

УДК 621.316.726

В. В. Павловський, д. т. н.; М. В. Вишневецький**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ФОРМУВАННЯ
АВТОМАТИЧНОГО ЧАСТОТНОГО РОЗВАНТАЖЕННЯ В
ЕНЕРГОСИСТЕМАХ**

Проведено аналіз підходів до побудови системи автоматичного частотного розвантаження, розглянуто вимоги чинних нормативних документів щодо автоматичного частотного розвантаження. Проаналізовано переваги та недоліки підходу, що враховує абсолютне значення частоти та швидкість її зміни, підходу з використанням алгоритму оптимального налаштування системи АЧР, який враховує структуру генерації і споживання, а також сучасного підходу до формування АЧР.

Ключові слова: частота, автоматика частотного розвантаження, об'єднана енергосистема України, моделювання, навантаження, перехідні процеси.

Вступ

На сьогодні надійна експлуатація об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України не можлива без використання сучасних засобів регулювання частоти та активної потужності. Таке регулювання може здійснюватися як за рахунок керування генерацією за допомогою системами автоматичного регулювання частоти та активної потужності, яка працює в нормальному та післяаварійному режимах, так і за рахунок керування обсягами споживання автоматикою частотного розвантаження (АЧР), яка працює лише в аварійних ситуаціях.

Однією з основних проблем експлуатації енергосистем є забезпечення її надійної та стійкої роботи в аварійних режимах. Відповідно до проведеного аналізу світового досвіду [1], виникнення найважчих аварій зазвичай пов'язане з втратою значних обсягів генерувальних потужностей або втратою зв'язків району зі значним обсягом навантаження. При цьому спостерігають зниження частоти в дефіцитних за генерацією районах. Для запобігання розвитку аварій, пов'язаних із дефіцитом активної потужності та зниженням частоти, використовують пристрої АЧР.

Зважаючи на надзвичайну важливість роботи АЧР під час ліквідації аварійних режимів, що супроводжуються зниженням частоти, аналіз підходів до формування черг АЧР в ОЕС України набуває особливої актуальності.

Для проведення всебічного аналізу проблеми організації АЧР в ОЕС України в роботі розглянуто перспективний підхід, який враховує абсолютне значення частоти та швидкість зниження частоти, метод із використанням алгоритму оптимального налаштування системи АЧР з урахуванням структури генерації і споживання, а також сучасний підхід до формування АЧР.

Перспективний підхід до формування АЧР, що враховує абсолютне значення частоти та швидкість зниження частоти

Підхід, що враховує абсолютне значення частоти та швидкість зниження частоти, активно пропонують до впровадження в ОЕС України в роботах [1, 2]. На думку його авторів, сучасна система АЧР є штучно уповільненою за рахунок значної кількості черг рівномірно малого обсягу, тому, відповідно до [1, 2] існує небезпека в забезпеченні допустимих для АЕС

рівнів частоти в ОЕС України і, як наслідок, можливість виділення реакторів АЕС на власні потреби. Пропонований підхід ґрунтується на розподілі пристроїв АЧР, за системних дефіцитів активної потужності має спрацьовувати автоматичне частотне розвантаження за швидкістю зниження частоти, а за локальних місцевих дефіцитів активної потужності має спрацьовувати додаткове автоматичне розвантаження.

На сьогодні в галузевому нормативному документі [3] викладені вимоги до використання автоматичного частотного розвантаження за швидкістю зниження частоти зі системних дефіцитів активної потужності, які дозволяють привести сучасну систему АЧР до максимально ефективного стану. Так, у нормативних вимогах, зокрема, визначають граничні швидкості зниження частоти та необхідність обґрунтованого підходу до внесення змін в сучасну систему АЧР. Згідно з п. 9.1. документу [3] організацію АЧР-1Ш загалом для ОЕС України необхідно проводити після створення спеціалізованих програм для налаштування та вибору уставок пристроїв АЧР-1Ш на основі розрахунків тривалих перехідних процесів із зниженням частоти за дефіциту активної потужності та набуття необхідного досвіду впровадження пристроїв АЧР-1Ш в окремих гостродефіцитних районах ОЕС України, у яких (за відсутності АЧР-1Ш) під час їх відділення, як правило, неможливо наявними пристроями АЧР-1 забезпечити ліквідацію важких частотних аварій та повного знеструмлення споживачів. Згідно з п. 9.3., пристрої АЧР-1Ш повинні спрацьовувати з уставками за $f \leq 49,5$ Гц та швидкості зниження частоти (надалі - df/dt) $df/dt \geq 1,7$ Гц/с, із мінімальною витримкою часу $T = 0,15$ с. для відстроювання від короточасних змін частоти [3].

