

АНАЛІЗ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ТА ЕНЕРГООБ'ЄДНАНЬ

Обабко В.С., студент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. Надійність електроенергетичних систем (ЕЕС) як єдиного об'єкта функціонування визначають їх основні структурні підсистеми – генеруюча частина і системоутворююча мережа, а також підсистеми управління режимами та ресурсного забезпечення. Поняття надійності функціонування ЕЕС можна поділити на дві складові – балансову та оперативну. Оперативна надійність характеризує можливість ЕЕС протидіяти раптовим обуренням та аварійним ситуаціям. Аналіз аварійних ситуацій – це комп'ютерне моделювання аварій із переліку аварійних ситуацій. Балансовою, в свою чергу, є здатність ЕЕС постійно підтримувати баланс активної потужності та забезпечувати видачу потужності, необхідної споживачам, з урахуванням можливих відключень елементів ЕЕС.

Мета роботи. Визначити послідовність та проаналізувати результати розрахунку балансової надійності електроенергетичних систем та енергооб'єднань.

Матеріали дослідження. В першу чергу потрібно зазначити, що являє собою балансова надійність. Балансова надійність – це здатність енергосистеми забезпечувати сумарний попит на електричну енергію нормативної якості споживачів у кожний момент часу з урахуванням планових та очікуваних позапланових відключень елементів енергосистеми і обмежень на поставки енергоносіїв. Балансування енергосистеми – це процес постійного підтримання, із заданою точністю, відповідності між сумарним споживанням електричної енергії, яке враховує втрати на її виробництво і передачу, а також експортом електричної енергії, з одного боку, та обсягом виробництва електричної енергії на електростанціях ОЕС України та її імпорту – з іншою [1]. Аналіз балансової надійності ЕЕС в загальному випадку передбачає врахування системи генерування потужності, системоутвірної мережі та характеристик навантаження [2].

Балансову надійність ЕЕС оцінюють рядом показників [3-5], до яких, також належать:

- імовірність p_n непокриття навантаження системи або очікувана в році кількість діб n_n непокритого навантаження;
- імовірність p_n стану відмови системи та середній параметр потоку відмов Z_c ;
- усереднений за розрахунковий період T дефіцит потужності P та недовідпущена споживачам електроенергія W_n ;
- виявлення номенклатури складальних одиниць, що обмежують надійність об'єкта в цілому;
- вибору виду і обсягу резервування складових частин;
- розробки заходів щодо підвищення надійності об'єктів;

- обґрунтування гарантійних чи призначених термінів служби об'єкта.

Розрахунки показників балансової надійності виконують аналітичними методами на рівні випадкових подій та процесів або методами статистичного моделювання.

Змоделюємо систему генерування потужності ЕЕС у вигляді діаграми простору її станів, робоча потужність системи в кожному з яких різна.

Отримана модель системи генерування потужності з чотирма однаковими агрегатами показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Діаграма об'єднаних станів системи генерування потужності

Робоча потужність системи у її m -му стані, коли m однакових агрегатів з загальної кількості n відмовили, складає

$$P_{cm} = (n - m) \cdot P_{ном}, \quad (1)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність одного агрегату.

Імовірність p_m m -го стану розраховується за формулою біноміального розподілу

$$p_m = C_n^m \cdot q^m \cdot p^{n-m}, \quad (2)$$

де p, q – імовірності робочого та неробочого стану агрегату відповідно.

Інтенсивності переходів з m -го стану в стан $m-1$ більшої робочої потужності λ_{m+} та у стан $m+1$ меншої робочої потужності дорівнюють

$$\lambda_{m+} = m \cdot \lambda_B; \lambda_{m-} = (n - m) \cdot \lambda, \quad (3)$$

де λ, λ_B , – інтенсивності відмови та відновлення агрегату відповідно.

Параметр потоку (частоту) виникнення m -го стану знаходять так:

$$Z_m = p_m \cdot (\lambda_{m+} + \lambda_{m-}) = p_m \cdot (m \cdot \lambda_B - m \cdot \lambda + n \cdot \lambda). \quad (4)$$

У випадку якщо агрегати генерувальної частини є різні, необхідно сформулювати діаграму простору всіх елементарних станів і для кожного з їх встановити робочу потужність та ймовірність виникнення. Робоча потужність системи в елементарному стані $P_{c.e}$ дорівнює сумі номінальних потужностей агрегатів, які у цьому стані системи працюють.

