

МОДЕЛЮВАННЯ ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ЗА НАЯВНОСТІ ПРИСТРОЮ ПОВЗДОВЖНЬОЇ КОМПЕНСАЦІЇ

Костерев М.В., д.т.н., проф., Лисейко А.Б., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних станцій

Вступ. Рівень надійності електропостачання споживачів значною мірою залежить від технічного стану силового електрообладнання. Зношення основного електрообладнання енергосистем дорівнює 60-70%. Темпи зростання частки зношеного електрообладнання складають 2-6% в рік від загальної кількості. Для підтримки технічного стану електрообладнання в основному використовують систему планово-запобіжних ремонтів, які в нових економічних умовах не забезпечують прийняття найбільш оптимальних рішень внаслідок того, що вони не враховують фактичного стану обладнання, а також раціональне управління процесом експлуатації і більш повне використання ресурсу, що спричиняє збільшення частоти відмов електрообладнання і, як наслідок, призводить до підвищення ймовірності порушення стійкості енергосистеми.

Для підвищення стійкості енергосистеми застосовують пристрої повздовжньої компенсації (ППК), які являються одними з найдешевших пристроїв і широко використовуються в енергосистемах світу для підвищення пропускної здатності лінії електропередачі. Наприклад, компанія АВВ з 1950 року встановила в 17 країнах 250 пристроїв повздовжньої компенсації сумарною потужністю близько 72000 МВА. Крім основної функції – підвищення пропускної здатності – пристрої повздовжньої компенсації, при наявності керованої частини, можуть перерозподіляти перетоки потужності по зв'язках і демпфірувати електромеханічне качання роторів генераторів електростанцій. Застосування пристрою повздовжньої компенсації за кордоном розглядають як альтернативу спорудженню нових ліній, що являється вигідним із-за меншої вартості пристроїв і часу будівництва, а також проблеми вибору траси [5].

Відмова електрообладнання призводить до зміни структури ЕЕС і параметрів системи, що при певних умовах може викликати порушення статичної стійкості - самозбудження генераторів.

Аналіз літературних джерел та постановка задачі. Існуючі на даний час підходи для визначення місця установки ППК і величини ємності [4, 5] орієнтовані в основному на збільшення пропускної здатності лінії електропередачі. Однак вони не враховують реально існуючі відмови електрообладнання і можливість виникнення самозбудження генератора при відмовах електрообладнання.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи являється моделювання генератора за наявності пристроїв повздовжньої компенсації для визначення умов виникнення самозбудження генератора при відмовах електрообладнання.

Моделювання генератора за наявності пристроїв повздовжньої компенсації. Розглянемо наступну схему електричної системи:

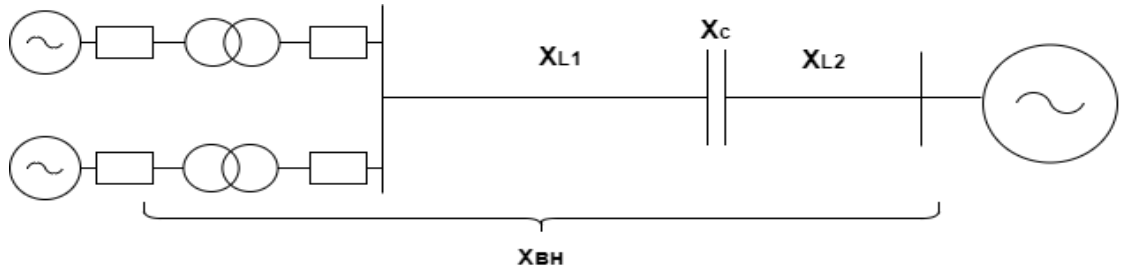


Рисунок 1 – Схема електричної системи

Математична модель генератора з урахуванням перехідних процесів в обмотці збудження має вигляд [1, 2, 3]:

$$\frac{de'_q}{dt} = \frac{1}{T_{f0}} [-e'_q + (x_d - x'_d)i_d + E_{qe}] = \frac{-1}{T'_d} e'_q + \underbrace{\frac{x_d - x'_d}{T_{f0} x'_d} U \cos \delta}_{C_1} + \frac{1}{T_{f0}} E_{qe} \quad (1)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega \delta \quad (2)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{1}{T_j} [m_T - m_s - P_d S] = \frac{1}{T_j} m_T - \underbrace{\frac{1 e'_q U}{T_j x'_d} \sin \delta}_{C_2} - \underbrace{\frac{1}{T_j} \frac{U^2}{2} \frac{x_d - x'_d}{x_d x'_d} T'_d S}_{C_4} \quad (3)$$

$$C_1 = \frac{x_d - x'_d}{T_{f0} x'_d} U \quad (4)$$

$$C_2 = \frac{1}{T_j} \frac{U}{x'_d} \quad (5)$$

$$C_4 = \frac{1}{T_j} \frac{U^2 (x_d - x'_d)}{x_d x'_d} T'_d \quad (6)$$

Лінеаризоване рівняння збуреного руху:

$$\frac{d\Delta e'_q}{dt} = -\frac{1}{T'_d} \Delta e'_q - \underbrace{C_1 \sin \delta_0}_{d_2} \Delta \delta + 0 \Delta S \quad (7)$$

$$\frac{d\Delta \delta}{dt} = 0 \Delta e'_q + 0 \Delta \delta + \omega_s \Delta S \quad (8)$$

$$\frac{d\Delta S}{dt} = -\underbrace{C_2 \sin \delta_0}_{d_4} \Delta e'_q - \underbrace{[C_2 e'_{q0} \cos \delta_0]}_{d_5} \Delta \delta - \underbrace{C_4}_{d_6} \Delta S \quad (9)$$

