

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ В МЕРЕЖАХ З РОЗПОДІЛЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ

Колесніченко А.Б., к.т.н., доц, Цоновський В.С., студент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Розвиток електроенергетичних систем (ЕЕС), підвищення вимог до надійності та якості електропостачання разом зі збільшенням частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в загальному енергобалансі ЕЕС визначають необхідність подальшого удосконалення методів та засобів керування режимами ЕЕС.

Мета роботи полягає в підвищенні якості регулювання частоти електроенергетичної системи шляхом розробки математичної моделі ЕЕС з використанням перехідних режимів та розробки нових методів регулювання частоти ЕЕС.

Матеріали і результати досліджень. Розробка математичної моделі електроенергетичної системи для дослідження процесів регулювання частоти.

Сучасні ЕЕС характеризуються складністю внутрішніх процесів та нелінійною залежністю параметрів від часу. З розвитком ЕЕС динамічні процеси ускладнюються для аналізу та виявлення причинно-наслідкових зв'язків [1].

Модель ЕЕС для аналізу перехідних режимів являє собою структуру (математичну/функціональну), що детально описує особливості роботи ЕЕС на основних рівні абстрагування та забезпечує визначену точність відображення процесів взаємодії між її елементами і підсистемами [2].

Основні принципи моделювання при дослідженні режимів і стійкості ЕЕС реалізуються в двох аспектах: функціонально-структурному і математичному. Функціонально-структурний аспект включає: структурну модель для отримання чисельних оцінок головних властивостей ЕЕС; набір функціональних моделей мінімально достатнього обсягу для дослідження ЕЕС в цілому та її частин. Математичний аспект включає: графову модель потокорозподілу при оцінці головних властивостей ЕЕС; детальні математичні моделі для дослідження статичної та динамічної стійкості, тривалих перехідних процесів в системі [2].

Докладні динамічні математичні моделі ЕЕС описуються системою диференціальних та алгебраїчних рівнянь. Точність моделей елементів визначається задачами дослідження. Використання надто простих моделей збільшує похибки моделювання, в свою чергу використання складних моделей висуває значні вимоги до математичної та обчислювальної складової моделювання

При дослідженні перехідних процесів в електричних енергосистемах коректне моделювання СГ є принципово важливою задачею. Сучасні засоби розрахунку та аналізу режимів ЕЕС використовують набір математичних моделей елементів ЕЕС, що придатні як для аналізу перетоків потужності і коротких замикань так і для аналізу перехідних режимів.

В системі диференціальних рівнянь, що описують синхронний генератор, прийнято припущення, що всі магнітні потоки обмоток машини, складаються із двох незалежних складових: поздовжньої й поперечної. При цьому

електрорушійні сили, напруги та струми представлені із двох складових. Рівняння були запропоновані Р. Х. Парком та А.А. Горєвим для ідеалізованої ненасиченої електричної машини, з повною симетрією, обмоток статора й синусоїдальним розподілом сил намагнічування.

Прийняті допущення дозволяють розглядати електричну машину як комбінацію магнітозв'язаних електричних контурів (обмотки ротора, фазні обмотки статора, демпферні обмотки) [3]. Для СГ, що мають обмотку збудження, в модель включено $0..n_d$ еквівалентних короткозамкнених контурів по поздовжній осі (d) і $0..n_d$ еквівалентних короткозамкнених контурів по поперечній осі (q).

