

КЛАСИФІКАЦІЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПІД ЧАС ОПЕРАТИВНО- ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРУВАННЯ

О Данилюк О.В., Бахор З.М., Міркевич Я.Д., Дурняк Б.І., 2011

Запропоновано методику класифікації режимів електричних мереж для задачі розпізнавання під час оперативно-диспетчерського керування.

Ключові слова: електрична мережа, диспетчерське керування, класифікація режимів.

It is offered a technique of classification of modes of electrical networks for a task of recognition during operative dispatching management.

Key words: the electrical network, supervisory control, classification of modes.

Постановка проблеми

Під час оперативно-диспетчерського керування режимами електричних мереж електроенергетичних систем та енергопостачальних компаній пріоритетним завданням є надійне та неперервне постачання споживачів електричною енергією. Для успішного виконання цього завдання необхідно забезпечити постійне спостереження за параметрами режиму, а також передбачити можливі їхні зміни.

Джерелом інформації про параметри режиму є дані телеметрії. На їхній основі здійснюватиметься оперативна ідентифікація режиму з метою подальшого прийняття рішення на предмет запобігання виникнення аварії, а якщо це неможливо реалізувати, то на локалізацію аварії. Варто зауважити, що в реальних умовах експлуатації електричних мереж, останні є не повністю телемеханізованими, що накладає певні труднощі на розпізнавання режиму електричної мережі та вимагає виконання завдання оцінювання стану мережі.

Аналіз останніх досягнень та публікацій

Проблемам моніторингу режимів електроенергетичних систем, електричних мереж, створенню систем підтримки прийняття рішень під час керування їх режимами протягом останніх років приділяється підвищений інтерес [1–4], що, враховуючи формулювання проблеми, є очевидним.

Завдання дослідження

Враховуючи вищенаведене, під час створення системи підтримки прийняття рішення необхідно розробити алгоритм розпізнавання режиму електричної мережі, тобто в масштабі реального часу необхідно ідентифікувати належність режиму до певного класу. Це вимагає класифікації режимів електричних мереж, з врахуванням критеріїв оперативного аналізу динаміки зміни параметрів режиму та конфігурації електричної мережі.

Виклад основного матеріалу

Під режимом електричної мережі $\mathfrak{R}(t)$ розуміємо сукупність її послідовних функціональних станів $\mathfrak{R}(t_n)$

$$\mathfrak{R}(t) = (\mathbf{K}, \mathfrak{R}(t_n), \mathbf{K}); \quad \forall t_n = t_{n-1} + \Delta t; \quad \Delta t \rightarrow 0, \quad (1)$$

де t_n – ідентифікатор плинності часу, в момент якого здійснюється сканування режиму (стан електричної мережі в момент часу t_n); Δt – часовий крок сканування режиму.

У наведеному виразі (1), за умови $\Delta t \rightarrow 0$, режим $\mathfrak{R}(t)$ можна вважати неперервним або плинним режимом, який описується функціоналом вигляду

$$\mathfrak{R}(t) = F(\mathbf{h}(t), \text{binary}(\dot{E}) \in \mathbf{h}(t), \dot{I} \in \mathbf{h}(t), \mathbf{f}(\mathbf{h}(t), \mathbf{U}(t), \boldsymbol{\theta}(t)) = \mathbf{0}), \quad (2)$$

де $\mathbf{h}(t) \equiv \langle \text{топология схеми ЕМ} \rangle$; $\text{binary}(\dot{E}) \quad \forall \{e_n\} = (1 \vee 0) \equiv (\text{true} \vee \text{false}) \equiv (\langle \text{Вкл.} \rangle \vee \langle \text{Вукл.} \rangle)$ – опис станів елементів електричної мережі, якими є лінії електропередачі, трансформатор, комутаційний апарат, компенсатори реактивної потужності ($n = \overline{1, N}$, N – загальна кількість елементів електричної мережі, які належать вищенаведеній групі, тобто, $N = N_{ЛЕП} + N_{ТР} + N_{КА} + N_{КРП}$); $\dot{I} = (\dot{I}_{ЛЕП}, \dot{I}_{ТР}, \dot{I}_{КА}, \dot{I}_{КРП})_T$ – параметри елементів електричної мережі, відповідно ліній електропередач, трансформаторів, комутаційних апаратів, компенсаторів реактивної потужності. Для комутаційних апаратів параметрами є їхні стани $\langle \text{Вкл.} \rangle \vee \langle \text{Вукл.} \rangle$; $\mathbf{f}(\mathbf{h}(t), \mathbf{U}(t), \boldsymbol{\theta}(t)) = \mathbf{0}$ – рівняння стану електричної мережі в формі балансу потужностей [5, 6].