Слід зазначити, що запропоноване в роботі [1] підвищення нижніх уставок АЧР з 47,2 Гц до 48 Гц може призвести до погіршення умов виділення блоків електростанцій на райони зі збалансованим навантаженням за зниження частоти до 47,5 Гц дією ЧДА-2 [3]. У випадку, якщо генерація блоку, що виділяється, є меншою за навантаження району, за рахунок нижніх уставок АЧР (47,2-47,5 Гц) є можливість відімкнення частини навантаження виділеного району за подальшого зниження частоти. Отже, існуючі нижні черги АЧР необхідні для додаткового забезпечення успішного виділення блоків електростанцій на район із частково збалансованим навантаженням унаслідок повільного зниження частоти до 47,5 Гц.

Крім того, розрахунки, на які посилаються в роботі [1], не враховують нові технічні можливості генераторів щодо участі в регулюванні частоти, які з'явилися внаслідок їхньої модернізації, що проводиться на електростанціях ОЕС України. Також необхідно зазначити, що «укрупнення» черг може призвести до вимкнення великих обсягів навантаження і, як наслідок, до значного розгойдкування аварійного режиму енергосистеми.

Метод формування АЧР із використанням алгоритму оптимального налаштування системи АЧР з урахуванням структури генерації і споживання

Метод із використанням алгоритму оптимального налаштування системи АЧР з урахуванням структури генерації і споживання запропоновано в роботах [4, 5]. Формування системи АЧР, відповідно до [5], ґрунтується на проведенні аналізу аварійних режимів (за нормальних і ремонтних схем). Такі розрахунки необхідно виконувати за структурних змін схеми, підключення нових споживачів або інших змін, що потребують перевірки достатності обсягу АЧР. Для проведення розрахунків вхідними даними є перелік аварійних ситуацій, дані щодо розміщення комплектів АЧР та уставки цих пристроїв. На першому етапі формується перелік аварійних режимів. Спочатку за результатами аналізу всіх аварійних

режимів оцінюють відносний вплив кожного пристрою АЧР. Після подальших розрахунків роблять припущення, що шукані обсяги АЧР приймають неперервні значення в діапазоні від нуля до свого дискретного значення. На думку авторів [5], таке припущення дозволяє отримати не тільки оптимальний обсяг розвантаження всієї енергосистеми, але й визначити, який обсяг розвантаження необхідний від кожного пристрою АЧР з урахуванням його місця в топології схеми. Далі виконують пошук районів, які не мають мінімально необхідного обсягу активної потужності для розвантаження. Аналіз дефіцитних за розвантаженням районів необхідний для прийняття рішення про доповнення обсягу розвантаження або ігнорування таких аварійних ситуацій як малоймовірних. На другому етапі проводять визначення набору навантажень для покриття дефіциту активної потужності всіх аварійних ситуацій таким чином, щоб було задіяно їх мінімальна кількість. У результаті проведення комплексу розрахунків визначають значність кожного пристрою АЧР для дефіцитного району, тобто на основі аналізу визначаються участь комплектів АЧР у ліквідації локальних аварійних ситуацій. Якщо не було знайдено локальних аварійних ситуацій для спрацювання комплекту АЧР, роблять висновок про його непотрібність. На цьому ж принципі перевіряють наявність мінімально необхідного обсягу розвантаження для покриття дефіциту активної потужності для кожного дефіцитного району.

Вадою такого підходу є те, що перелік аварійних ситуацій добирають статистично та за допомогою експертного аналізу. Це значно зменшує обсяг розрахунків, проте може призвести до хибних результатів, оскільки не охоплює всю множину можливих аварійних ситуацій. У кінці першого етапу перелік аварійних ситуацій додатково обмежують за рахунок ігнорування частини аварійних ситуацій як малоймовірних, що також знижує надійність результатів.

