

УМОВИ ОПТИМАЛЬНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У МІКРОМЕРЕЖІ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Останнім часом в Україні гостро постало питання впровадження мікрогрід для забезпечення надійного електропостачання критичних споживачів під час вимушених відключень електроенергії. Ці системи дозволяють не лише підвищити енергетичну незалежність, але й забезпечити безперервну роботу важливих об'єктів, таких як лікарні, водо та теплопостачальні підприємства, особливо в умовах нестабільного централізованого електропостачання. Водночас такі підприємства, через використання двигунів та насосів, є значними споживачами реактивної потужності. Це створює додаткові проблеми для стабільної роботи мікрогрід, оскільки необхідно ефективно керувати реактивною потужністю для підтримання оптимальних параметрів напруги та мінімізації втрат в електричних мережах.

У роботі розв'язано актуальну задачу вдосконалення методів та засобів оптимізації перетікань реактивної потужності у мікрогрід, шляхом узгодження функціонування джерел реактивної потужності, що сприятиме зменшенню втрат електроенергії у мікрогрід та підвищенню якості напруги. Об'єктом дослідження є процес автоматизованого керування сукупністю джерел реактивної потужності (ДРП) у мікромережі. Узгодження їх функціонування сприятиме зменшенню втрат електроенергії у мікромережі та підвищенню якості напруги.

Для розв'язання задачі було застосовано принцип керування з випередженням, метод «ідеального» струморозподілу (за втратами електроенергії). Використовуючи модель «ідеального» струморозподілу задачу нелінійної оптимізації потоків реактивної потужності в РЕМ було зведено до принципово простішої задачі пошуку струморозподілу в заступній схемі з активними опорами.

Ключові слова: випереджувальне керування, мікрогрід, джерела реактивної потужності, оптимізація, «ідеальний» струморозподіл, втрати, якість напруги.

Вступ

Останнім часом в Україні гостро постало питання впровадження мікрогрід для забезпечення надійного електропостачання критичних споживачів під час вимушених відключень електроенергії. Мікрогрід фактично є компактною електромережею, призначеною для управління розподіленими енергоресурсами. Вона може поєднувати відновлювані джерела енергії, такі як сонячну, вітрову або гідроенергію, з невідновлюваними, такими як дизельні генератори або газові турбіни. Такі системи зазвичай контролюють навантаження кількох джерел генерації й використовують певні системи зберігання енергії. Для керування процесами застосовується спеціальне програмне забезпечення та системи управління. Мікрогрід можуть працювати як у зв'язку з основною енергосистемою, так і автономно під час надзвичайних ситуацій або відповідно до певних потреб. Ці системи дозволяють не лише підвищити енергетичну незалежність, але й забезпечити безперервну роботу важливих об'єктів, таких як лікарні, водо- та теплопостачальні підприємства, особливо в умовах нестабільного централізованого електропостачання. Водночас такі підприємства, через використання двигунів та насосів, є значними споживачами реактивної потужності. Це створює додаткові проблеми для стабільної роботи мікрогрід, оскільки необхідно ефективно керувати реактивною потужністю для підтримання оптимальних параметрів напруги та мінімізації втрат в електричних мережах.

Отже, актуальною виявляється проблема вдосконалення методів та засобів оптимізації перетікань реактивної потужності у мікрогрід, що мають значну добову волатильність генерування та споживання електроенергії.

Метою роботи є підвищення ефективності керування сукупністю розосереджених джерел реактивної потужності, що проявляється у зменшенні втрат електроенергії та підвищенні якості напруги у мікрогрід.

Результати дослідження

Оптимізація перетікань реактивної потужності – суто технічна задача. Однак в сучасних умовах джерела реактивної потужності (ДРП), що забезпечують ефект зниження втрат електроенергії в мікрогрід, можуть перебувати у власності іншого суб'єкта енергетики. Тому під час її вирішення необхідно враховувати й економічні чинники. Всі суб'єкти електроенергетики об'єктивно зацікавлені у зниженні втрат електроенергії та підвищенні якості напруги в міромережі. Розрахунки показують, що лише завдяки впровадженню ДРП в розподільні мережі можливе знизити втрати на 5–8 % [1]-[3]. Та ефект зниження втрат забезпечується не лише впровадженням ДРП, а головним чином, якістю їх подальшої експлуатації.

