

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Паламарчук В.Л., магістрант, Болотний М.П., к.т.н., ст. викл.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. В даний час в енергосистемі України відбувається активна модернізація систем збудження генераторів. У зв'язку з цим виникає задача вибору нових налаштувань регуляторів збудження різного типу, що забезпечують ефективне демпфірування електромеханічних коливань. Модернізація обумовлена як фізичним зношенням, так і моральним старінням обладнання систем збудження.

Постановка задачі. Система автоматичного регулювання збудження є основною системою, що підтримує стійкість роботи енергосистеми. До систем збудження синхронних генераторів висуваються наступні вимоги:

- 1) надійне живлення обмотки збудження в нормальних і аварійних режимах;
- 2) регулювання напруги збудження в достатніх межах;
- 3) швидкодіюче регулювання збудження з високими кратностями форсування в аварійних режимах;
- 4) гасіння поля в аварійних режимах.

Для збільшення швидкодії систем збудження регулятори збудження попередніх поколінь замінюються сучасними цифровими регуляторами збудження на базі мікропроцесорної техніки. У зв'язку з цим ставиться задача вибору нових налаштувань регуляторів збудження. Налаштування автоматичного регулювання збудження (АРЗ) повинні забезпечувати демпфірування електромеханічних коливань, що виникають при різних експлуатаційних режимах і аварійних збуреннях в електроенергетичній системі.

Таким чином, існує тенденція до ускладнення моделей електроенергетичної системи, що призводить до труднощів, а іноді, і до неможливості використання стандартних засобів оптимізації динамічних систем.

У загальному випадку задача оптимального налаштування параметрів АРЗ синхронного генератора є багатопараметричною. Можливості сучасної обчислювальної техніки істотно розширюють спектр методів оптимізації та імітаційного моделювання елементів електроенергетичної системи [1, 2].

Для налаштування регуляторів раніше використовувалися класичні методи, в яких складалася цільова функція для оптимізації якості функціонування АРЗ синхронного генератора, що працює в різних схемно-режимних ситуаціях [4, 5]. Дана методика полягає в послідовному виборі значень коефіцієнтів робочого каналу автоматичного регулятора напруги, а також каналів внутрішньої і зовнішньої стабілізації системного стабілізатора PSS за умови зниження електромеханічних коливань на кожному етапі вибору параметрів.

До відомих методів складання цільових функцій також відносяться методи, що засновані на кореневих і частотних критерії оцінки якості регулювання [4, 5].

Метою роботи є моделювання режиму роботи та оцінка якості налаштування параметрів автоматичного регулювання збудження синхронного генератора електростанції.

Матеріали і результати досліджень. Під найкращою якістю перехідного процесу розуміється мінімум його тривалості, мінімум перерегулювання і максимум коефіцієнта демпфірування. При об'єднанні в єдину функцію даних характеристик формується числова характеристика для оцінки якості перехідного процесу [4]. Точка в площині параметрів АРЗ, що відповідає мінімальному значенню цієї характеристики, визначає оптимальне налаштування АРЗ синхронного генератора.

Перший крок налаштування включає в себе експериментальне визначення частотних характеристик [1], знання яких необхідно для налаштування АРЗ. Наступним кроком є формування функції оптимального налаштування АРЗ, що включає всі параметри перехідного процесу і, відповідно, цільової функції, для подальшого використання в алгоритмах оптимізації [4].

В пакеті прикладних програм SimPowerSystem Matlab представлено основні елементи системи збудження (рис. 1.) є регулятор напруги і збудник.