Метод формування АЧР, який використовують в ОЕС України

Згідно з п. 6.1.1. [3], АЧР призначене для запобігання небезпечному зниженню частоти в разі виникнення дефіциту активної потужності в ОЕС України або її окремій частині шляхом вимкнення частини навантаження споживачів. Вимкнення споживачів необхідно проводити невеликими чергами за повільного зниження частоти. На сьогодні за критичну прийнята швидкість зниження частоти більше 1,7 Гц/с, проте рекомендації щодо визначення критичної швидкості зниження частоти мають бути визначені спеціальною методикою на підставі масштабних розрахункових експериментів на якісній математичній моделі енергосистеми.

Робота щодо формування методики визначення критичної швидкості зниження частоти, а також налаштування та вибору уставок пристроїв АЧР, які реагують на швидкість зниження частоти, у планах науково-технічного центру електроенергетики.

Відповідно до «Інструкції про складання і застосування графіків обмеження та аварійного вимкнення споживачів, а також протиаварійних систем зниження електроспоживання» [6], АЧР розробляють, застосовують та переглядають згідно з «Правилами застосування системної протиаварійної автоматики запобігання та ліквідації небезпечного зниження або підвищення частоти в енергосистемах» [3]. У таблицях 1 – 2 наведено діючу структуру АЧР у відсотках та в навантаженнях минулого року.

Таблиця 1

Розподіл навантаження в ОЕС України, що вимикають дією АЧР-1 (САЧР, ЗАЧР та основної черги АЧР-1), залежно від уставки за частотою

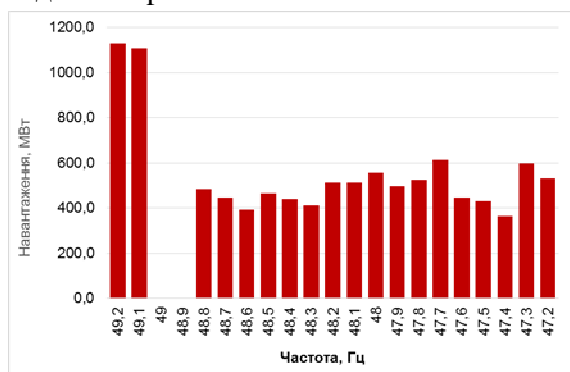
№ п/п	Частота спрацювання	Потужність навантаження, що вимикають, МВт	Частка потужності навантаження, що вимикають, %
1.	49,2	1130,4	10,81
2.	49,1	1108,2	10,60
3.	48,6	482,8	4,62
4.	48,5	445,5	4,26
5.	48,4	391,4	3,74
6.	48,3	465,9	4,46
7.	48,2	440,1	4,21
8.	48,1	411,8	3,94
9.	48	510,8	4,89
10.	47,9	512,8	4,91
11.	47,8	554,6	5,31
12.	47,7	496,0	4,74
13.	47,6	524,5	5,02
14.	47,5	611,2	5,85
15.	47,4	445,1	4,26
16.	47,3	431,1	4,12
17.	47,2	365,2	3,49
Усього:		10453,6	100

Таблиця 2

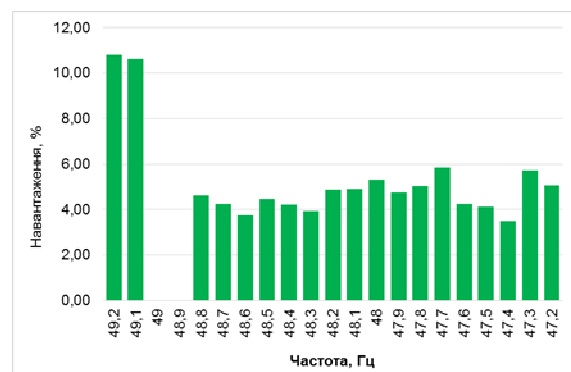
Розподіл навантаження в ОЕС України, що вимикають дією АЧР-2 (суміщеної), залежно від уставки за частотою

№ п/п	Частота спрацювання	Потужність навантаження, що вимикають, МВт	Частка потужності навантаження, що вимикають, %
1.	49	1643,4	21,1
2.	48,9	1696,0	21,8
3.	48,8	2426,5	31,2
4.	48,7	2012,4	25,9
Усього:		7778,3	100

