

Комп'ютерне діагностування статичних систем збудження турбогенераторів електростанцій

Василь Тутка

Бурштинська ТЕС ВАТ "Західенерго", УКРАЇНА, Івано-Франківська обл., м.Бурштин. E-mail: tutelli@mail.ru

Abstract – The program-technical complex is developed for diagnosing of the thyristor excitation systems of power plant generators with the use of the real time computer models of generator blocks. The results of diagnosing are presented.

Ключові слова – система збудження, синхронний генератор, математична модель реального часу.

I. Вступ

Системи збудження генераторів, які експлуатуються на електростанціях України та інших країн колишнього СРСР, вже вичерпали ресурс своєї роботи і не задовільняють зростаючим вимогам до якості регулювання та надійності. Фізичне старіння апаратури призводить до збільшення кількості аварійних ситуацій. Ось чому, останніми роками гостро постало питання заміни існуючих систем збудження або їх суттєвої модернізації, перехід від аналогових регуляторів збудження до цифрових, використання силових напівпровідникових перетворювачів для регулювання струму збудження.

Розробка нових систем регулювання збудження вимагає створення засобів і методик для їх діагностування перед введенням в експлуатацію, а також проведення аналізу процесів в установках генерування електроенергії з розробленими системами збудження у всіх режимах роботи. Створення подібних засобів є важливою і актуальною науково-прикладною задачею.

II. Способи діагностування систем збудження

Для проведення діагностування систем регулювання збудження можна використовувати засоби фізичного або математичного моделювання. В обох випадках, системі збудження яка тестується під'єднують до моделі (фізичної або математичної) генераторного блоку електростанції у складі енергосистеми. Засоби фізичного моделювання використовуються, зокрема, в Росії (про обов'язковість такого діагностування зазначається, зокрема, в "Програмі комплексних випробувань автоматичних регуляторів збудження синхронних генераторів", затвердженій РАО "СЕС Росії"), де для проведення випробувань пропонується використовувати фізичну модель, розроблену в ВАТ "НДІ з передачі електроенергії постійним струмом високої напруги".

Засобам фізичного моделювання притаманні, однак, ряд недоліків, обумовлених необхідністю значних капітальних затрат на придбання та розміщення обладнання (численних модельних генераторів з системами збудження, трансформаторів, моделей ЛЕП), складністю реалізації аварійних режимів під

час випробувань та параметричних змін в об'єктах регулювання.

Більш перспективним, на нашу думку, є використання засобів математичного моделювання, що вимагає, однак, розв'язання цілого ряду задач, пов'язаних зі створенням математичних та комп'ютерних моделей адекватних в широкому діапазоні режимів роботи, здатних працювати в реальному часі у взаємодії з фізичним обладнанням.

Для створення таких моделей може бути використаний об'єктно-орієнтований метод аналізу електромашинентильних систем [1], який дає змогу, також, поєднати в єдиному комплексі функціонуючі в реальному часі комп'ютерні моделі та фізичні об'єкти.

Технологія комп'ютерного діагностування систем збудження [2] передбачає під'єднання фізичної системи збудження через узгоджувальні пристрої (карти ЦАП/АЦП, підсилювачі) до комп'ютерної (імітаційної) моделі реального часу генераторного блоку електростанції, здатної відтворити як робочі, так і аварійні режими роботи енергоблоку.

III. Комп'ютерне діагностування статичних систем збудження

Розрахункову схему математичної моделі генераторного блоку, що використовується для тестування статичних систем самозбудження генераторів, показано на рис. 1.

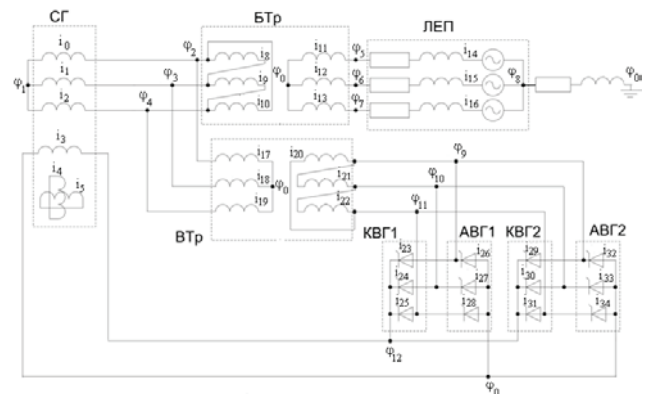


Рис. 1. Розрахункова схема генераторного блоку.

