МОДЕЛЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ПІДСИСТЕМ ЕЕС З СИНХРОННИМИ МАШИНАМИ

Костерєв М.В., д.т.н., проф., Жидик Д.М., магістрант, Школенко А.В. магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Надійність роботи ЕЕС України значною мірою залежить від пошкоджуваності силового та комутаційного обладнання, яка визначається його технічним станом. Надійність роботи та технічний стан електрообладнання ЕЕС безпосередньо пов'язані з тривалістю експлуатації силового та комутаційного обладнання, під час якого останнє піддається процесам фізичного та морального старіння та зовнішнім впливам (метеорологічні умови, анормальні режими у ЕЕС, людський фактор, тощо). Ці фактори призводять до зростання кількості відмов електрообладнання в процесі експлуатації [1].

Аналіз відмов обладнання ЕЕС України за останні роки показав таке розподілення пошкоджуваності обладнання різних типів[4]:

- лінії електропередачі (ЛЕП) – 22 %;
- трансформатори та автотрансформатори – 9 %;
- високовольтні вимикачі – 21 %;
- турбо- та гідрогенератори – 12 %;
- релейний захист і автоматика (РЗА) – 26 %.
- інше обладнання – 10 %.

Результати статистичного аналізу свідчать про те, що 43 % відмов та спричинених ними аварійних ситуацій є наслідком пошкодження силового обладнання ЕЕС (генератори, трансформатори, ЛЕП), 47 % - через пошкодження комутаційного обладнання та РЗА. Причиною цього є значне зношення парку обладнання перерахованих вище типів та слабкі тенденції до його заміни та модернізації [2].

Статистичні дані підтверджують те, що функціонування електрообладнання ЕЕС України характеризуються напруженим режимом роботи в умовах, коли великий відсоток силового та комутаційного обладнання відпрацював свій ресурс і цей відсоток продовжує зростати. В цих умовах значно збільшується імовірність порушення стійкості синхронних двигунів і генераторів [3].

Мета роботи. Метою роботи являється моделювання синхронного двигуна та синхронного генератора для оцінки ризику порушення статичної стійкості при відмовах електрообладнання в умовах нечіткої інформації.

Матеріали і результати досліджень. Розглянемо лінеаризовану математичну модель синхронної машини без урахування електромагнітних перехідних процесів статора і активного опору [7]:

$$d\Delta e`_q/dt = -1/T`_d \cdot \Delta e`_q - C_1 \sin\delta_0 \Delta\delta + 0\Delta s \qquad (1.1)$$

$$d\Delta\delta/dt = 0\Delta e`_q + 0\Delta\delta + \Delta s \quad (1.2)$$

$$d\Delta s/dt = - C_2 \sin\delta_0 \Delta e`_q - C_2 e`_{q0} \cos\delta_0 \Delta\delta - C_4 \Delta s \quad (1.3)$$

де : $C_1 = (x_d - x`_d)U/T_{f0}x`_d$ (1.4)

$C_2 = U/T_{f0}x`_d$ (1.5)

$C_4 = U^2(x_d - x`_d)T`_d/ T_j x_d x`_d$ (1.6)

$e`_q$ – перехідна Е.Р.С. по поперечній осі,

s – ковзання ротора,

T_{f0} – постійна часу обмотки збудження

$T`_d$ – перехідна стала часу обмотки збудження

δ – кут між Е.Р.С. синхронної машини і напругою статора.

Визначення ризику виникнення аварійних ситуацій. Для урахування неточності завдання вихідної інформації використовується метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло)[9], у відповідність з яким параметри схеми заміщення змінюються в межах ∓20 %. $xp+1 = xp + \Delta x \cdot \varepsilon$, де ε – випадкове число, отримане через генератор випадкових чисел з діапазону -1 + 1.

З використанням випадково отриманих значень параметрів підсистеми і визначається стійкість СГ [5].

Отже ймовірність порушення стійкості синхронного двигуна дорівнює:

$$P_{а.в} = \frac{n}{N} \quad (1.7)$$

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

Надалі ризик виникнення аварійної ситуації знаходиться за формулою

$$R = P_{а.в} \cdot P_{відмови} \quad (1.8)$$

де, $P_{а.в}$ – ймовірність порушення стійкості двигуна ,

$P_{відмови}$ – ймовірність відмови електрообладнання [8].

Перевірка синхронної машини на стійкість за допомогою граничної потужності:

$$P_{пр} = E_e E_q/(x_p + x_q) \quad (1.9)$$

Якщо $P_{пр} > P_0$ – режим синхронної машини стійкий,

Якщо $P_{пр} < P_0$ – режим синхронної машини нестійкий.[6]

На основі проведених розрахунків при відмові ЛЕП порушення стійкості СГ не спостерігається, тобто:

$$P_{а.в} = \frac{0}{20} = 0, \qquad (1.10)$$

Тоді з формули (1.8) знаходимо ризик порушення стійкості при відмові однієї лінії:

$$R = P_{\text{ав}} \cdot P_{\text{відмови}} = 0 \cdot 0.0035 = 0$$

де, $P_{відмови} = 0.0035$.

Висновки. В умовах реально існуючої нечіткої інформації щодо параметрів елементів енергосистеми розглянуто моделювання синхронних двигунів та генераторів для визначення ризику порушення статичної стійкості синхронних машин при відмовах електрообладнання. Це дає можливість приймати більш правильні превентивні заходи при вирішенні завдань, пов`язаних з підвищенням надійності.

Перелік посилань

1. Костерев Н.В. Моделирование и динамика атомних электростанций при возмущениях в энергосистеме. – К.: Вища школа, 1986. - 168 с.
2. Костерєв М.В. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об’єктів електричних систем / М.В. Костерєв, 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. Гамм А.З. Обнаружение слабых мест в электроэнергетической системе./ А.З. Гамм., И.И. Голуб// Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.- 1993.- №3. – С.83-92.
5. Маркович И.М. Режимы энергетических систем .- М.: Энергия, 1969. – 352с
6. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей / И.А. Сыромятников. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 527 с.
7. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах.-М.:Энергия, 1964.- 703 с.
8. Костерєв М.В., Бардик Є.І., Літвінов В.В. Оцінка імовірності відмови електрообладнання при керуванні режимами електричної системи // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика», випуск 11 (186). – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. – С. 199-204.
9. Соболь И.М. Численные методы Монте-Карло. – М.: Наука, 1973. – 312 с