Нехай існує певний плинний режим $\mathfrak{R}(t)$ в інтервалі часу від t_0 до $t_0 + k \cdot \Delta t$, тривалістю $t = \langle \text{тривалість} \rangle = t_0 + t_0 + k \cdot \Delta t$

$$\mathfrak{R}(t) = (\mathbf{K}, \mathfrak{R}(t_0), \mathbf{K}, \mathfrak{R}(t_0 + \Delta t), \mathbf{K}, \mathfrak{R}(t_0 + k \cdot \Delta t), \mathbf{K}),$$

де t_0 – час відліку.

Необхідно встановити, що це за режим і які заходи стосовно диспетчерського керування необхідно вжити з метою забезпечення нормального функціонування електричної мережі. Залежно від стану комутаційних апаратів, параметрів режиму електричної мережі для прийняття рішення застосовують відповідні алгоритми, які повинні бути реалізовані у відповідних програмних модулях прикладного програмного забезпечення. Тому, на нашу думку, насамперед, необхідно в системі підтримки прийняття рішення для реалізації диспетчерських дій забезпечити наявність класифікатора режимів.

Пропонуємо таку класифікацію режимів функціонування електричної мережі на основі критеріїв оперативного аналізу динаміки зміни параметрів режиму та конфігурації електричної мережі: режим стабільний тривалий; режим нормальний прогнозований; режим ремонтний плановий; режим обтяжений; режим аварійний технічно допустимий; режим аварійний недопустимий (аварія).

Тоді плинний режим електричної мережі належатиме до одного з вказаних класів режимів електричної мережі

$$\mathfrak{R}(t) = \langle \overline{\mathfrak{R}}_{\text{стаб.}}(t) \vee \overline{\mathfrak{R}}_{\text{прогн.}}(t) \vee \overline{\mathfrak{R}}_{\text{рем.}}(t) \vee \overline{\mathfrak{R}}_{\text{обт.}}(t) \vee \overline{\mathfrak{R}}_{\text{дон.}}(t) \vee \overline{\mathfrak{R}}_{\text{авар.}}(t) \rangle, \quad (3)$$

де $\overline{\mathfrak{R}}_{\text{стаб.}}(t)$ – клас стабільних тривалих режимів; $\overline{\mathfrak{R}}_{\text{прогн.}}(t)$ – клас нормальних прогнозованих режимів; $\overline{\mathfrak{R}}_{\text{рем.}}(t)$ – клас ремонтних планових режимів; $\overline{\mathfrak{R}}_{\text{обт.}}(t)$ – клас обтяжених режимів; $\overline{\mathfrak{R}}_{\text{дон.}}(t)$ – клас аварійних технічно-допустимих режимів; $\overline{\mathfrak{R}}_{\text{авар.}}(t)$ – клас аварійних недопустимих режимів.

Режим стабільний тривалий – це режим, який характеризується незмінністю топології електричної мережі $\mathbf{h}(t)$ та умовною стабільністю навантаження $\mathfrak{S}_i(t)$ на шинах підстанцій (коливання навантаження не перевищує 5%)

$$\overline{\mathfrak{R}}_{\text{стаб.}}(t): \mathbf{h}(t) = \text{idem} \quad \& \quad \mathfrak{S}_i(t) \equiv \text{idem},$$

де $\frac{|S_i(t_n) - S_i(t_{n+k \cdot \Delta t})|}{S_i(t_n)} \leq 0,05 \rightarrow S_i(t) = \sqrt{P_i^2(t) + Q_i^2(t)} \equiv \text{idem}; \quad \forall i = \overline{1, q}; \quad q$ – кількість вузлів

електричної мережі, яка належить до компетенції відповідного диспетчера, який здійснює ведення

режиму; $P_i(t) = \text{Re}(\mathcal{S}_i(t))$; $Q_i(t) = \text{Im}(\mathcal{S}_i(t))$; $\forall i = \overline{1, q}$ – плинні значення активних та реактивних потужностей навантаження на шинах підстанцій.