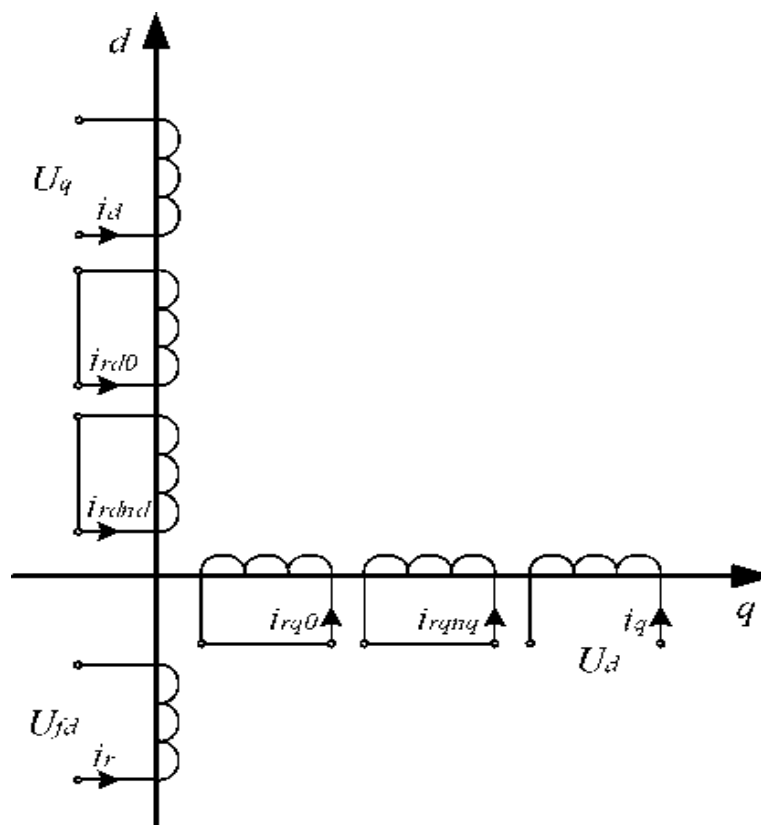


Рисунок 1 – Розміщення контурів по d - q осям

По технічному виконанню системи збудження СГ діляться на три основні типи: 1) статичні тиристорні системи незалежного збудження; 2) статичні тиристорні системи самозбудження; 3) системи збудження для генераторів з безщітковим діодним збудником. Більшість СГ випускається з системами збудження (СЗ) другого і третього типів [4].

Збільшення довжини ліній електропередач і величин електричної потужності, що по ним передається обумовило необхідність підвищення швидкодії СЗ і розробки системних стабілізаторів. У вітчизняних СЗ для цих

цілей використовується стабілізатори сильної дії з каналами регулювання по частоті напруги, похідної частоти й похідній струму збудження. У закордонних системах збудження регулювання здійснюється здебільшого по швидкості обертання ротора [5].

Система збудження синхронного генератора (рис. 2) характеризується :

- 1) номінальною напругою $U_{fном}$ і струмом збудження $I_{fном}$;
- 2) номінальною потужністю збудження $P_{fном} = U_{fном}I_{fном}$, яка становить 0,2 - 5% від номінальної потужності машини;
- 3) кратністю форсування K_f , під якою розуміють відношення найбільшої усталеної напруги U_{fmax} збудника до номінальної напруги $U_{fном}$.

Основні характеристики систем збудження, які в значній мірі визначають її вплив на перехідні процеси в енергосистемах наступні [6]:

- 1) Обмеження рівня порушення зверху і знизу по струму збудження і по напрузі збудження.
- 2) Швидкість наростання напруги збудження при форсуванні і швидкість зменшення напруги збудження при знятті збудження.
- 3) Вплив автоматичного регулювання збудження на демпфування електромеханічних коливань (включаючи усунення можливого порушення коливної стійкості).

