

УДК 621.316.786

В. А. Литвинчук; В. П. Яновський, канд. техн. наук; В. І. Бондаренко**ОПТИМАЛЬНЕ АВТОМАТИЧНЕ ЧАСТОТНЕ
РОЗВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ**

Запропоновано алгоритм оптимального налаштування системи АЧР в програмному комплексі, в якому завдання синтезу системи АЧР розглядається як задача визначення найкращого набору уставок, які дають можливість розвантажувати енергосистему у відповідності до розвитку аварії в будь-яких аварійних режимах.

Вступ

Найважчі аварії в енергосистемах, які класифікуються як масштабні, завжди супроводжуються глибоким спадом частоти в дефіцитних районах. В процесі експлуатації енергосистем після комплексу протиаварійних дій не завжди можливо уникнути спаду частоти, але існує можливість уникнення небажаного розвитку каскадних аварій, які призводять до великих збитків, а іноді навіть до розвалу енергосистеми. Електроенергетична безпека є важливою складовою багаторівневої енергетичної безпеки, яка в свою чергу, є підсистемою глобальної, національної безпеки будь-якої держави. Її трактують як захищеність громадян та економік держав від загроз дефіциту електроенергії, перебою поставок електроенергії споживачу, які виникають внаслідок дії негативних природних, техногенних, управлінських факторів.

В наш час актуальність проблеми електроенергетичної безпеки очевидна і підтверджується великою кількістю масштабних аварій, які мали місце за останні роки в США, в багатьох державах Європи, Африки та Південної Америки. Існують статистичні дані споживачів електроенергії, в яких наводиться такий показник як середньорічне порушення енергозабезпечення в перерахунку на одну особу. Згідно з цими даними для США він дорівнює 200 хв., Великобританії – 80 хв., Франції – 60 хв., Німеччини – 25 хв. Для України цей показник становить 40...80 хв.

Постановка задачі

Універсальних методів балансування енергосистем не існує і кожна держава вирішує цю проблему по різному в залежності від ступеня лібералізації та дерегуляції електроенергетики в державі, від можливостей системної автоматики та управління, які використовуються в структурі генерації та споживання, від технологічних можливостей електричних систем та розподілу повноважень між диспетчерськими центрами. Найрозвиненішим засобом, який дає можливість запобігти розвитку аварії до стану каскадної – це кероване розвантаження будь-якої дефіцитної частини енергосистеми. А сам процес ліквідації дефіциту здійснюється безпосередньо системою автоматичного частотного розвантаження (АЧР).

Сучасні енергосистеми відносяться до великих систем, які мають властивості систем кібернетичного типу. Стан їх елементів може змінюватися під впливом множини факторів. В свою чергу кожний елемент енергосистеми є фактором дії на систему. Електроенергетична система – це фактично єдина мережева структура зі своїми чіткими параметрами, від яких можна відхилитися в дозволених межах. Процеси в ній швидкоплинні, одночасно працюють і видають інформацію велика кількість пристроїв.

Щоб здійснювати кероване балансування енергосистеми в процесі аварійної ситуації системі АЧР необхідно оптимально налаштувати у відповідності з вимогами нормативних документів. Але не зважаючи на те, що всі нормативні документи видаються з метою їх виконання і можливості бути реалізованими у практиці експлуатації енергосистем до цього часу так і не знайшла застосування науково обґрунтована методологія налаштування системи АЧР.

В енергетичній галузі України існує серйозна невирішена проблема, яка залишилась в спадщину від СРСР. Її суть в тому, що в галузевому нормативному документі (ГНД) [1] вписані вимоги до уставок АЧР і обсягів навантаження, яке відключається, але відсутній спо-

сіб реалізації цих вимог.

Чинну на поточний момент методику налаштування АЧР [3], розроблену ще в 70-ті роки, яка базується на «ручних» розрахунках без урахування електричних режимів енергосистем неможливо використовувати в сучасних енергосистемах. Сучасна енергосистема у моделюванні подається мережевою структурою зі своєю оригінальною топологією та змінною структурою генерації та споживання (нічний провал, ранковий максимум, денний провал, вечірній максимум, ремонтні схеми) з великою кількістю параметрів, які кількісно визначають властивості її елементів. Тому важко собі уявити, яким чином таку комплексну роботу технолог електроенергетичної системи може виконати без спеціальних комп'ютерних програм.