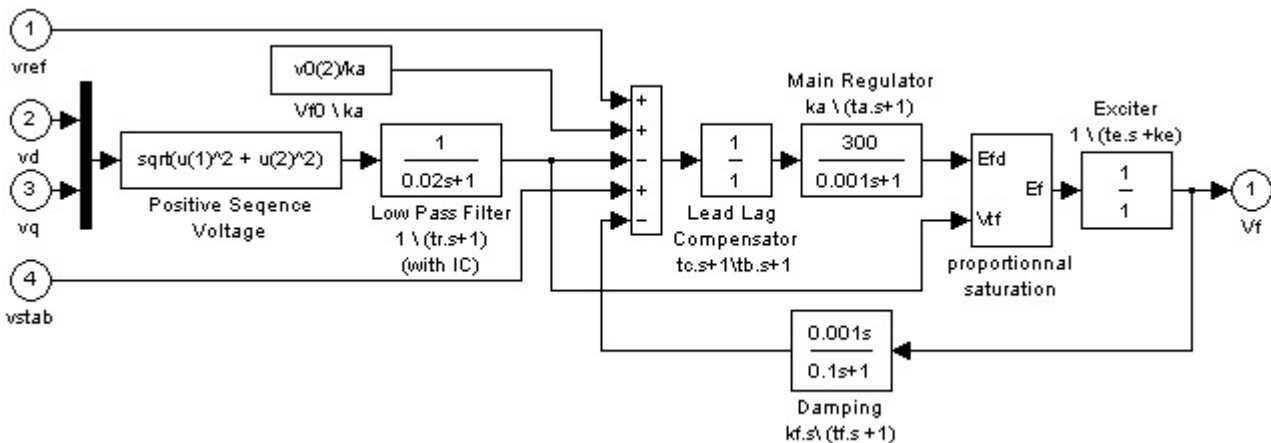


Рисунок 1 – Структурна схема системи збудження синхронного генератора

На перший вхід блоку v_{ref} подається необхідне значення уставки напруги на затискачах статора синхронного генератора. На другий v_d і третій v_q входи подаються поточні значення проєкцій напруг статора на осі q і d . Четвертий вхід v_{stab} може бути використаний для створення контуру стабілізації потужності синхронної машини. Всі вхідні змінні і вихідна змінна приведені до системи відносних одиниць (в.о.) [2, 3].

Модель збудника представлена у вигляді передавальної функції між напругою збудження V_f і вихідною напругою регулятора E_f :

$$\frac{V_{fd}(s)}{E_f(s)} = \frac{1}{K_e + s \cdot T_e}$$

Слід ще раз зазначити, що структурна схема на рис. 1 має виключно ілюстративний зміст. Системи автоматичного регулювання збудження, що застосовуються на практиці, мають значно складнішу структуру (сильного дії, з компаундуванням, нелінійні, із самоналаштуванням та ін.). Для оцінки якості регулювання в разі ступеневого вхідного сигналу напруги в даній роботі використовуються інтегральні критерії [4, 5].

Розглянемо етапи налаштування параметрів регулятора збудження генераторів за допомогою різних функцій оптимізації, представлених в пакеті програм Optimization Toolbox Matlab.

У даній статті проведений аналіз багатовимірних методів оптимізації, а саме:

1. Алгоритм Нелдера-Міда (функція *fminsearch*).
2. Гладка оптимізація (функція *fminunc*).
3. Умовна оптимізація (функція *fmincon*).
4. Метод прямого пошуку (функція *patternsearch*).
5. Генетичний алгоритм (функція *GA*).

Для імітаційного моделювання обраний генератор, що оснащений мікропроцесорним автоматичним регулятором збудження типу АРВ-М та працює на шини електростанції, що зв'язана з енергосистемою, вид якої детально представлений в [1].

Для проведення оптимізації прийнятий наступний набір параметрів:

- коефіцієнт K_{OU} і постійна часу $T_{и}$ робочого каналу;
- коефіцієнти внутрішнього каналу стабілізації K_{IU} і K_{IF} ;
- коефіцієнти зовнішнього каналу стабілізації K_{OF} і K_{IF} .

Функція мінімізації (цільова функція) включає в себе три складових. Це значення інтегралів від модуля перехідного процесу по частоті, по напрузі на шинах генератора і коефіцієнт, що збільшує значення цільової функції, якщо обрані параметри налаштування, при яких АРЗ знаходиться в області нестійкої роботи згідно критерію Найквіста [4, 5].

Таким чином, першою визначається область стійкості роботи системи АРЗ за коефіцієнтом посилення каналу напруги K_{OU} і постійної інтегрування $T_{и}$, потім обираються коефіцієнти каналів стабілізації.

У табл. 1 представлені початкові значення та оптимізовані значення параметрів АРВ-М генератора.