Розрахункова схема охоплює синхронний генератор (СГ), блочний трансформатор (БТр), лінію електропередачі (ЛЕП), вхідний трансформатор (ВТр), тиристорні перетворювачі системи збудження (один працюючий основний і другий в гарячому резерві). На розрахунковій схемі позначено: $i_0 \dots i_{34}$ – струми електричних віток структурних елементів, $\varphi_1 \dots \varphi_{12}$ –

потенціали незалежних вузлів електромашинно-вентильної системи.

Особливістю розробленої моделі генераторного блоку є врахування нелінійності характеристик магнітопроводу електричних машин, впливу демпферних контурів ротора синхронного генератора, дискретності вентилів напівпровідникових перетворювачів. Використана математична модель синхронного генератора побудована у фазних координатах струмів, що дає змогу досліджувати несиметричні режими роботи. Вентилі перетворювачів моделювалися RL-ланками з послідовно-з'єднаними активним опором та індуктивністю, які приймають малі значення у відкритому стані вентиля і великі – в закритому, що дає змогу врахувати комутаційні процеси в тиристорному перетворювачі.

Для забезпечення роботи розробленої моделі силової схеми генераторного блоку в реальному часі запропоновано спосіб синхронізації розрахункового часу моделі з реальним часом шляхом динамічної корекції кроку чисельного інтегрування за показами внутрішнього таймера комп'ютера. Для зменшення впливу похибки визначення реального часу обумовленої дискретністю вимірювання, запропоновано процедуру лінійної апроксимації залежності між розрахунковим та реальним (визначеним з допомогою таймера) часом з використанням методу найменших квадратів.

Для знаходження моментів закривання вентилів при переході їх струмів через нуль з додатного у від'ємне значення застосовано лінійну інтерполяцію, що у порівнянні з відомим методом інвертування систем диференціальних рівнянь і чисельного інтегрування за струмом вентиля, що закривається, зменшило кількість операцій на кроці, де вентиль закривається, підвищило швидкодію моделі і покращило умови її роботи в реальному часі.

Структурно-функціональна схема діагностичного комплексу показано на рис. 2. До складу фізичної системи збудження, яку тестують, входять: тиристорний перетворювач ТП (реальний прототип віртуального ТП в комп'ютерній моделі), автоматичний регулятор збудження АРЗ та система керування тиристорами перетворювача СКТ, яка на основі вихідного сигналу АРЗ формує відкриваючі імпульси на тиристори.

З комп'ютерної моделі на автоматичний регулятор збудження подається така інформація: фазні напруги статора генератора $u_{ГА}, u_{ГВ}, u_{ГС}$ (миттєві значення), миттєве значення струму фази В статора генератора $i_{ГВ}$ та три струми вторинної обмотки вхідного трансформатора (струми на вході тиристорного перетворювача) $i_{Г\alpha}, i_{Г\beta}, i_{Г\gamma}$, за якими визначається значення струму збудження генератора. Дані сигнали формуються в аналоговому вигляді за допомогою ЦАП, після чого підсилюються за потужністю і рівнем за допомогою підсилювачів. Підсилювачі, в цьому випадку, є регульованими джерелами струму (РДС) та напруги (РДН), які забезпечують на виході, відповідно струми та напруги, величина яких рівна

величині струмів та напруг на виході реальних вимірювальних трансформаторів, встановлених на електростанції. Так, номінальній напрузі генератора відповідає напруга 105 В (діюче значення) на виході РДН, а номінальному струму статора генератора відповідає струм на виході РДС 5 А (діюче значення). Таким чином, система збудження отримує на входах сигнали, величини яких адекватні реальним на електростанції.