Автоматизоване керування ДРП необхідне з низки причин, особливо у мікрогрід в острівному режимі. Для споживача економічно виправданим є застосування систем автоматичного керування ДРП для зменшення перетікань реактивної потужності на межі балансової належності абонента. Це сприяє зменшенню плати за перетікання реактивної енергії. Та основною причиною є потреба швидкого впровадження керувальних впливів в умовах змінного графіка споживання та генерування реактивної потужності в мікрогрід. Питанням розроблення та впровадження систем автоматичного керування ДРП присвячено низку досліджень, зокрема [3]. Запропоновано ефективні за швидкодією та точністю технічні рішення з автоматизації функціонування ДРП. Вони дають змогу підтримувати оптимальні значення коефіцієнта реактивної потужності у вузлах критичних споживачів. Однак для оптимізації перетікань реактивної потужності в мережах мікрогрід за допомогою сукупності ДРП необхідно узгоджувати їх функціонування. Для цього слід періодично визначати та змінювати налагоджувальні параметри для локальних систем автоматичного керування (САК) з урахуванням взаємовпливу ДРП. Через жорсткі часові обмеження для таких систем необхідно вдосконалювати методи та алгоритми розрахунку оптимальних потужностей ДРП. В них мають враховуватися зміни режимів та конфігурації мікрогрід в процесі експлуатації, а також зміни тарифів на електроенергію [4], [5]. У найпростішому випадку задачу оптимізації потужності ДРП можна подати так:

$$V_Q(Q_i) \rightarrow \min, i \in [1..n_q], \quad (1)$$

за умов балансу реактивної потужності в мережі мікрогрід

$$G = \sum_{i=1}^{n_q} Q_i - \sum Q_n - \Delta Q(Q_i) = 0, i \in [1..n_q], \quad (2)$$

та обмежень на параметри:

$$Q_i^{\max} \geq Q_i \geq Q_i^{\min}, i \in [1..n_q]; \quad (3)$$

$$U_j^{\max} \geq U_j \geq U_j^{\min}, j \in [1..n], \quad (4)$$

де V_Q – втрати потужності в мікромережі, зумовлені перетіканнями реактивної потужності; n, n_q – кількість вузлів мікрогрід, для яких діють обмеження за напругою та кількістю

встановлених ДРП; $\sum Q_n$ – сумарне навантаження споживачів; $\Delta Q(Q_i)$ – втрати реактивної потужності в мікрогрід; $[Q_i^{\min}, Q_i^{\max}]$ – діапазон регулювання потужностей i -го ДРП; $U_j, [U_j^{\min}, U_j^{\max}]$ – відповідно, розрахункове значення напруги у j -му вузлі мікрогрід та діапазон допустимих значень напруги.

Класичне розв'язання такої задачі методом Лагранжа полягає у необхідності підтримання рівності відносних приростів втрат потужності [6], [7]:

$$\frac{\partial V_Q / \partial Q_i}{1 - \partial \Delta Q / \partial Q_i} = idem. \quad (5)$$

Використовуючи рівняння (5) задачу (1), (2) за певних припущень можна звести до розв'язання системи з $n_q + 1$ лінійних рівнянь та швидко знайти оптимальні значення потужностей ДРП. Однак, враховуючи нелінійну залежність $V_Q(Q_i)$ та $\Delta Q(Q_i)$ такий розв'язок буде потребувати уточнення. Крім того, у постановці задачі не враховано економічних чинників експлуатації ДРП.

Для врахування вказаних недоліків слід перейти до цільової функції у вигляді прибутку від експлуатації ДРП протягом певного звітного періоду:

$$AP(Q_i) \rightarrow \max, i \in [1..n_q]. \quad (6)$$

Після підстановки математичних виразів для складових прибутку й відрахувань вираз (8) набув вигляду:

$$AP(Q_i) = \sum_t \left(\Delta P_t^0 \Delta t C_t - \Delta P_t \Delta t (1 - \alpha_n) C_t - \left(\sum_{i=1}^{n_q} \alpha_{ei} Q_i \Delta t + \sum_{i=1}^{n_q} \alpha_{\Delta Wi} Q_i \Delta t C_t \right) (1 - \alpha_n) \right),$$

або

$$AP(Q_i) = \sum_t \left(\Delta P_t^0 - \left(\Delta P_t + \sum_{i=1}^{n_q} \left(\frac{\alpha_{ei}}{C_t} + \alpha_{\Delta Wi} \right) Q_i \right) (1 - \alpha_n) \right) C_t \Delta t, \quad (7)$$

де $\Delta P^0, \Delta P$ – усереднені втрати потужності для режимів мікрогрід протягом часу Δt до та після введення в дію ДРП з урахуванням заданого графіка їх експлуатації $Q_i(t)$; C_t – ціна на електроенергію на внутрішньодобовому ринку протягом t -го періоду; α_{ei} – питомі витрати на виробництво реактивної енергії від i -го ДРП (для ДРП на балансі РЕМ $\alpha_{ei} = 0$); $\alpha_{\Delta Wi}$ – питомі втрати енергії в i -му ДРП; α_n – податок на балансовий прибуток.