Введемо позначення, як вказано і складемо характеристичний визначник:

$$|A - \lambda E| = \begin{vmatrix} \overbrace{d_{11}}^{d_{11}} & d_{12} & d_{13} \\ -d_1 - \lambda & -d_2 & 0 \\ 0 & 0 - \lambda & d_3 \\ -d_4 & -d_5 & -d_6 - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (10)$$

і знайдемо характеристичне рівняння:

$$\begin{aligned} \Delta(\lambda) &= d_{11}A_{11} + d_{12}A_{12} + d_{13}A_{13} = \\ &= \lambda^3 + \underbrace{(d_6 + d_1)}_{a_1} \lambda^2 + \underbrace{(d_1d_6 - d_3d_5)}_{a_2} \lambda + \underbrace{(-d_2d_3d_4 + d_1d_3d_5)}_{a_3} = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

У відповідності з теоремою Гурвіца складемо матрицю:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}$$

Умови Гурвіца щодо стійкості генератора:

$$\Delta_1 = a_1 > 0 \quad (12)$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0 \quad (13)$$

$$\Delta_3 = a_3 \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0 \quad (14)$$

З цих співвідношень випливають умови стійкості

$$\Delta_1 = a_1 > 0 \quad (15)$$

$$\Delta_3 = a_3 \Delta_2; a_3 > 0 \quad (16)$$

$$\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0 \quad (17)$$

Перейдемо до розгляду цих умов стійкості, переходячи до вихідних коефіцієнтів:

$$(d_6 + d_1) > 0 \quad (18)$$

$$(d_1 d_3 d_5 - d_2 d_3 d_4) > 0 \quad (19)$$

$$\overbrace{(d_6 + d_1)}^{a_1} \overbrace{(d_1 d_6 - d_3 d_5)}^{a_2} - \overbrace{(d_1 d_3 d_5 - d_2 d_3 d_4)}^{a_3} > 0 \quad (20)$$

Розглянемо першу умову:

$$\Delta_1 = (d_6 + d_1) = \left(\frac{1}{T_d'} + C_4\right) = \left(\frac{1}{T_d'} + \frac{T_d'}{T_j} U^2 \frac{x_d - x_d'}{x_d x_d'}\right) > 0 \quad (21)$$

В цьому виразі завжди $T_j' > 0, U^2 > 0, (x_d - x_d') > 0$. Відповідно знак виразу буде залежати від T_d' , а T_d' може стати від'ємною величиною, при наявності пристрою повздовжньої компенсації.

Постійна часу T_d' з урахуванням зовнішнього опору дорівнює:

$$T_d' = T_{f0} \frac{x_d' + x_{ен}}{x_d + x_{ен}} \quad (22)$$

Зовнішній опір може стати від'ємною величиною, при наявності ємності. Тоді при виконанні умов:

$$|x_d'| < |x_{ен}| < |x_d| \quad (23)$$

постійна часу також стане від'ємною. Виникає при цьому явище нестійкості, яке має коливальний характер, називається самозбудженням.

У випадку підключення нового електрообладнання і генераторів може виникнути ситуація, при якій буде виконуватися згаданий вище критерій самозбудження генератора. Крім того, при збільшенні термінів експлуатації обладнання їх параметри з часом будуть змінюватись. Тому для правильного вирішення питання стійкості потрібно проводити ймовірно-статистичні розрахунки при неточно заданій вхідній інформації.

Висновок. В умовах реально існуючої імовірності відмови електрообладнання в енергосистемі, при наявності пристроїв повздовжньої компенсації, розглянуто моделювання генератора для виявлення імовірності виникнення самозбудження генератора. Це дає можливість приймати більш правильні превентивні заходи при вирішенні експлуатаційних завдань, пов'язаних з підвищенням надійності.

Перелік посилань

1. Костерев Н.В. Моделирование и динамика атомных электростанций при возмущениях в энергосистеме / Н.В. Костерев. – К.: Виц.шк., 1986. – 168 с.
2. Веников В.А. Электромеханические переходные процессы в электрических системах. – М., Госэнергоиздат, 1958. 480 с.
3. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М., Энергия, 1979. – 456 с.
4. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных электродвигателей / И.А. Сыромятников. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 527 с.
5. Пospelов Г.Е., Пospelова Т.Г. Применение управляемых гибких линий электропередач в электрических сетях энергосистем // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – 2010, №5