

УДК 621.316

О. С. Яндутьський, д-р тех. наук, проф.;

Г. О. Труніна, асп.

ПІДХОДИ ДО ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РЕЖИМАМИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ІЗ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

Розглянуто підходи до оптимального керування режимами розподільних електричних мереж із розосередженою генерацією. Запропоновано в процесі формування цільової функції оптимізації враховувати погіршення якості електроенергії через відхилення напруги в мережі.

Вступ

Під час інтеграції джерел розосередженої генерації (ДРГ) в розподільні електричні мережі (РЕМ) актуальним стає питання оптимального керування режимами таких мереж, зокрема, регулювання напруги у разі зміни навантаження та генерації в електричній системі.

Значення напруги, як одного з основних показників якості електроенергії в РЕМ, регламентується ГОСТ 13109-97. У вимогах [1] зазначено, що у нормальному режимі для підтримки напруги в допустимих межах можуть застосовуватись самі ДРГ або додаткові компенсувальні пристрої. Тому питання оптимального регулювання напруги в РЕМ з ДРГ є досить важливим та потребує ретельного дослідження.

Основний матеріал

Існує декілька підходів до вирішення питання оптимального керування режимами РЕМ з ДРГ. Так, наприклад, у [2] розглядаються питання комплексного керування нормальними та післяаварійними режимами систем електропостачання з ДРГ. Керування нормальними режимами у цьому випадку базується на забезпеченні мінімуму втрат потужності в мережі

$$\sum_{l \in L} R_{lk} I_{lk}^2 \rightarrow \min, \quad k \in K, \quad (1)$$

де K — кількість розглянутих нормальних режимів; L — кількість гілок в мережі; R_{lk} , I_{lk} — активний опір і струм у гілці l для режиму k .

Алгоритм керування післяаварійними режимами (виділення на «острови») спрямований на забезпечення мінімуму дефіциту потужності [2]

$$\left(\sum_{n \in N} P_{nk} - \sum_{n^* \in N^*} P_{n^*j} \right) \rightarrow \min, \quad k \in K, \quad j \in J, \quad (2)$$

де J — кількість розглянутих післяаварійних режимів у разі втрати основного пункту живлення; P_{nk} — навантаження у вузлі n в нормальному режимі k ; P_{n^*j} — навантаження у вузлі n^* у післяаварійному режимі j частини мережі, що включає в себе N^* вузлів, які належать всім «островам»; N — кількість вузлів.

При цьому виконується перевірка дотримання обмежень по рівнях напруг і струмів мережі. Такий підхід потребує доповнення цільової функції щодо відстеження втрат, спричинених функціонуванням самих ДРГ, та врахування погіршення якості електроенергії через відхилення напруги в РЕМ.

У [3] за мету ставиться максимізація вихідної потужності ДРГ

$$P_{G\alpha} \rightarrow \max \quad (3)$$

з урахуванням балансу потужностей

$$\begin{aligned} P_{Gi} - P_{Di} - P_i(V, \theta, t) &= 0; \\ Q_{Gi} - Q_{Di} - Q_i(V, \theta, t) &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

та обмежень

$$\begin{aligned} t &= t(V); \\ \underline{Q}_{G\alpha} &\leq Q_{G\alpha} \leq \bar{Q}_{G\alpha}; \\ \underline{V} &\leq V_i \leq \bar{V}; \\ (i &= 1, 2, \dots, NB), \end{aligned} \quad (5)$$

де P_{Gi} , Q_{Gi} — вихідні активна та реактивна потужності ДРГ; P_{Di} , Q_{Di} — активна та реактивна потужність споживання.

У зазначеній роботі також не враховано втрати в РЕМ, пов'язані із функціонуванням ДРГ (наприклад, втрати в трансформаторі та лінії приєднання), а також погіршення якості електроенергії через відхилення напруги в мережі.

В [4] розглядається питання оптимального керування розосередженими джерелами енергії засобами Smart Grid. Особливі труднощі виникають на шляху оптимізації функціонування вітрових (ВЕС) і сонячних електричних станцій (СЕС), оскільки їхні режими визначаються стохастичним впливом навколишнього середовища. Математичне очікування їх сумарної активної потужності становить

$$M_{VAR}(t) = M_{BEV}(P(t)) + M_{СЕС}(P(t)). \quad (6)$$

У цій роботі задача полягає в необхідності знайти такі режими малих ГЕС $P_i(t)$ на інтервалі часу $[t_0; t_k]$, які забезпечили б максимальний прибуток від реалізації електроенергії РДЕ [4]

$$\int_{t_0}^{t_k} \rho(t) \left[\sum_{i=1}^n P_i(t) + M_{VAR}(t) - k_u \cdot \Delta P_{РДЕ}(t) \right] dt \rightarrow \max, \quad (7)$$

де $k_u(t)$ — ваговий коефіцієнт, що визначається співвідношенням відпускнуго тарифу для РДЕ $\rho(t)$ та вартості втрат потужності для цієї РЕМ ρ_0 ; $\Delta P_{РДЕ}(t)$ — складник втрат потужності в РЕМ, зумовлений функціонуванням РДЕ.

При цьому реалізуються обмеження за потужністю i -го РДЕ $P_i^{\min} \leq P_i(t) \leq P_i^{\max}$ та за напором між б'єфами $H_i^{\min} \leq H_i(t) \leq H_i^{\max}$.

Знову ж таки, питання врахування погіршення якості електроенергії в мережі через відхилення напруги залишається відкритим.