За результатами попередніх досліджень [4], [7], [8] показано, що оптимальні потужності ДРП за техніко-економічним критерієм доцільно визначати розраховуючи «ідеальні» режими розподільної мережі. Для цього використовують заступні схеми з активними опорами (рис. 1). Економічні показники експлуатації ДРП перераховуються у еквівалентні

опори, які прийнято називати економічними. Економічні опори для окремих ДРП визначаються виходячи з того, що вартість втрат електроенергії в них має відповідати експлуатаційним видатками ДРП.

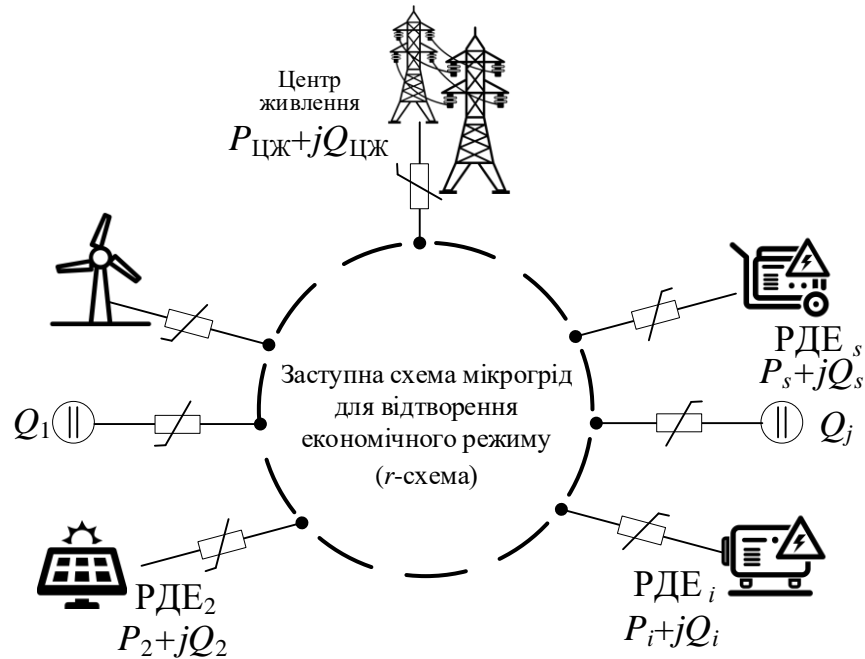


Рис. 1 Заступна схема мікрогрід для розрахунку «ідеального» режиму за техніко-економічним критерієм

Такий підхід скорочує кількість розрахунків та дає змогу отримати розв’язок, близьких до глобального максимуму цільової функції. Це досягається зведенням задачі оптимізації перегікань реактивної енергії до кількох розрахунків «ідеального» режиму з коригуванням заступної схеми міромережі. Після чого накладаються обмеження (2)-(4) та уточнюються оптимальні потужності ДРП.

Враховуючи, що втрати потужності ΔP^0 не будуть змінюватися через залучення ДРП, задачу (7) можна звести до пошуку мінімуму експлуатаційних витрат в мікрогрід:

$$OC(Q_i) = \sum_t \left(\Delta P_t \Delta t + \sum_{i=1}^{n_q} \left(\frac{\alpha_{ei}}{C_t} + \alpha_{\Delta Wi} \right) Q_i \Delta t \right) (1 - \alpha_{\pi}) C_t, \quad (8)$$

В (8) ціна електроенергії C_t – це ряд додатних, наперед заданих значень. Якщо їх замінити на ряд з добутоків прайскепу C_{max} та безрозмірного коефіцієнта k_{Ct} , що визначає ціну на період часу t , то пошук мінімуму цільової функції (8) буде еквівалентним пошуку мінімуму деяких еквівалентних втрат електроенергії:

$$\Delta W_{екв} = \frac{1}{(1 - \alpha_{\pi}) C_{max}} \sum_t OC(Q_i) k_{Ct} = \Delta t \sum_t \Delta P_t k_{Ct} + \Delta t \sum_t \sum_{i=1}^{n_q} \left(\frac{\alpha_{ei}}{C_{max}} + \alpha_{\Delta Wi} k_{Ct} \right) Q_i. \quad (9)$$

