

УДК 621.313.67

І.В. Пантелєєва, В.М. Асаул

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

## ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ЗБУДЖЕННЯ СИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ

У статті розглянуті питання, пов'язані з сучасними системами автоматичного регулювання збудження (АРЗ) синхронних генераторів. АРЗ вирішують ряд важливих задач, особливо – підтримку заданого рівня напруги у відповідній точці системи, тому вплив систем збудження на характер перехідних процесів у електричних системах може бути досить великим. Щоб АРЗ відповідали вимогам, слід вибрати тип системи регулювання, закон регулювання та параметри регуляторів.

**Ключові слова:** синхронний генератор, електрична система, автоматичне регулювання збудження, форсування збудження, струм збудження, регулятор сильної дії.

### Вступ

**Постановка проблеми.** У зв'язку з тим, що електричні системи все більш перетворюються у системи, що автоматично регулюються та керуються складними системами, переростають у системи кібернетичного типу. У зв'язку з чим виникає необхідність проведення досліджень, які спрямовані на створення нових методів по розробці систем автоматичного регулювання збудження синхронних генераторів.

Технічна необхідність і економічна доцільність автоматичного регулювання збудження генераторів обумовлені специфічними особливостями процесу виробництва та розподілу електроенергії. АРЗ, крім підтримки заданого рівня напруги на виводах генераторів, повинні забезпечити статичну стійкість електропередачі; демпфірування малих та великих коливань; запобігати порушенню динамічної стійкості системи.

Дуже важкою залишається проблема синтезу стійких режимів електроенергетичної системи, чітко не визначена концепція принципів функціонування та вибору параметрів АРЗ. Питання вибору параметрів АРЗ пов'язані з проведенням ґрунтовних, достатньо трудоемких метричних досліджень, які ускладнені широким спектром умов роботи електроенергетичної системи. Необхідні методи, які дозволяли б розпізнавати режими, в яких система є потенційно стійкою. При цьому можна було б уникнути детального математичного моделювання та відповідних метричних досліджень на попередньому етапі.

**Аналіз літератури.** Щоб АРЗ могли задовільно вирішувати поставлені задачі, необхідно вибрати тип системи регулювання збудження, закон регулювання та параметри регулювання. Загалом, всі існуючі системи автоматичного регулювання збудження мають жорсткий детермінований алгоритм регулювання [1]. В той же час, генератор та його система збудження, які роздивляються як

об'єкт дослідження, що працюють в енергосистемі, можуть змінити свої параметри в залежності від схемно-режимної ситуації. У різних режимах для забезпечення найкращої якості регулювання та стабілізації вимагаються різні настроювання по каналам стабілізації, тобто адаптації до умов роботи генератора. При жорсткій структурі доводиться розрахунковим чи експериментальним шляхом вибирати деяке компромісне настроювання АРЗ, яке забезпечить задовільну якість у всіх режимах.

Зараз досягнуті значні результати теоретичних та експериментальних досліджень в галузі інтенсифікації регулювання збудження. Однак, слід відзначити, що роботи в цій галузі носять чисто теоретичний характер, без доведення технічних рішень до рівня розробки принципів електричних схем. Загалом питання схемної реалізації не тільки вносять специфічні особливості в характер протікання процесів у самих регуляторах, що впливає на технічні характеристики останніх, але й суттєво впливають на якість електроенергії в нормальних та аварійних режимах роботи електростанцій [2]. Питання схемних рішень інтенсивних регуляторів збудження, які працюють по замкнутій схемі регулювання, уточнення законів регулювання не роздільно у зв'язку з цим фактом.

Не встановлені можливості інтенсивного регулювання збудження генераторів в ударній зоні короткого замикання з метою зменшення аварійних струмів [3]. Отримані за допомогою методів теорії оптимального регулювання та аналітичного конструювання технічні пропозиції настільки далекі від можливості розробки принципів електричних схем, що потребують пошуків інших, більш простих рішень для реалізації закону оптимального регулювання.

**Мета статті** полягає не тільки у розгляді пристроїв АРЗ, які існують, їх переваг та недоліків, а й у можливості пропонувати найбільш ефективні пристрої регулювання збудження синхронних генераторів.