При цьому в чинних нормативних документах існувала проблема неузгодженості частотної автоматики АЕС з частотною автоматикою енергосистем та дії оперативного персоналу АЕС з діями оперативного персоналу енергосистеми в умовах аварійного спаду частоти в енергосистемі (табл.).

Допустимі зниження частоти

Збірник керівних матеріалів Головтехуправління Міненерго СРСР	Типовий регламент безпечної експлуатації енергоблока з реакторами ВВЭР-1000
Зниження частоти менше:	
45,0 Гц – виключається	46,0 Гц – виключається
47,0 Гц – до 20 с	47,0 Гц – до 10 с
48,5 Гц – до 60 с	–
49,0 Гц – до 60...90 с	49,0 Гц – розвантаження блока на 10 %

Вищезазначені автоматичні пристрої діяли на надійність, а відповідно, і на живучість енергосистеми протилежно: автоматика енергосистеми (АЧР) розвантажувала енергосистему (відключає споживачів), а автоматика АЕС розвантажувала і відмикала блоки АЕС. Аналогічні дії були прописані в інструкціях оперативному персоналу АЕС та енергосистем. Одночасний протилежний вплив на енергосистему, як автоматичних пристроїв, так і оперативного персоналу, не мало сенсу.

Але отримати таку інформацію було не дуже просто. Атомні відомства не поспішали надавати її, посилаючись на секретність даних, навіть не зважаючи на те, що процес узгодження важливих документів повинен супроводжуватися виваженням аналізом і оцінюванням з прозорою процедурою залучення здобутків фахових спеціалістів. А коли після появи технічного рішення [2] без жодного обґрунтування стало зрозуміло, що спільного погодження не буде взагалі, НЕК «Укренерго» вимушено погодилось з умовами НАЕК «Енергоатом». В результаті було прийнято рішення перенести мінімальну уставку по частоті на рівень 47,2 Гц, що призвело до втрати енергосистемами 26 % черг системи АЧР, цим самим ще більше похитнувши віру в те, що система АЧР з великою кількістю черг має властивості «самоналаштовуватися» [3] під розвиток аварійної ситуації.

Треба сказати, що це твердження й раніше не сприймалося «на віру». Аналізи деяких аварій, які мали місце в енергосистемах вказували на те, що термін «самоналаштування системи АЧР» був вибраний помилково. І, що необхідність в налаштуванні відповідно структурі генерації та споживання все ж таки існував завжди.

Алгоритм оптимального налаштування системи АЧР

Допустима частотно-часова зона перехідного процесу в енергосистемі в аварійних ситуаціях за умовами безпечної експлуатації енергоблоків АЕС обмежується такими параметрами: нижче 49,0 Гц не має перевищувати 60 с, нижче 47,0 Гц – 10 с, нижче 46,0 Гц – не допустимо.

Вибираючи уставки реле системи АЧР, необхідно керуватися вимогами, викладеними в нормативних документах [1, 2], які в узагальненому вигляді можуть бути сформульовані таким чином:

1. Пристрої системи АЧР повинні ліквідувати дефіцит активної потужності в будь-яких аварійних режимах, починаючи з місцевих і закінчуючи загальносистемними. Необхідно вра-

ховувати, що кожний пристрій системи АЧР буде діяти у разі як локальних, так і системних аварій;

2. Забезпечити вищий рівень частоти в перехідному процесі;

3. Мінімізувати відключення споживачів.

Щоб отримати виконання цих вимог необхідно дослідити за допомогою аварійних ситуацій всі можливі дефіцитні райони, і на основі результатів дослідження отримати максимальну корисність від кожного підключеного до навантаження пристрою АЧР, а загальний набір уставок системи АЧР має бути таким, щоб їх сумарна індивідуальна корисність була максимальною.

Розв'язання цієї задачі будується на системі розрахунків, методика якої базується на спеціальних програмах усталеного режиму, перехідного процесу та програми оптимального вибору уставок системи АЧР [4]. Узагальнена логічна структура методики розрахунку уставок передбачає таку послідовність дій:

Блок 1: підготовка вихідних даних.

Блок 2: розрахунок базового усталеного режиму.

Блок 3: розрахунок аварійного режиму. Записати результати розрахунку в базу аварійних режимів.

Продовжити розгляд аварійних режимів?