Таблиця 1 – Значення оптимізованих параметрів регулятора АРВ-М

Параметр	Початкове типові значення параметрів	Значення параметрів після оптимального налаштування
K_{OU}	15	15
$T_{и}$	1	2
K_{IU}	3	7,6
K_{OF}	3	-20
K_{IF}	1	7
K_{IF}	2	18

Проведено імітаційне моделювання та зняті осцилограми зміни напруги і

частоти на шинах генератора з початковими і оптимальними налаштуваннями параметрів АРВ-М в ліцензійному програмному середовищі DIgSILENT PowerFactory показані на рис. 2-3.

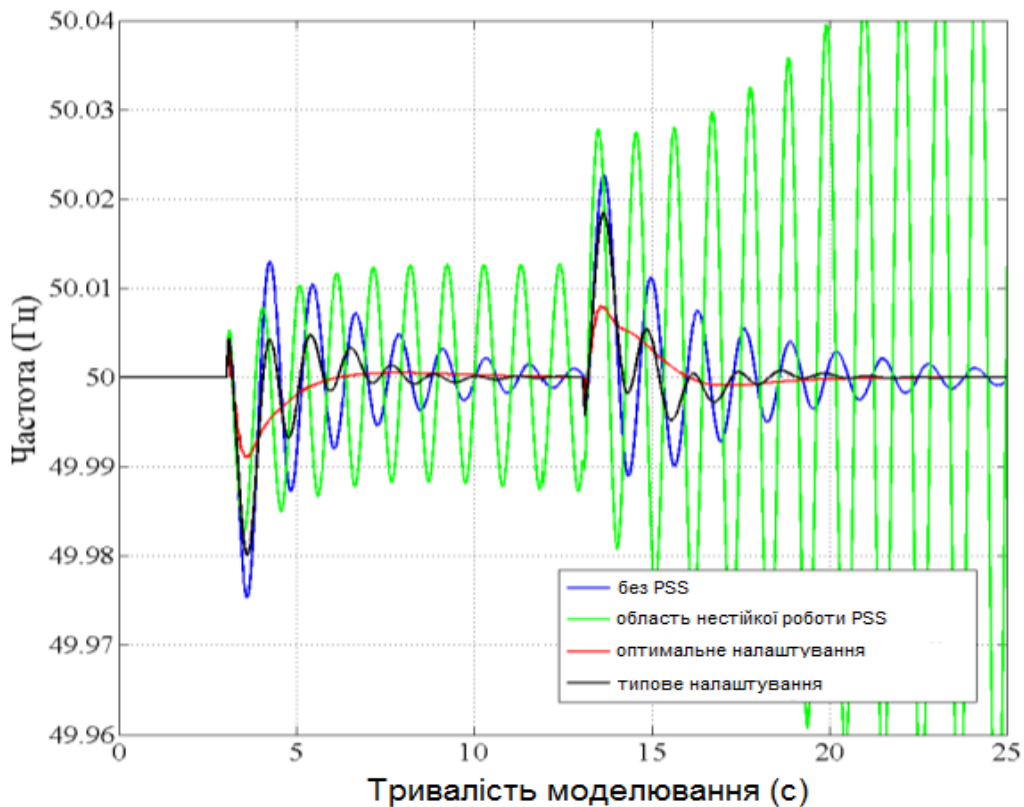


Рисунок 2 – Частота на шинах синхронного генератора при зміні уставки напруги генератора на 5%