Імовірності елементарних станів обчислюють за формулою:

$$p_e = \prod_{i=1}^m q_i \cdot \prod_{i=m+1}^n p_i, \quad (5)$$

Інтенсивність переходів між об'єднаним та елементарними станами та між двома об'єднаними визначають за формулами:

$$\lambda_{ij} = \sum_{j \in J} \lambda_{ij}; \quad \lambda_{ji} = \sum_{j \in J} p_j \cdot \lambda_{ji} / \sum_{j \in J} p_j, \quad (6)$$

Параметр потоку (частоту) виникнення s -го після заміни індексу i на індекс s визначають як

$$Z_s = p_s \sum_{j \neq s} \lambda_{sj}. \quad (7)$$

Спрощена методика визначення балансової надійності. В умовах функціонування ринку електричної енергії визначення балансової надійності ЕЕС набуває певних особливості та дещо ускладнюється. Це обумовлено зокрема зміною алгоритму визначення складу та потужності певної частини джерел генерації, а також складу джерел потужності для балансування [6]. Спрощена методика дозволяє за значенням ймовірності з p_c відмови системи оцінити, наприклад, значення ймовірності p_H непокриття навантаження. Ймовірність стану відмови системи p_c - це відносний час, протягом якого система перебуває у стані відмови, тобто не може забезпечити покриття навантаження. Фактично p_c і p_H - це однакові величини, але оскільки для їх розрахунку використовують різні форми подання навантажень, то й числові значення виявляються різними. Величину p_H визначають з урахуванням того, що у разі непокриття навантаження на довільному інтервалі часу протягом доби усю цю добу автоматично зараховуються до тимчасових інтервали, протягом яких навантаження вважається непокритою.

Під час аналізу балансової надійності ЕЕС навантаження задають характеристиками випадкової величини або випадкового процесу. У першому випадку її представляють у вигляді гістограми відносних частот навантаження (рис. 2, а) або вигляді графіка навантаження за тривалістю (рис. 2, б).

Відносна частота p_H^* - відсоток навантаження, значення якого потрапо в заданий інтервал. Це дає змогу визначити ймовірність середнього для i -го інтервалу дискретного значення навантаження P_{Hi} як:

$$p(P_{Hi}) = p_{Hi}^*/100. \quad (8)$$

За допомогою графіка навантаження по тривалості можна визначити ймовірність перевищення заданого значення потужності навантаження

$$p(P_H > P_{Hi}) = t_{Hi}^*/100. \quad (9)$$

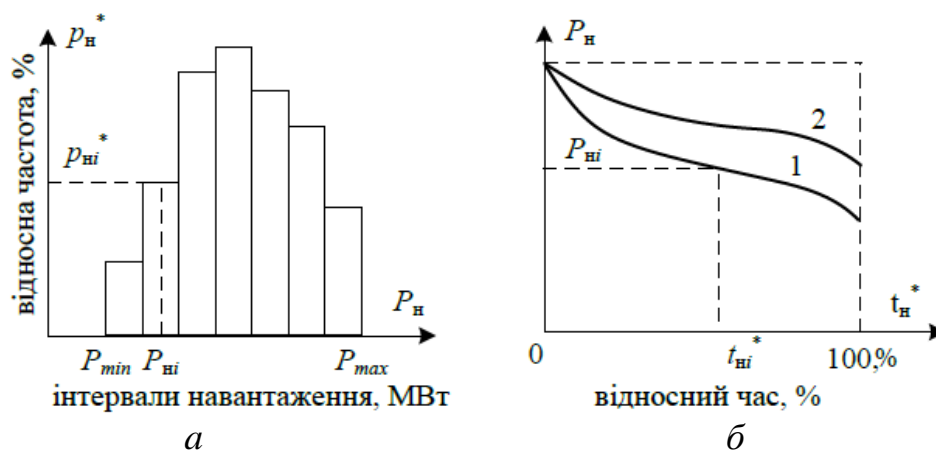


Рисунок 2 – Гістограма відносних частот навантаження (а) та графік його нагромаджених значень (б)

Можна наведені графіки будувати за годинними (крива 1) або максимальними добовими значеннями (крива 2). Годинні значення навантажень, зокрема його добові максимуми, можна отримати з добових відомостей диспетчерських центрів, де фіксується навантаження щогодинно.

Висновки: Аналіз балансової надійності ЕЕС надає можливість точніше визначати необхідні запаси потужності за будь-яких умов при експлуатації мережі, що у такому випадку, дозволяє мінімізувати недовідпущення електроенергії споживачам. Використання спрощеної методики аналізу балансової надійності ЕЕС дозволить своєчасно визначити режимні порушення та підвищити надійність функціонування ЕЕС зі значною часткою відновлюваних джерел енергії.

Перелік посилань

1. Кодекс системи передачі. Електронний ресурс. Режим доступу: https://metinvestholding.com/Content/CmsFile/ua/assets_Postanova-NKREKP-309-Kodeks-system-peredachi.pdf
2. Підручник Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/21488>
3. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Електронний ресурс. Режим доступу: https://dnaop.com/html/2273/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_2860-94
4. ДСТУ 2862-94. Методи розрахунку показників надійності техніки. Загальні вимоги. Електронний ресурс. Режим доступу: https://dnaop.com/html/62036/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_2862-94
5. ДСТУ 2864-94. Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Електронний ресурс. Режим доступу: https://dnaop.com/html/43856/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_2864-94
6. Моделі організації ринків електричної енергії. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/19019/1/Modeli%20OPE.pdf>