

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ СТІЙКОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ СТАТИЧНИХ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕНЕРГОСИСТЕМИ

Практичну задачу визначення стійкості складної технічної системи, якою є сучасна електроенергетична система (ЕЕС) змінного струму, що поєднує в собі процеси електромеханічного перетворення енергії та розподілу електромагнітної енергії у складнозамкненій структурі електророзподільної електричної мережі, не завжди доцільно розв'язувати у повному обсязі. За відсутності явищ “саморозкачування”, умови та причини яких відомі [1], достатньо обмежитись розглядом задачі статичної стійкості, й на цьому першочерговому етапі відкинути статично нестійкі конфігурації ЕЕС, обмеживши обсяги інженерних розрахунків [2].

Беззаперечним підґрунтям є той факт, що динамічні параметри моделі не мають стосунку до задачі дослідження на предмет статичної стійкості як завгодно складної ЕЕС; результат дослідження залежить виключно від її статичних характеристик. Зазвичай користуються наслідком застосування відомих частотних критеріїв стійкості, критерієм Михайлова зокрема, який зводиться до визначення статичного опору системи для нульової частоти. Авторами [1, 2] показано, що практичного значення набуває визначення *коефіцієнта опору системи*, який слугує якісним критерієм аперіодичної стійкості ЕЕС: він містить інформацію про знак вільного члена характеристичного рівняння системи рівнянь руху, що описують поведінку динамічної системи (за умови наявності такого поелементного математичного подання – розрахункової моделі ЕЕС), і його визначають шляхом обчислення якобіана рівнянь статики.

Плідним методом виконання такого дослідження є графоаналітичний, з використанням частотних статичних моментно-швидкісних характеристик електричних синхронних генераторів – синхронних машин (СМ) та привідних механічних двигунів – турбін (ПТ). Сучасні ПТ регульованої ЕЕС оснащені пристроями первинного автоматичного регулювання (ПАР) частоти та потужності, наприклад, регуляторами швидкості АРШ у випадку гідротурбін; а СМ – автоматичними регуляторами збудження сильної дії (з форсувальними ланками). У [2] на прикладі автономної двомашинної системи показано, що стійкість такої простої ЕЕС залежить не лише від жорсткості пружних зв'язків, що визначаються частинними похідними електромагнітних моментів за взаємним кутом роторів СМ, але й від частотних властивостей системи – вони представляються статизмами АРШ [3]. Властивості статичних характеристик реальної ЕЕС за частотою (СЧХ) досить детально досліджені [4] і підтверджені практикою багаторічних спостережень за режимами ОЕС України. Наголошено на тому, що штучне визначення параметра «крутизни СЧХ ЕЕС» k_c через суму крутизни СЧХ сумарної механічної k_m (турбін) та електричної k_n (навантаження) у вигляді $k_c = \rho k_m + k_n$, де $\rho = 1,0 \div 1,05$ – коефіцієнт резерву [5] – у дійсності жодного фізичного й практичного (для розрахунків) змісту не має; натомість різниця цих параметричних значень відображає запис визначника для рівнянь стаціонарного руху ЕЕС (якобіана) і його числове значення використовується для визначення граничних режимів ЕЕС за умовою статичної (аперіодичної) стійкості.

В роботі наведено запис для визначення коефіцієнтів статичного опору як завгодно складної ЕЕС із регульованими турбоагрегатами, в рамках їх графоаналітичного подання у вигляді традиційних моментно-швидкісних характеристик. Єдиною умовою застосування зазначеного методу є існування розв'язку вихідної системи рівнянь для випадку аналізу стаціонарного руху – рівнянь стаціонарної рівноваги, отримані для нульових значень усіх похідних координат динамічної системи.

Водночас, у практиці сучасних досліджень режимів ЕЕС поширеним є постановка задач дослідження стійкості та визначення статичних характеристик ЕЕС на основі так званої «позиційної моделі» ЕЕС, для чого у записах рівнянь руху ЕЕС електромагнітні моменти прирівнюють до відповідних потужностей, причому за умови сталості механічних моментів (потужностей) турбін [6] – фактично нехтуючи залежністю цих координат автоматизованої ЕЕС від швидкості. Такі й подібні [5,6] побудови, виконані за помилкових припущень щодо фізичних властивостей ЕЕС, спотворюють сутність задачі стійкості системи вже на її першочерговому етапі (статики), а некоректно спрощена математична модель не забезпечує сумісних розв'язків навіть для стаціонарного руху ЕЕС. Інструментарій графоаналітичного методу є достатнім для переконливої демонстрації хибних теоретичних припущень.

Перелік посилань:

1. Костюк О.М., Соломаха М.И. Колебания и устойчивость синхронных машин. – К.: Наукова думка, 1991. – 200с.
2. Костюк О.М. Элементы теории устойчивости энергосистем. – К.: Наукова думка, 1983. – 296с.
3. Настанова СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.156:2009. Основні вимоги щодо регулювання частоти та потужності в ОЕС України (затверджено 24.03.2009р.). – 54с.
4. Сидоров А.Ф. Статические характеристики энергосистем по частоте и их свойства // Технічна електродинаміка, – 2000. – №3. – С. 61-68.
5. Горбунова Л.М. Экспериментальные исследования режимов энергосистем. Под ред. С.А. Савалова / Л.М. Горбунова, М.Г. Портной, Р.С. Рабинович и др. – М.: Энергоатомиздат, 1985 г. – 448 с.
6. Savulescu S.C. Real-time stability assessment in modern power system control centers // IEEE Press, Series on Power Engineering. – John Wiley&Sons, 2009. – 2nd.ed. – 425p.