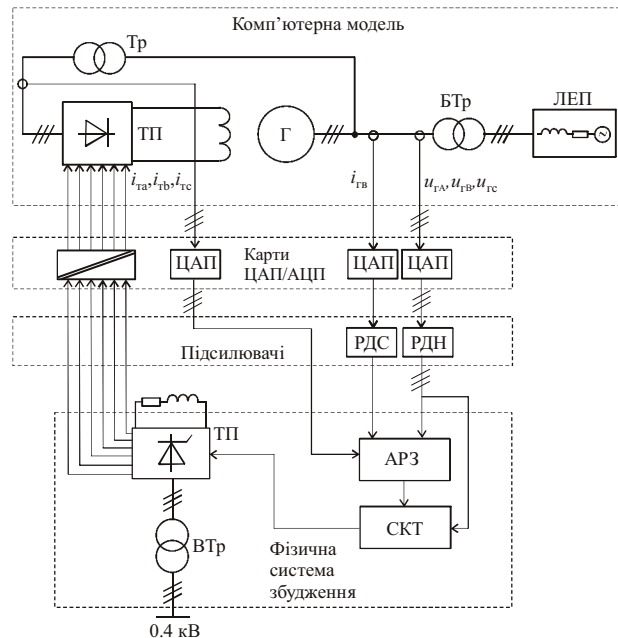


Рис. 2. Функціональна схема діагностування статичних систем збудження генераторів

Вхідними сигналами для комп'ютерної моделі є імпульси відкривання тиристорів, які знімаються з тиристорного перетворювача фізичної системи збудження. Ці імпульси є відкриваючими імпульсами для тиристорів віртуального перетворювача у складі комп'ютерної моделі. Для формування даних імпульсів на систему керування тиристорів СКТ з комп'ютерної моделі подається синхронізуюча напруга, яка в даному випадку є напругою статора генератора.

Комп'ютерна модель реалізується на промисловому комп'ютері (1) типу Advantech (процесор Intel Pentium IV з тактовою частотою 3.2 ГГц). Для передачі інформації між комп'ютерною моделлю на периферійними аналоговими пристроями використовуються дві багатофункціональні плати вводу/виводу (з аналогово-цифровими та цифро-аналоговими перетворювачами) типу NI PXI – 6259 виробництва фірми National Instruments. Дані плати містять 32 аналогові входи ± 10 В з розрядністю АЦП 16 біт, 4 аналогові виходи ± 10 В з розрядністю ЦАП 16 біт. Швидкодія АЦП становить 1.25 MS/s, швидкодія ЦАП становить 2.8 MS/s (час цифро-аналогового перетворення для одного каналу становить 2 мкс). Також плати містять 48 дискретних входів/виходів, 6 з яких використовуються для приймання відкриваючих імпульсів з тиристорів перетворювача системи збудження. Відзначимо, що апаратна частина

діагностичного комплексу була розроблена у співпраці зі спеціалістами науково-виробничого підприємства "Руселпром-Електромаш" (м. Санкт-Петербург, Росія).

Запропонована процедура проведення діагностування СЗ дає змогу перевірити, чи забезпечує система збудження необхідні характеристики в робочих режимах (початкове збудження, регулювання напруги на неробочому ході, вмикання СГ в мережу, зміна навантаження СГ активною та реактивною потужністю, просадки напруги в мережі) та в аварійних режимах (короткі замикання на виході генератора, зниження частоти напруги на виході генератора в режимі неробочого ходу, гасіння поля СГ і ін.).

Розроблені засоби та методики були використані для проведення діагностування статичної системи збудження КОСУР-201 на НВП "Руселпром-Електромаш". Результати випробувань у вигляді експериментальних осцилограм для струму збудження СГ i_f , діючого значення напруги U_r на виході генератора, сигналу завдання напруги СГ U_{r3} , активної та реактивної потужностей на виході генератора P_r , Q_r , зняті під час роботи реальної системи збудження з комп'ютерною моделлю генераторного блоку показано на рис. 3. – рис. 5.

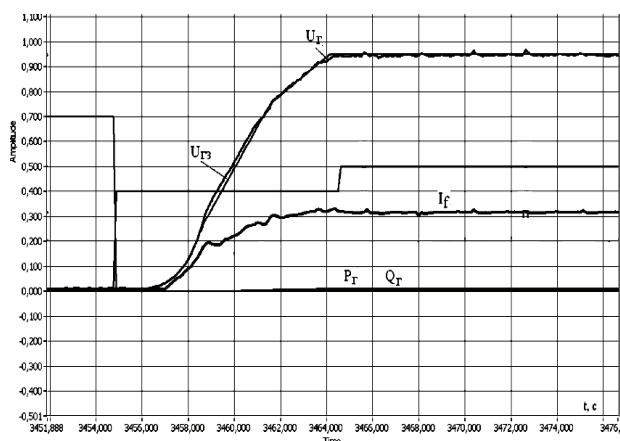


Рис. 3. Експериментальні осцилограми діагностування статичної СЗ в режимі початкового збудження на н.х. СГ.