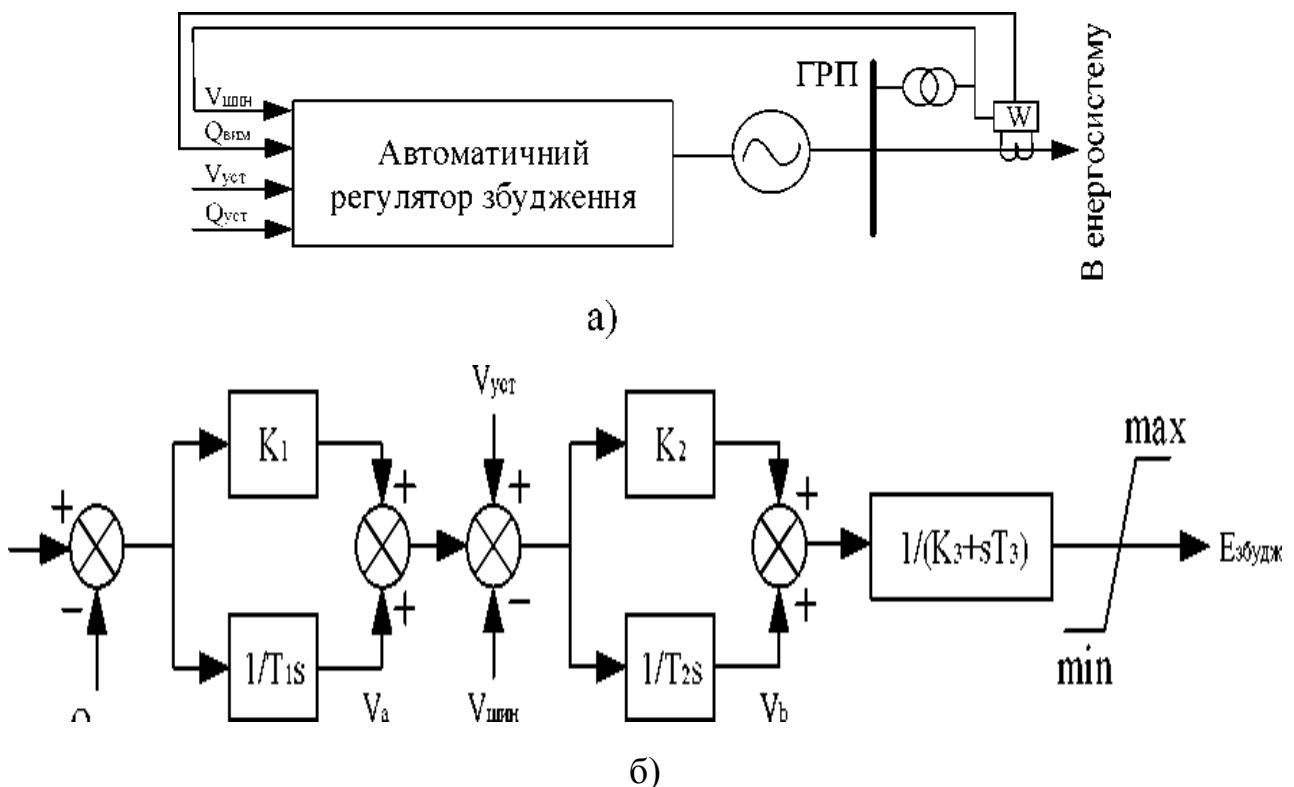


Рисунок 2 – Функціональна схема регулювання збудження синхронного генератора (а); модель автоматичного регулятора збудження (б).

На рис. 2 прийняті наступні позначення: K_1, K_2, K_3 , - коефіцієнти підсилення АРЗ; T_1, T_2, T_3 - постійні часу АРЗ; $Q_{уст}$, $V_{уст}$ - уставки по реактивній потужності та напрузі відповідно; $Q_{вим}$, $V_{шнн}$ - дані вимірів реактивної

потужності та напруги на шинах приєднання генератора; $E_{збудж}$ - напруга збудження генератора.

Відповідно до рис. 2 (б), математична модель системи автоматичного регулятора збудження має вигляд (1-3):

$$\frac{dV_a}{dt} = \frac{Q_{уст} - Q_{вим}}{T_1} \quad (1)$$

$$\frac{dV_b}{dt} = \frac{V_{уст} - V_{шин} + V_a + K_1(Q_{уст} - Q_{вим})}{T_2} \quad (2)$$

$$\frac{dE_{збудж}}{dt} = \frac{V_b - K_3 E_{збудж} + K_2(V_{уст} - V_{шин} + V_a + K_1(Q_{уст} - Q_{вим}))}{T_3} \quad (3)$$

Висновки. Сучасні засоби розрахунку та аналізу режимів ЕЕС використовують набір математичних моделей елементів ЕЕС, що придатні як для аналізу перетоків потужності і коротких замикань так і для аналізу перехідних режимів.

Перелік посилань

1. Электрические системы. Кибернетика электрических систем под ред. Веникова В.А. – М: Изд-во «Высшая школа», 1974 – 328 с..
2. Построение интеллектуальной электрической сети для передающих и распределительных энергокомпаний / IBM Business Consulting Services. М., 2005.– 19 с.
3. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Уч. пособие для вузов// 4-е изд., перераб. и доп.// М.: Энергоатомиздат, 1989, 608 е., ил4. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок / Ю.Б. Гук. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр.отд-ие, 1988. – 244 с.
5. Яндутьський О.С. Особливості аналізу режимів електроенергетичних систем з вітровими електричними станціями / О.С. Яндутьський, П.Л. Денисюк, С.О. Яндутьський. // Наукові праці Донецького національного університету. – 2011. – №11(186). – С. 464–465
6. Кириленко О.В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / О.В. Кириленко, В.В.Павловський, Л.М.Лук'яненко // Технічна електродинаміка. – 2011. – №1. – С. 46–53.