Таким чином, отримано функцію еквівалентних втрат електроенергії у мікрогрід. В них враховано втрати в ДРП та видатки, що пов’язані з їх експлуатацією. Їх зменшення завдяки керуванню ДРП дасть змогу оцінити ефективність такого керування. Зменшення втрат (9) буде відповідати зростанню прибутку (7). До того ж екстремальні потужності ДРП для обох функцій будуть співпадати завдяки еквівалентності перетворень.

Розрахунок струмозподілу в заступній схемі з активними опорами (рис. 1) дасть змогу визначити мінімальні втрати електроенергії $\Delta P(t)\Delta t$ та потужності ДРП Q_i , які для цього потрібні. Щоб врахувати економічні фактори під час визначення «ідеального» режиму необхідно внести до заступної схеми (рис. 1) додаткові опори. Втрати в них будуть еквівалентні другій складовій виразу (9):

$$\Delta W_e = \Delta t \sum_t \frac{Q_i^2}{U_i^2} R_{ei}^Q = \Delta t \sum_t \sum_{i=1}^{n_q} \left(\frac{\alpha_{ei}}{C_{\max}} + \alpha_{\Delta Wi} k_{Ct} \right) Q_i,$$

звідки

$$R_{ei}^Q = \frac{U_i^2}{Q_i} \left(\frac{\alpha_{ei}}{C_{\max}} + \alpha_{\Delta Wi} k_{Ct} \right). \quad (10)$$

Вираз для визначення економічного опору i -го ДРП R_{ei}^Q містить його поточну потужність Q_i , економічні показники $\alpha_{\Delta Wi}$, α_{ei} , k_{Ct} , а також залежні параметри режиму U_i . Тому ці опори потребують ітераційного уточнення протягом пошуку оптимального розв'язку. Аналогічно отримано вирази для розрахунку економічних опорів ДРП для різних умов їх використання для оптимізації потоків реактивної потужності в мікрогрід (табл. 1). Це дало змогу в рамках розв'язання однієї задачі забезпечити оптимізацію потужностей ДРП у багатокритеріальній постановці. Тобто потужності окремих ДРП оптимізуються за різними критеріями, забезпечуючи загальносистемний ефект підвищення прибутку.

Таблиця 1 Економічні опори ДРП для різних критеріїв оптимальності

Критерій оптимальності для i -го ДРП	Економічний опір i -го ДРП
Мінімум втрат електроенергії в мікрогрід	$R_{ei}^Q = 0$
Мінімум витрат на експлуатацію ДРП	$R_{ei}^Q = \frac{U_i^2 \alpha_{ei}}{Q_i^2 C_{\max}}$
Максимум прибутку від експлуатації ДРП	$R_{ei}^Q = \frac{U_i^2}{Q_i} \left(\frac{\alpha_{ei}}{C_{\max}} + \alpha_{\Delta Wi} k_{Ct} \right).$
Мінімум збитків для РДЕ через генерування надлишкової реактивної потужності	$R_{ei}^Q = \begin{cases} 0, & \text{якщо } Q_i \leq Q_{i\max}; \\ \frac{\beta_{Pi} P_{\text{нви}}(Q_i) U_i^2}{Q_i^2 C_t}, & \text{якщо } Q_i > Q_{i\max} \end{cases}$
Мінімум вартості системних послуг з регулювання напруги	$R_{ei}^{PQ} = \frac{Q_{Di} U_i^2}{(P_i^2 + Q_i^2)} \frac{\beta_{Qi}}{C_t}$

Примітка. У виразах: $\beta_i(Q_i)$ – питомі витрати на експлуатацію ДРП; β_{Pi} , $P_{\text{нви}}(Q_i)$ – ціна електроенергії i -го джерела та зниження видачі потужності через вимушене надлишкове генерування $Q_i > Q_{i\max}$; β_{Qi} , Q_{Di} – питома вартість та обсяг видачі додаткової реактивної потужності за вимогою оператора мікрогрід.

Потужності ДРП, що отримані після розрахунку «ідеального» режиму мікрогريد забезпечують максимум прибутку (7), та зазвичай не можуть бути увімкнені через порушення обмежень (3), (4). Для переходу до оптимального режиму їх значення потребують коригування.

