

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ПРИ ВІДМОВАХ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Барабаш О.В., Костерев М.В., д.т.н., проф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Сучасний стан електроенергетичної системи (ЕЕС) України та її підсистем характеризується високою зношеністю електрообладнання, яка досягає 70 – 80 %, збільшення кількості обладнання з відпрацьованим ресурсом, темпи якого сягають 2 – 6 % на рік, напруженим режимом використання зношеного електрообладнання та слабкими тенденціями до його заміни та модернізації. Це призводить до збільшення кількості технологічних порушень та відмов електрообладнання. Наслідком відмов обладнання є розвиток в ЕЕС аварійних ситуацій, які можуть призвести до повного погашення ЕЕС, порушення статичної та динамічної стійкості, порушення технологічних процесів підприємств-споживачів зі значними економічними та матеріальними збитками. Заміна та модернізація обладнання, які спроможні підвищити надійність електропостачання споживачів, вимагають значних інвестицій і є тривалими у часі. Забезпечення надійної роботи ЕЕС та її підсистем є однією з важливих задач в умовах формування нових ринкових відносин в електроенергетиці.

Для підвищення надійності роботи ЕЕС необхідно знати які її вузли або підсистеми є найбільш слабкими, щоб мати можливість виконати ефективні превентивні дії для підвищення надійності слабких підсистем та всієї ЕЕС в цілому. Світові тенденції розвитку методів і засобів забезпечення надійної роботи ЕЕС свідчать про зростання ролі ризик-менеджменту (Risk-Based Asset Management) при прийнятті достовірних рішень для превентивного управління. Застосування стратегії ризик-менеджменту при керуванні ЕЕС вимагає визначення ризику як інтегрального показника функціонування ЕЕС який дає можливість враховувати перераховані фактори і, таким чином, найбільш повно та достовірно характеризувати стан ЕЕС та її підсистем на відміну від детермінованого підходу.

Необхідність прийняття достовірних рішень та визначення превентивних дій для підвищення надійності роботи ЕЕС вимагає комплексного підходу, який би об'єктивно враховував такі фактори як: випадковість відмов електрообладнання, стохастичний характер режиму ЕЕС та її підсистем на відміну від детермінованого підходу.

Пошук оптимальних управлінських рішень за такої кількості негативних чинників і невизначеностей полягає у сфері оцінювання ризиків. В разі необхідності виконати прогностичну оцінку ризику виникнення аварії на інтервалі часу доцільним є імовірнісний підхід.

Мета роботи. Метою роботи являється моделювання підсистем енергосистеми з асинхронними двигунами (власні потреби електростанції) для визначення величини ризику виникнення аварійної ситуації в підсистемі.

Матеріали і результати досліджень. Розглянемо математичну модель асинхронної машини, в якій не враховуються електромагнітні перехідні процеси в обмотках статора і активний опір [1 - 5]:

$$\begin{aligned}
 U_d &= e'_d - x'_s I_q \\
 U_q &= e'_q + x'_s I_d \\
 de'_d / dt &= -1/T_d \cdot e'_q - \omega \cdot s \cdot e'_d + N/T_d \cdot I_d \\
 de'_q / dt &= -1/T_d \cdot e'_d + \omega \cdot s \cdot e'_q - N/T_d \cdot I_d \\
 ds / dt &= 1 / T_j [m_c - (e'_q \cdot I_q + e'_d \cdot I_d)] \\
 N &= x_s - x'_s,
 \end{aligned}$$

де x_s – синхронний опір (в.о), x'_s – перехідний опір (в.о), U_d, U_q – складові напруги по повздовжніх і поперечних осях відповідно (в.о), I_d, I_q – складові струму статора по повздовжній осі відповідно (в.о), m_c – момент опору механізму (в.о), s – ковзання двигуна (в.о), T_d – постійна часу обмотки ротора (сек), T_j – постійна інерції ротора (сек), e'_q, e'_d – перехідні ЕРС по повздовжнім і поперечним осям (в.о), t – час (сек.)

Порушення стійкості АД залежить не тільки від напруги, але і від зовнішнього опору x_p , який змінюється при відмові електрообладнання. Відомо, що максимальна потужність асинхронного двигуна, перевищення якої приводить до порушення її стійкості, наближено може бути визначена з співвідношення.

$$P_{\max} = U^2 / 2(x_p + x_\varepsilon),$$

де x_p – зовнішній опір, між шинами двигуна і вузлом ЕЕС, x_ε – сумарний опір розсіювання обмоток статора і ротора.

Приймемо, що спожита двигуном активна P є незмінною при заданій продуктивності механізму. При збільшенні x_p і зменшенні U максимальна потужність стає рівній робочій потужності P .

$$P = P_{\max} = U^2 / 2(x_p + x_\varepsilon),$$

або

$$2P (x_p + x_\varepsilon) = U^2$$

Подальше збільшення x_p чи зменшення напруги приводить до порушення стійкості двигуна.

Якщо права частина рівняння стає менше робочої потужності двигуна, то відбудеться порушення стійкості двигуна. Іншими словами, необхідна механізмом потужність не може бути забезпечена двигуном. Тобто для стійкості роботи двигуна необхідно виконання нерівності:

$$P = P_{\max} < U^2 / 2(x_p + x_\epsilon)$$

Звідси слідує спрощений критерій стійкості асинхронного двигуна:

$$U^2 / 2(x_p + x_\epsilon) > 2P - \text{стійкий}$$

Визначення ризику виникнення аварійних ситуацій. Для урахування неточності завдання вихідної інформації використовується метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло), у відповідність з яким параметри схеми заміщення змінюються в межах $\pm 20\%$. $x_{p+1} = x_p + \Delta x \cdot \epsilon$, де ϵ – випадкове число, отримане через генератор випадкових чисел з діапазону $-1 + 1$.

З використанням випадково отриманих значень параметрів підсистеми і визначиться стійкість АД.

Отже ймовірність порушення стійкості асинхронного двигуна дорівнює:

$$P_{a.v} = n / N$$

де n – кількість розрахунків де була порушена стійкість асинхронного двигуна, N – загальна кількість розрахунків.

Надалі ризик виникнення аварійної ситуації знаходиться за формулою

$$R = P_{a.v} \cdot P_{\text{відмови}}$$

де $P_{a.v}$ – ймовірність порушення стійкості двигуна, $P_{\text{відмови}}$ – ймовірність відмови електрообладнання.

Висновки. В умовах реально існуючої ймовірності відмови електрообладнання підсистем ЕЕС розглянуто моделювання підсистем ЕЕС для виявлення ризику виникнення аварійної ситуації при відмовах електрообладнання. Це дає можливість приймати більш правильні превентивні заходи при вирішенні експлуатаційних завдань, пов'язаних з підвищенням надійності роботи підсистем ЕЕС.

Перелік посилань

1. Костерев М. В. Моделирование и динамика атомных электростанций при возмущениях в энергосистеме. – К.: Вища школа, 1986. – 168с.
2. Костерев М. В. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем / М. В. Костерев, Є. І. Бардик. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 148 с.
3. Гуревич Ю. Е., Либова Л. Е., Хачатрян Э. А., Устойчивость нагрузки электрических систем. – М.: Энергоиздат, 1981. – 208с.
4. Маркович Н. М. Режимы энергетических систем. – М.: Энергия, 1969. – 352с
5. Сыроматников И. А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей / И. А. Сыроматников. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 527 с.