Графічне відображення навантаження, що вимикають дією АЧР-1 в ОЕС України, наведено на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Графічне відображення потужності навантаження в ОЕС України, що вимикають дією АЧР-1: а) в абсолютних одиницях; б) у відсотковому співвідношенні

На сьогодні перегляд уставок АЧР відбувається раз на рік відповідно до щорічного «Рішення про принципи формування системи АЧР-ЧАПВ в ОЕС України на осінньо-зимовий максимум». Згідно з рішенням кожній з енергосистем встановлюють обсяг навантаження, яке має бути заведене під дію АЧР, у відсотках від загального споживання для кожної черги. Отже, обсяги навантаження, що заведене під АЧР, щороку переглядають та корегують відповідно до вимог чинних нормативних документів [3]. Уважають, що такий підхід забезпечує ефективну роботу АЧР, а саме: запобігає зниженню частоти, нижчої відповідного рівня більше допустимого часу та дає змогу автоматично відновити нормальну роботу енергосистеми.

Висновки

Кожний із розглянутих методів формування АЧР має певні переваги та недоліки. Основним недоліком методу, який враховує абсолютне значення частоти та швидкість зниження частоти, є втрата гнучкості через укрупнення черг порівняно з існуючою. Крім того, підвищення уставок нижніх черг вище рівня ЧДА-2 може погіршити виділення блоків електростанцій на райони із частково збалансованим навантаженням. Метод із використанням алгоритму оптимального налаштування системи АЧР з урахуванням структури генерації і споживання не розглядає всю можливу множину аварійних ситуацій і може бути корисним лише для дослідження невеликих енергорайонів.

Проведений аналіз показав, що жоден із запропонованих методів не враховує перспективи та вже виконані заміни обладнання електростанцій, яке бере участь у регулюванні частоти та яке необхідно враховувати під час обчислення тривалих перехідних процесів.

Для якісного дослідження доцільності внесення змін до існуючої системи формування АЧР необхідне проведення масштабних розрахункових досліджень тривалих перехідних процесів у ОЕС України з урахуванням моделювання комплектів АЧР та врахуванням обладнання, яке бере участь у регулюванні частоти. Це потребує застосування деталізованої якісної моделі й сучасних програмних комплексів.

Варто зазначити, що всі розглянуті методи під час виконання розрахунків не враховують існуючі в ОЕС України обмеження на перетоки потужності по контрольованим перетинам, а отже, не враховують можливість порушення стійкості режимів за зміни поточкорозподілу внаслідок роботи АЧР за зниження частоти. Останнє може призвести до додаткового розвитку аварій під час роботи АЧР, пов'язаних з втратою статичної стійкості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Данильчук В. Н. Автоматика ограничения изменения частоты энергосистем / В. Н. Данильчук. – К., 2014. – 439 с.
2. Данильчук В. Н. Новые технические аргументы необходимости реформирования системы АЧР энергосистемы / В. Н. Данильчук, Е. А. Коломиец // Энергетика та електрифікація : науково-виробничий журнал. – 2009. – № 10. – С. 40 – 47.
3. Наказ «Про затвердження Правил застосування системної протиаварійної автоматики запобігання та ліквідації небезпечної зниження або підвищення частоти в енергосистемах» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z1177-03>.
4. Литвинчук В. А. О стратегии настройки системы автоматической частотной нагрузки энергосистем / В. А. Литвинчук, В. П. Яновский, Н. И. Каплин // Энергетика и электрификация. – 2005. – № 8. – С. 25 – 31.
5. Литвинчук В. А. Передбачення аварій з дефіцитом активної потужності в енергосистемах / В. А. Литвинчук // Энергетика и электрификация. – 2004. – № 6. – С. 29 – 32.
6. Наказ «Про затвердження Інструкції про складання і застосування графіків обмеження та аварійного відключення споживачів, а також протиаварійних систем зниження електроспоживання» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0151-07>.

Павловський Всеволод Виталійович – д. т. н., провідний науковий співробітник.

Інститут електродинаміки Національної академії наук України.

Вишневський Микита Володимирович – заступник начальника служби оптимізації електричних режимів, e-mail: p0509652592@gmail.com.

Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго».