політичних, економічних, військових, інформаційних та