Врахування обмежень на граничні потужності ДРП (3) не супроводжується значними алгоритмічними складностями. Якщо обмеження (3) порушено, то для його виконання значення потужності ДРП фіксується на верхній Q_i^{\max} , або нижній Q_i^{\min} межах інтервалу значень.

Якщо регулювання потужності ДРП є дискретним, то розрахункове значення потужності Q_i заокруглюється до допустимого значення. Таких значень в околі Q_i може бути два. Тоді для підбору оптимального застосовується перебір варіантів з контролем за значенням цільової функції (7).

Задачу врахування обмежень за напругами (4) не вдається розв'язати простим підбором значень через значну кількість ДРП та складний вплив їх потужностей на рівні напруги в мікромережі. Для коригування потужностей ДРП з врахуванням таких обмежень необхідно розв'язувати додаткову оптимізаційну задачу. Зміна параметрів ДРП для врахування обмежень завжди пов'язана зі зменшенням прибутку від їх експлуатації. Адже при цьому потужності ДРП відхиляються від «ідеальних». Отже, поправки ΔQ_i до потужностей ДРП необхідно визначати так, щоб після виконання обмежень на залежні змінні (4) зниження прибутку (7) було мінімальним:

$$\begin{cases} \Delta AP(\Delta Q_i) \rightarrow \min, i \in [1; n_q]; \\ \mathbf{J}_\phi^{-1} \Delta \mathbf{Q} = \Delta \mathbf{U}, \end{cases} \quad (11)$$

де \mathbf{J}_ϕ^{-1} – фрагмент оберненої матриці Якобі зі значеннями похідних $J_{ij} = \partial Q_i / \partial U_j$. Вони пов'язують зміни реактивної потужності ДРП ΔQ_i з відхиленнями напруги у вузлах мікромережі ΔU_j , для яких порушено обмеження (4) $j \in [1; n_n]$; $\Delta \mathbf{Q}$ – вектор-стовпець корекцій реактивних потужностей ДРП розмірністю n_q ; $\Delta \mathbf{U}$ – вектор-стовпець відхилень напруги у вузлах мікромережі понад допустимі межі. Кожен елемент вектора визначається за виразом $\Delta U_j = U_j - U_j^{\max}$.

Враховуючи взаємозв'язок між цільовими функціями (7) та (9), постановка задачі (11) може бути спрощена. Її можна звести до задачі мінімізації приросту еквівалентних втрат (9) у вигляді:

$$\Delta V_{Q_{\text{екв}}}(\Delta Q_i) = \sum_{i=1}^{n_q} \left(\frac{\partial \Delta P_t}{\partial Q_i} + \frac{\alpha_{ei}}{C_t} + \alpha_{\Delta W_i} \right) \Delta Q_i \rightarrow \min. \quad (12)$$

Використовуючи коефіцієнти розподілу втрат потужності T_{Q_i} [9] цільову функцію (12) було зведено до лінійної:

$$\begin{cases} \Delta V_{Q_{\text{екв}}}(\Delta Q_i) = \sum_{i=1}^{n_q} \left(T_{Q_i} + \frac{\alpha_{ei}}{C_t} + \alpha_{\Delta Wi} \right) \Delta Q_i \rightarrow \min; \\ \mathbf{J}_{\phi}^{-1} \Delta \mathbf{Q} = \Delta \mathbf{U}, \end{cases} \quad (13)$$

Такий перехід суттєво спрощує розв'язання задачі та зменшує кількість обчислень. За симплекс-методом з переліку корекцій до потужностей ДРП ΔQ_i було визначено такі, що забезпечують виконання обмежень за напругою (4) з мінімальним відхиленням від екстремуму функції (7).

Виконані дослідження дали змогу отримати надійний та швидкодійний метод пошуку оптимальних потужностей ДРП. Його можливо використовувати для імітаційних розрахунків з метою визначення налагоджувальних параметрів локальних САК. Однак для формування законів керування локальних застосовано інший підхід, який дає можливість отримати умови оптимальності їх функціонування за місцевими параметрами.