Так: перейти на блок 3.

Ні: продовжити.

Блок 4: змінити базовий усталений режим?

Так: перейти на блок 2.

Ні: продовжити.

Блок 5: аналіз дефіцитних районів.

Блок 6: обчислення оптимальних уставок системи АЧР.

Із результатів аналізу дефіцитних районів необхідно знайти таке кооперативне рішення, щоб воно задовольняло вимогам усіх районів для множини базових режимів. Очевидно, що в процесі розв'язання оптимізаційної задачі, кожен дефіцитний район з достатнім обсягом розвантаження буде намагатися вибрати такий набір уставок, щоб, використавши індивідуальну корисність пристрою системи АЧР, отримати для себе найбільшу вигоду для покриття дефіциту активної потужності та створенню сприятливих умов для швидкого підйому частоти в аварійних режимах.

Таким чином, з сукупності дефіцитних районів формується умовно-нейтральна множина цілей. Якщо цю множину цілей використати в обмеженнях для постановки задачі, тоді на конфлікті інтересів дефіцитних районів можна отримати оптимальне колективне рішення, результатом якого буде оптимальний набір уставок.

Виходячи з суджень авторів та детального дослідження дефіцитних районів на основі режимних параметрів аварійних ситуацій, можна записати вираз для визначення уставок системи АЧР. Уставку i -го пристрою системи АЧР по частоті f_i можна визначати з виразу

$$f_i = f_0 - kh,$$

де f_0 — верхня гранична уставка АЧР по частоті, Гц; h — крок черги системи АЧР, Гц; k — позитивне ціле число, таке, що

$$\sum_{q=0}^{k-1} n_q < i \leq \sum_{q=0}^k n_q;$$

n_q — кількість пристроїв в черзі q ; а індекс i відповідає потужності пристрою АЧР, отриманого за формулою

$$\sum_{i=1}^{\gamma} t_i P_i = Z \rightarrow \min, \text{ якщо } \sum_{i=1}^{\gamma} C_{ij} P_i > \Delta P_j, j = \overline{1, l}; P_i > 0,$$

де t_i — коефіцієнт, який залежить від категорії, або значення діючої уставки за частотою пристрою системи АЧР; γ — кількість навантажень підключених до системи АЧР в енергосистемі

мі; l — кількість дефіцитних районів, отриманих в результаті розрахунку аварійних ситуацій; C_{ij} — коефіцієнт, який отримує значення 1, якщо i входить в j -й район та 0, якщо не входить; ΔP_j — дефіцит активної потужності в j -му районі, розрахований на стадії перехідного процесу, МВт; P_i — активна потужність навантаження, яка відключається i -м пристроєм системи АЧР, МВт.

Висновок

Запропонований алгоритм оптимального налаштування системи АЧР реалізований в програмному комплексі [4], в якому завдання синтезу системи АЧР розглядається як задача визначення найкращого набору уставок, які дають можливість розвантажувати енергосистему у відповідності до розвитку аварії в будь-яких аварійних режимах. Таким чином, комп'ютерний аналіз спрощує роботу технолога та надає прийнятним рішенням більшу надійність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Галузевий нормативний документ. Правила застосування системи протиаварійної автоматики запобігання та ліквідації небезпечного зниження частоти в енергосистемах. — К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2004.
2. Галузеве технічне рішення №ТР-Н.1234.05.42-03 «Впровадження пристроїв обмеження часу роботи обладнання за умови відхилення частоти електричного струму від тривалоприпустимих значень на АЕС з енергоблоками ВВЕР-1000». — К. : НАЕК «Енергоатом», 2003.
3. Рабинович Р. С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем / Р. С. Рабинович. — М. : Энергоатомиздат, 1989.
4. Литвинчук В. А. Комплексный подход при выборе уставок устройств автоматической частотной разгрузки энергосистем / В. А. Литвинчук, В. П. Яновский, Н. И. Каплин // Энергетика та електрифікація. — 2009. — № 12. — С. 24—27.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Стаття надійшла до редакції 14.10.11
Рекомендована до друку 10.11.11

Литвинчук Володимир Анатолійович — провідний інженер.

Інститут загальної енергетики, НАН України, Київ;

Яновський Валентин Петрович — доцент, **Бондаренко В'ячеслав Іванович** — інженер.

Кафедра електричних станцій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