Режим нормальний прогнозований – це режим, який характеризується запланованою зміною топології електричної мережі $\mathbf{h}(t)$ лише в наперед визначені моменти часу $t \in \mathbf{t}$ (наприклад, розмикання контуру тощо) і відхиленням навантаження $\mathcal{S}_i(t)$ на шинах підстанцій в межах $\pm 5\%$ по відносно прогнозованих значень $\tilde{\mathcal{S}}_i(t)$

$$\bar{\mathcal{R}}_{\text{прозн.}}(t): \mathbf{h}(t) \equiv idem \quad \& \quad \left\{ \begin{array}{l} -0,05 < \frac{\tilde{P}_i(t) - P_i(t)}{P_i(t)} < 0,05 \\ -0,05 < \frac{\tilde{Q}_i(t) - Q_i(t)}{Q_i(t)} < 0,05 \end{array} \right\},$$

де $\tilde{P}_i(t) = \text{Re}(\tilde{\mathcal{S}}_i(t))$; $\tilde{Q}_i(t) = \text{Im}(\tilde{\mathcal{S}}_i(t))$; $\forall i = \overline{1, q}$ – прогнозовані значення активних та реактивних потужностей навантаження на шинах підстанцій.

Режим ремонтний плановий – це режим, який характеризується запланованою зміною топології електричної мережі $\mathbf{h}(t)$ внаслідок необхідності виводу обладнання (елемент e_{n1}) в ремонт чи (і) вводу обладнання (елемент e_{n2}) в експлуатацію в наперед визначені моменти часу $t_{m1}, t_{m2} \in \mathbf{t}$ ($t_{m1} = t_{m2} = t_m \in \mathbf{t}$ – у разі одночасного виводу одного елемента та вводу іншого), а також відхиленням навантаження $\mathcal{S}_i(t)$ на шинах підстанцій в межах $\pm 5\%$ по відношенню до прогнозованих значень $\tilde{\mathcal{S}}_i(t)$

$$\bar{\mathcal{R}}_{\text{рем.}}(t): \left\{ \begin{array}{l} \{e_{n1 \in N}\} = 1, \{e_{n1 \in N}\} \in \mathbf{h}(t_{m1}) \rightarrow \{e_{n1 \in N}\} = 0, \{e_{n1 \in N}\} \in \mathbf{h}(t_{m+1}) \\ \quad \wedge (\vee) \\ \{e_{n2 \in N}\} = 0, \{e_{n2 \in N}\} \in \mathbf{h}(t_{m2}) \rightarrow \{e_{n2 \in N}\} = 1, \{e_{n2 \in N}\} \in \mathbf{h}(t_{m+1}) \end{array} \right\} \\ \& \\ \left\{ \begin{array}{l} -0,05 < \frac{\tilde{P}_i(t) - P_i(t)}{P_i(t)} < 0,05 \\ -0,05 < \frac{\tilde{Q}_i(t) - Q_i(t)}{Q_i(t)} < 0,05 \end{array} \right\}.$$

Режим обтяжений – це режим, який характеризується запланованою зміною топології електричної мережі $\mathbf{h}(t)$ і стрімким зростанням перетоків потужності $\mathcal{S}_{n \in N}(t)$ до допустимих значень внаслідок раптового зростання навантаження на шинах підстанцій $\mathcal{S}_i(t)$ (це може бути зумовлено нештатними ситуаціями в спостережуваній чи сусідній електричних мережах)

$$\bar{\mathcal{R}}_{\text{обм.}}(t): \mathbf{h}(t) \equiv idem \quad \& \quad \mathcal{S}_i(t): \left\{ \begin{array}{l} \mathcal{S}_i(t_m \in \mathbf{t}) = \mathcal{S}_i(t_{m-1} \in \mathbf{t}) + \Delta \mathcal{S}_i(t) \\ \quad \wedge \\ \Delta \mathcal{S}_i(t = t_{m-2}) < \Delta \mathcal{S}_i(t = t_{m-1}) < \Delta \mathcal{S}_i(t = t_m) \end{array} \right\} \rightarrow$$

$$\rightarrow \mathcal{S}_{n \in N}(t_{m-2}) < \mathcal{S}_{n \in N}(t_{m-1}) < \mathcal{S}_{n \in N}(t_m) \rightarrow \mathcal{S}_{n \in N}(t) \rightarrow I_{n \in N}(t) \approx I_{n \in N}^{\text{дон.}}$$

де $\Delta \mathcal{S}_i(t)$ – приріст потужності навантаження на шинах підстанцій за проміжок часу $(t_{m-1} - t_m)$;

$I_{n \in N}(t_m) = S_{n \in N}(t_m) / (\sqrt{3} \cdot U_{n \in N}(t_m))$ – значення струму, в момент часу t_m , що протікає через елемент n ; $I_{n \in N}^{\text{дон.}}$ – допустиме значення струму елемента n .