Висновки

Обґрунтовано доцільність використання моделі «ідеального» режиму мікромережі для оптимізації потужності ДРП за техніко-економічним критерієм. Це дозволило звести вказану задачу нелінійної оптимізації до задачі пошуку екстремального струморозподілу в заступній г-схемі мережі, яка є принципово простішою. Для врахування економічних факторів оптимізаційної задачі заступну г-схему доповнено фіктивними опорами. Їх значення розраховуються таким чином, щоб забезпечити відповідність між видатками на експлуатацію ДРП та вартістю втрат електроенергії у цих опорах. Вирази для розрахунку економічних опорів отримано для різних типів ДРП та умов їх функціонування в електричних мережах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Ibrahim, S., Cramer, A., Liu, X., Liao, Y. (2018). PV inverter reactive power control for chance-constrained distribution system performance optimisation. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12 (5), 1089–1098. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.0484>
- [2] Hu, Y., Xiang, J., Peng, Y., Yang, P., Wei, W. (2018). Decentralised control for reactive power sharing using adaptive virtual impedance. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12 (5), 1198–1205. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2017.1036>
- [3] Adhikari, S., Li, F., Li, H. (2015). P-Q and P-V Control of Photovoltaic Generators in Distribution Systems. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 6 (6), 2929–2941. doi: <https://doi.org/10.1109/tsg.2015.2429597>
- [4] Lezhniuk, P. D., Kulyk, V. V., Netrebskyi, V. V., Teptia, V. V. (2014). *Pryntsyp naimenshoi dii v elektrotekhnitsi ta elektroenerhetytsi*. Vinnytsia: UNIVERSUM-Vinnytsia, 212.
- [5] Kulyk, V. V., Hrytsiuk, I. V., Hrytsiuk, Yu. V. (2013). *Optymalne keruvannya po-tokamy reaktyvnoi potuzhnosti v rozpodilnykh elektromerezhakh z rozo-seredzhenym heneruvanniam*. Pratsi Instytutu elektrodynamiky NANU, 151–158.
- [6] Kyrylenko, O. V., Seheda, M. S., Butkevych, O. F., Mazur, T. A. (2010). *Matematychnе modeliuвання v elektroenerhetytsi*. Lviv: Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika», 608.
- [7] Kulyk, V., Burykin, O., Juliya, M., Viktor, P. (2018). Optimization of Reactive Energy Flows in the Electric Grid Taking Into Account Allowable Voltage Fluctuations. 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). Kharkiv, 265–270. doi: <https://doi.org/10.1109/ieps.2018.8559542>
- [8] Kulyk, V., Burykin, O., Pirnyak, V. (2017). Optimization of the placement of reactive power sources in the electric grid based on modeling of its ideal modes. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (1 (40)), 59–65. doi: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.129237>
- [9] Burykin, O. B., Lezhniuk, P. D., Kulyk, V. V. (2008). *Vzaiemovplyv elektrychnykh merezh i system v protsesi optymalnoho keruvannya yikh rezhymamy*. Vinnytsia: UNIVERSUM–Vinnytsia

Поліщук Андрій Леонідович — кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій та систем, e-mail: teutrios@i.ua;

Вінницький національний технічний університет;

A. L. Polishchuk¹

OPTIMAL CONDITIONS FOR THE OPERATION OF REACTIVE POWER SOURCES IN A MICROGRID

¹Vinnytsya National Technical University

Recently, the issue of implementing microgrids to ensure reliable power supply to critical consumers during forced power outages has become urgent in Ukraine. These systems not only increase energy independence, but also ensure the continued operation of essential facilities such as hospitals, water and heat utilities, especially under conditions of unstable centralised power supply. At the same time, these enterprises are significant consumers of reactive power due to the use of motors and pumps. This poses additional challenges to the stable operation of microgrids, as reactive power must be effectively managed to maintain optimal voltage parameters and minimise losses in electrical networks.

This work addresses the current task of improving methods and means for optimising reactive power flows in microgrids by coordinating the operation of reactive power sources, which will contribute to reducing energy losses in microgrids and improving voltage quality. The subject of the research is the process of automated control of a set of reactive power sources (RPS) in the microgrid. Coordinating their operation will help reduce energy losses in the microgrid and improve voltage quality.

To solve this problem, the principle of predictive control and the method of "ideal" current distribution (based on energy losses) were applied. Using the "ideal" current distribution model, the non-linear optimisation problem of reactive power flows in the distribution network was reduced to a much simpler problem of finding the current distribution in an equivalent circuit with active resistances.

Keywords: predictive control, microgrid, reactive power sources, optimization, "ideal" current distribution, losses, voltage quality.

Polishchuk Andriy Leonidovych — PhD, Associate Professor of the Department of Electric Stations and Systems, e-mail: al.polishchuk@vntu.edu.ua;

} Times New Roman
11 pt