## Основна частина

Система збудження синхронного генератора складається з обмотки ротора генератора, джерела напруги постійного струму, який підключається до обмотки ротора, та комутаційної апаратури. Джерело постійної напруги та струму збудження генератора носить назву збуджувача.

Система збудження повинна забезпечити:

- необхідну потужність збудження як у нормальних експлуатаційних, так і в аварійних режимах;
- зміну струму ротора генератора по заданому закону при автоматичному чи ручному регулюванні збудження;
- найбільш можливий потіток збудження;
- максимально можливу швидкість зростання струму ротора, що особливо важно для потужних генераторів електростанцій, які зв'язані з енергосистемою лініями електропередачі великої довжини.

У теперішній час використовуються наступні види збудження синхронних генераторів:

- тиристорне незалежне збудження;
- тиристорне самозбудження;
- діодно-тиристорне збудження без щіток з тиристорним перетворювачем, який керується.

Автоматичні регулятори підключаються до вторинних обмоток первинних трансформаторів напруги синхронного генератора чи генератора збудження.

Зараз розроблені мікропроцесорні автоматичні регулятори генераторів нового покоління: АРЗ-М, створений АО «Електросила» [4] та КОСУР-Ц, який входить у склад комплексу обладнання систем управління та регулювання, створений НДІ «Електромаш».

Крім автоматичного регулювання збудження автоматичні регулятори виконують наступні функції:

- підтримують напругу на шинах електростанції з малим статизмом або астатично;
- підтримують задану генеруєму реактивну потужність генератора;
- забезпечують максимальну можливу пропускну здатність електропередачі, статичну та динамічну стійкість електроенергетичної системи та релейну форсировку збудження.

$$U_g(nT) = \sqrt{U_a^2[(n-24)T] + U_b^2[(n-24)T] + U_c^2[(n-24)T] + U_a^2(nT) + U_b^2 - U_c^2(nT)}.$$

Сигнал формується у кожному інтервалі дискретизації.

Однак, для отримання повної інформації про появу збурювальної дії у системі вимагається час, який дорівнює періоду  $T_n$  промислової частоти. У симетричному режимі сигнал «чистий», тобто не

Регулятори формують ряд керуючих дій по обмеженню режимних параметрів та виконанню технологічних функцій. Автоматичні регулятори здійснюють обмеження:

- перевантаження генератора струмом статора та ротора з часом, який залежить від ступеню перевантаження;
- споживаємої генератором реактивної потужності при зниженні збудження, яка залежить від його активної потужності. При цьому не порушується статична стійкість системи;
- допустимого по умовам насичуваності магнітопроводу трансформатора блоку співвідношення амплітуди та частоти напруги.

Основними технологічними функціями регуляторів є:

- здійснення початкового збудження;
- вирівнювання діючих значень напруг генератора та шин електростанцій при його включенні методом точної автоматичної синхронізації;
- забезпечення режиму зарядки лінії електропередачі;
- автоматичне розвантаження генератора за реактивною потужністю;
- перевід тиристорного перетворювача в інверторний режим для зняття збудження генератора при нормальній зупинці;
- дія на АГП у аварійному режимі з наступним переводом тиристорного перетворювача в інверторний режим;
- швидкодіюче зняття імпульсів тиристорами, що керуються, струмів при коротких замиканнях на стороні постійного струму тиристорного перетворювача.

Розроблений у складі КОСУР мікропроцесорний автоматичний регулятор реалізований на базі 32-розрядного мікроконтролера фірми Motorola MC 68376, який виконує всі функціональні операції, необхідні для здійснення автоматичного регулювання збудження.

Однією з важливих його особливостей є вимірювальне перетворення діючого (а не середнього спрямленого) значення напруги  $U_d$  (пТ) у цифровий сигнал, що забезпечує більш високу точність при наявності у напрузі синхронного генератора гармонічних складових.

При інтервалі дискретизації  $T = T_n/24$  діюче значення напруги буде:

містить гармонічної складової подвійної промислової частоти.

Вимірювальне перетворення частоти виконується програмно методом формування цифрового сигналу, який відображає тривалість періоду  $T_n$  промислової частоти та його перетворення у сигнал інформації про

частоту напруги синхронного генератора.