В режимі початкового збудження налаштування АРЗ забезпечує слідкування напруги на виході генератора за сигналом завдання (рис. 3), який змінюється програмно, задаючи необхідний характер наростання напруги генератора до заданого значення. Зауважимо, що в системі збудження, яка діагностувалася використано АРЗ сильної дії, до складу якого входять зворотні зв'язки за напругою генератора, її першою та другою похідними, за похідними струму збудження генератора та частоти напруги на виході генератора. АРЗ забезпечує зміну напруги на виході генератора без перерегулювання.

На рис. 4 показано експериментальну осцилограму для режиму завантаження генератора активною потужністю. Осцилограма випробування системи збудження в режимі однофазного короткого замикавання в лінії показано на рис. 5.

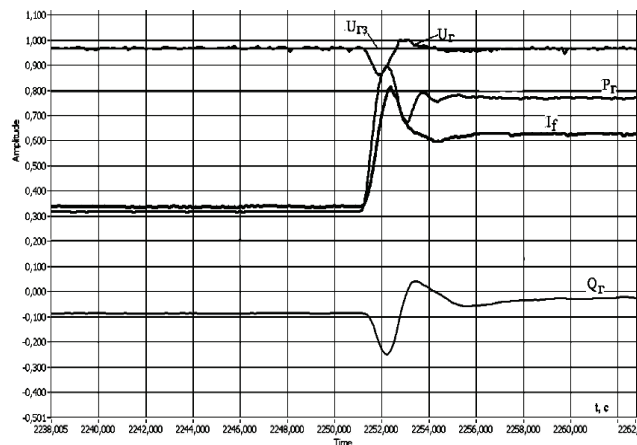


Рис. 4. Експериментальні осцилограми діагностування статичної СЗ в режимі завантаження (стрибокподібного) СГ активною потужністю.

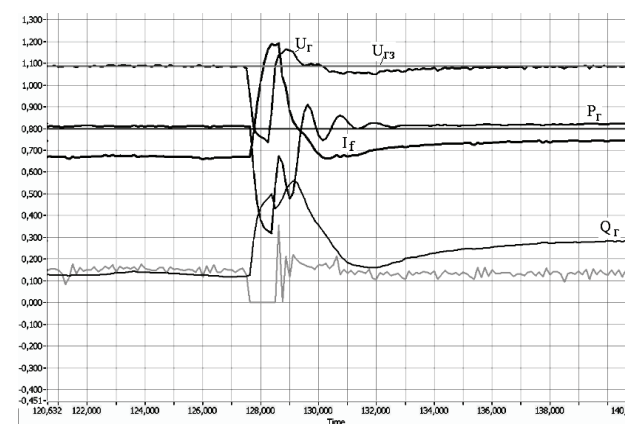


Рис. 5. Експериментальні осцилограми діагностування статичної СЗ в режимі однофазного к.з. на землю в кінці лінії.

Висновок

Під час впровадження нових систем регулювання збудження генераторів електростанцій необхідно провести випробування системи збудження у всіх режимах роботи, для чого доцільно використовувати розроблену імітаційну модель генераторного блоку. Результати практичного використання такої моделі підтверджують ефективність її застосування для діагностування систем збудження генераторів електростанцій.

Перелік посилань

- [1] Куцик А.С. Об'єктно-орієнтований метод аналізу електромеханічних систем // Технічна електродинаміка. – 2006. – №.2. – С. 57–63.
- [2] Плахтина О.Г., Куцик А.С., Сломінський М.М. Комп'ютерна технологія налаштування і випробування пристроїв керування і захисту електромеханічних і електроенергетичних систем // Технічна електродинаміка, тем. випуск "Силовая електроніка та енергоефективність, ч. 2. – Київ, 2006. – С. 43–46.