Режим аварійний технічно допустимий – це режим, який характеризується непередбаченими від'єднаннями елементів, що призводять до зміни топології електричної мережі $\mathbf{h}(t)$, а також змінами перетоків потужності $\mathcal{S}_{n \in N}(t)$ в межах допустимих значень

$$\overline{\mathcal{R}}_{don.}(t): (\{e_{n1 \in N}\}=1, \{e_{n1 \in N}\} \in \mathbf{h}(t_{m-1}) \rightarrow \{e_{n1 \in N}\}=0, \{e_{n1 \in N}\} \in \mathbf{h}(t_m))$$

&

$$\mathcal{S}_i(t): \mathcal{S}_i(t_m \in t) = \mathcal{S}_i(t_{m-1} \in t) \pm \Delta \mathcal{S}_i(t) \rightarrow \mathcal{S}_{n \in N}(t = t_m) \rightarrow I_{n \in N}(t) < I_{n \in N}^{don.}$$

Режим аварійний недопустимий (аварія) – це режим, який характеризується непередбаченими від'єднаннями елементів, що призводить до зміни топології електричної мережі $\mathbf{h}(t)$, а також змінами перетоків потужності $\mathcal{S}_{n \in N}(t)$ в недопустимих межах, що може призвести до виникнення лавини від'єднань

$$\mathcal{R}_{авар.}(t): (\{e_{n1 \in N}\}=1, \{e_{n1 \in N}\} \in \mathbf{h}(t_{m-1}) \rightarrow \{e_{n1 \in N}\}=0, \{e_{n1 \in N}\} \in \mathbf{h}(t_m)) \rightarrow$$

$$\rightarrow (\{e_{n2 \in N}\}=1, \{e_{n2 \in N}\} \in \mathbf{h}(t_{m-1}) \rightarrow \{e_{n2 \in N}\}=0, \{e_{n2 \in N}\} \in \mathbf{h}(t_m)) \rightarrow \mathbf{L})$$

&

$$\mathcal{S}_i(t): \mathcal{S}_i(t_m \in t) = \mathcal{S}_i(t_{m-1} \in t) \pm \Delta \mathcal{S}_i(t) \rightarrow \mathcal{S}_{n \in N}(t = t_m) \rightarrow I_{n \in N}(t) > I_{n \in N}^{don.}$$

Висновки

Запропоновано новий підхід до класифікації режимів електричних мереж на основі критеріїв оперативного аналізу динаміки зміни параметрів режиму та конфігурації електричної мережі.

Розроблено методику класифікації режимів електричних мереж, враховуючи вимоги, які ставляться до системи підтримки прийняття рішення та виконання завдань оперативно-диспетчерського керування в масштабі реального часу.

1. Буткевич А.Ф. Принципы автоматизации оперативно-диспетчерского управления территориально-распределенными электроэнергетическими объектами // Автоматизация и релейная защита в энергосистемах. – К.: Ин-т электродинамики НАН Украины, 1998. – С. 45–50.
2. Стогний Б.С., Буткевич А.Ф., Кириленко А.В., Левитский В.Г. Гибридикация расчетных и экспертных систем как способ совершенствования технологий управления в электроэнергетике // Техн. электродинамика. – 1993.– № 3. – С. 55–58.
3. Стогний Б.С., Буткевич А.Ф., Зорин Е.В., Левколюк А.В., Чижевский В.В. Проблемно-ориентированный мониторинг режимов энергообъединения // Техн. электродинамика. – 2008.– № 6. – С. 52–60.
4. Кириленко О.В., Буткевич О.Ф., Лук'яненко Л.М., Парус Є.В. Системи підтримки прийняття рішень оперативним персоналом електроенергетичних об'єктів електроенергетики // Техн. электродинамика. – 2008.– № 3. – С. 59–66.
5. Перхач В.С., Данилюк А.В. Определение компонентов цифровой модели анализа установившихся режимов электроэнергетических систем и их объединений с вентильными устройствами в методе баланса мощностей // Электрические сети и системы: Респ. межвед. научн.-техн. сб. – Львов: Вища шк.. – Вып. 17. – 1981. – С. 22–34.
6. Данилюк О.В. Математична модель динамічної оптимізації усталених плинних режимів електроенергетичних систем // Електроенергетичні та електромеханічні системи // Вісник держ. ун-тету «Львівська політехніка». – Львів, 1997. – № 340. – С. 28–32.