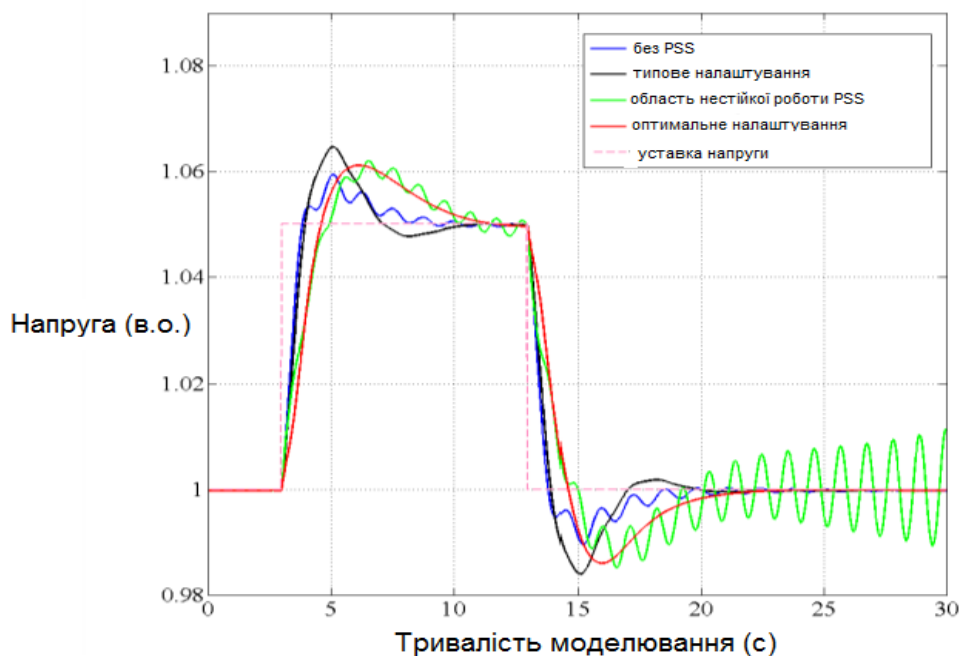


Рисунок 3 – Напряга на шинах синхронного генератора при зміні уставки напруги генератора на 5%

Наведені осцилограми свідчать про те, що при зміні уставки напруги генератора на 5%, при задіяних каналах стабілізації PSS спостерігається

підвищення якості демпфірування електромеханічних коливань частоти в порівнянні з перехідним процесом без використання PSS і «типовим» налаштуванням.

При розгляді кривих напруги на шинах генератора при цьому ж збуренні більше перерегулювання і час установки заданого значення має перехідний процес, знятий при включенні каналів PSS, що, в свою чергу, має негативний ефект регулювання.

Висновок. Основна мета модернізації - підвищення надійності електропостачання споживачів електроенергії. Це забезпечить підвищення стійкості паралельної роботи генераторів в аварійних режимах і підвищення ККД системи АРЗ. Поліпшення цих технічних характеристик дозволить підвищити якість електроенергії, що відпускається і підвищити завантаження турбогенератора по потужності.

Досвід експлуатації енергетичних систем показує, що з точки зору стійкої роботи енергосистеми швидкодіюче регулювання частоти обертання і особливо напруги має виключно важливе значення [5]. Економічний ефект від впровадження автоматичного регулювання енергосистем не піддається простому підрахунку, але він надзвичайно великий. Аварії з порушенням стійкості енергетичних систем в сучасних умовах приносять колосальні матеріальні збитки. При оснащенні енергосистем пристроями автоматичного регулювання такі аварії є малоймовірними. Тому оптимально налаштована система АРЗ повинна задовольняти всім вимогам і бути здатною забезпечити споживача більш якісним підтриманням заданого рівня напруги в нормальних умовах, підвищити стійкість паралельної роботи генераторів при коротких замиканнях в електромережі і при аварійних змінах потужності.

Отже, для здійснення налаштувань параметрів АРЗ в роботі запропоновано застосовувати методи оптимізації, зокрема інтегральний критерій, що забезпечив підвищення якості демпфірування електромеханічних коливань в порівнянні із застосуванням «типового» налаштування класичним методом Найквіста. Таким чином, налаштування параметрів регулятора АРЗ, виконаного даним методом значно розширило область коливальної стійкості, що дозволить забезпечити демпфірування електромеханічних коливань в більшому діапазоні схемно-режимних умов експлуатації електроенергетичної системи.

Перелік посилань

1. СТО 59012820.29.160.20.001-2012. Стандарт организации. Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов. М., 2012.
2. J. Xiao, J. Han, J. Wu, Dynamic Tracking of Low-frequency Oscillations with Improved Prony Method in Wide-Area Measurement System. IEEE Power Meeting 2004. Denver.
3. Task Force on Identification of Electromechanical Modes, Identification of Electromechanical Modes in Power Systems, IEEE Task Force Report, 2012.
4. 421.2-2014-IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems.
5. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. 4-е изд. перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1985. 536 с.