В [5] мінімізуються витрати, пов'язані зі зниженням активної потужності ДРГ за дотримання обмежень по напрузі,

$$\sum_{i=1}^{N_G} C_i P_{Gi}^{cur} \rightarrow \min \quad (8)$$

з урахуванням балансу потужностей

$$\begin{aligned} P_{Gi} - P_{Li} - P_{Gi}^{cur} &= P_i^{inj}(V_i, \theta_i, T_k); \\ Q_{Gi} + Q_C - Q_{Li} - Q_{Gi}^{cur} &= Q_i^{inj}(V_i, \theta_i, T_k) \end{aligned} \quad (9)$$

та обмежень

$$\begin{aligned} S_{ij} &\leq S_{ij}^{\max}; \\ V_i^{\min} &\leq V_i \leq V_i^{\max}; \\ P_{Gi}^{\min} &\leq P_{Gi}^{cur} \leq P_{Gi}^{\max}; \\ Q_C^{\min} &\leq Q_C \leq Q_C^{\max}; \\ T_k^{\min} &\leq T_k \leq T_k^{\max}; \\ Q_{Gi}^{cur} &= f(P_{Gi}^{cur}). \end{aligned} \quad (10)$$

Такий підхід лише частково забезпечує оптимальне керування режимами РЕМ з ДРГ та потребує доповнення.

З огляду на зазначені роботи, можна зробити висновок, що для оптимального керування режимами роботи РЕМ з ДРГ слід врахувати втрати потужності в мережі, пов'язані з погіршенням якості електроенергії через відхилення напруги, що може бути спричинене зміною генерації ДРГ, зміною навантаження, або ж відмовою пристроїв регулювання напруги.

Серед зазначених робіт, в основному, мова йшла про ДРГ з керованим генеруванням, лише у [4] розглянуто джерела з умовно-керованим характером генерування, а саме вітрові (ВЕС) та сонячні електростанції (СЕС). З огляду на бурхливий розвиток електростанцій саме такого типу, актуальним питанням стає оптимальне керування режимами роботи РЕМ з такими ДРГ.

Аналізуючи зазначене вище, можна запропонувати такий підхід. За умови належності електричної мережі та генерувальних потужностей регіону одному власнику доцільно поставити за мету формування цільової функції оптимізації за критерієм максимізації вихідної потужності ДРГ (СЕС, ВЕС) $P_{\text{ДРГ}}(t)$, мінімізації втрат в елементах ДРГ $\Delta P_{\text{ДРГ}}(t)$, мінімізації втрат потужності мережі $\Delta P_{\text{мережі}}^*(t)$, спричинених нестачею потужності ДРГ для живлення навантаження, та мінімізації втрат потужності в мережі $P(\Delta U, Q, t)$, зумовлених погіршенням якості електроенергії через відхилення напруги, яке може бути спричинене зміною генерації ДРГ, збільшенням або зменшенням навантаження, а також відмовою пристроїв регулювання напруги

$$\int_{t_0}^{t_k} [P_{\text{ДРГ}}(t) - \Delta P_{\text{ДРГ}}(t) - \Delta P_{\text{мережі}}^*(t) - P(\Delta U, Q, t)] dt \rightarrow \max, \quad (11)$$

де $t_0 \dots t_k$ — період часу, за який ДРГ генерує електроенергію.

Слід врахувати таке обмеження:

$$0,95 \cdot U_{\text{ном}} \leq U \leq 1,05 \cdot U_{\text{ном}}, \quad (12)$$

яке дає можливість контролювати відхилення напруги і, таким чином, відслідковувати стан якості електроенергії в мережі.

Висновки

Розглянуто підходи до оптимального керування режимами розподільних електричних мереж із розосередженою генерацією. Запропоновано під час формування цільової функції оптимізації враховувати погіршення якості електроенергії через відхилення напруги в мережі. Для оцінки ефективності запропонованого підходу необхідно виконати дослідження режимів роботи РЕМ за наявності ДРГ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вимоги до вітрових та сонячних фотоелектричних електростанцій потужністю більше 150 кВт щодо приєднання до зовнішніх електричних мереж. — 2011. [Електронний ресурс] / AF-MERCADOS EMI спільно з EXERGIA RAMBOLL. — Режим доступу : http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/Wind_and_Solar_PV_Tech_Req_Final_Version_Ukrainian.pdf.
2. Баасан Бат-Ундрал. Методы комплексного исследования нормальных и послеаварийных режимов систем электрообеспечения с распределенной генерацией : дис. канд. техн. наук : 05.14.02 / Баасан Бат-Ундрал. — И., 2009. — 118 с.
3. W. Huang, D. Distributed Generation on Distribution System Voltage Regulation : An Optimization-based Approach / W. Huang, D. Gan, X. Xia, N. Kobayashi, X. Xu. — 2010.
4. Кулик В. В. Оптимальне керування розосередженими джерелами електроенергії з асинхронними генераторами засобами SMART GRID [Електронний ресурс] / В. В. Кулик, Т. Є. Магас, Ю. В. Малогулко // Наукові праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. — 2011. — № 4. — С. 1—6. Режим доступу : http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=juu_all&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=PREF=&S21COLORTERMS=0&S21STR=VNTUV.
5. Hao Liang. Voltage regulation in distribution systems with distributed generation / Hao Liang. — 2012.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 15.10.2013
Рекомендована до друку 5.11.2013

Яндюльський Олександр Станіславович — професор, **Труніна Ганна Олексіївна** — аспірантка.
Кафедра автоматизації енергосистем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