Розглянуті автоматичні регулятори збудження синхронних генераторів мають жорсткий детермінований алгоритм функціонування. Однак, ситуація в енергосистемі весь час змінюється. Настроєні по одній, навіть найтяжчій післяаварійній ситуації такі АРЗ погано справляються з загально енергетичними (системними) проблемами при інших збуджуючих діях, що виникають. Синхронні генератори у зв'язку з нелінійністю їх характеристик, теж змінюються у залежності від схемно-режимних умов їх роботи. У різних режимах та при різних збуджуючих діях для найкращого ефекту від дії АРЗ необхідна різна їх настройка. Тому необхідні адаптивні до ситуації в енергосистемі автоматичні регулятори збудження, які самоналаштовуються. З переходом на мікропроцесорну цифрову обчислювальну техніку з'явилися можливості створення таких АРЗ.

У НДІ «Електромаш» розроблен та випробуван на основі фізичної моделі адаптований системний стабілізатор – частина АРЗ, яка використовує сигнали, які формуються по зміні частоти та її похідної, тобто по першій та другій похідній кута  $\delta$  електропередачі [4].

### Висновки

1. В статті розглянуті особливості сучасних автоматичних регуляторів збудження, вимоги до них та особливості їх роботи.

2. Особлива увага приділена використанню АРЗ, побудованому на нечіткій логіці. Нечітка логіка є поняттям, пов'язаним з штучним інтелектом. Нечіткий системний стабілізатор дозволив збільшити реактивну потужність синхронного генератора, що споживається, (у режимі недозбудження) та покращити демпфірування електромеханічних коливань: їх тривалість може зменшитись в деяких ситуаціях у 2 рази.

3. Дослідження автоматичного регулятора з використанням нечіткої логіки з настройкою за допомогою генетичного алгоритму [3] показали його високу ефективність во всіх схемно-режимних ситуаціях, які можливі в енергетичній системі.

### Список літератури

1. Логинов С.И. Бесщеточные системы возбуждения синхронных машин / С.И. Логинов // Сб. Системы возбуждения, регулирование и устойчивость синхронных машин. – Л.: Наука. – 1986. – С. 14-18.
2. Лекаш М.Н. Самонастраивающиеся по принципу инвариантности системы автоматического регулирования напряжения / М.Н.Лекаш // Электричество. – 2001. – № 4. – С. 22-24.
3. Логинов А.Г. Микропроцессорный автоматический регулятор типа АРВ-М для систем возбуждения АО «Электросила» / А.Г. Логинов, А.В. Фадеев // Электротехника. – 2001. – № 4. – С. 66-100.
4. Кичаев В.В. Современное состояние проблемы регулирования возбуждения синхронных машин / В.В. Кичаев, А.А. Юрганов // Современные системы возбуждения для нового строительства и реконструкции электрических станций. Опыт наладки и эксплуатации систем возбуждения нового поколения: сб. докладов Международной НТК – Труды ВЭИ. – М.: Издательство ВЭИ. – 2002. – С. 62-73.

Надійшла до редколегії 22.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.І. Канюк, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

### ОСОБЕННОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

И.В. Пантелеева, В.Н. Асаул

*В статье рассмотрены вопросы, связанные с современными системами автоматического регулирования (АРВ) синхронных генераторов. АРВ решают ряд важных задач, особенно – поддержание заданного уровня напряжения в соответствующей точке системы, поэтому влияние систем возбуждения на характер переходных процессов в электрических системах может быть достаточно большим. Чтобы АРВ отвечали требованиям, следует выбирать тип системы регулирования, закон регулирования и параметры регуляторов.*

**Ключевые слова:** синхронный генератор, электрическая система, автоматическое регулирование возбуждения, форсировка возбуждения, ток возбуждения, регулятор сильного действия.

### FEATURES OF ADJUSTING OF EXCITATION SYNCHRONOUS GENERATORS

I.V. Panteleyeva, V.N. Asaul

*The questions related to the modern systems (APB) of synchronous generators are considered In the article. APB decide the row of important tasks, especially is maintenance of the set level of tension in the corresponding point of the system, therefore influence of the systems of excitation on character of transients in the electric systems can be large enough. That APB answered requirements, it is necessary to choose the type of the adjusting system, adjusting law and parameters of regulators.*

**Keywords:** synchronous generator, electric system, automatic control of excitation, of excitation, current of excitation, regulator strong.