

Висновки

1. Порівняно з існуючими моделями оцінки техніко-економічної ефективності розроблена модель проста та зручна у використанні і не потребує значних попередніх розрахунків, так як це, наприклад, вимагається в моделях, які основані на методі ієрархій [2].

2. Запропонована модель є універсальною і може використовуватися для будь-яких методів очистки вод. Також вона може бути використана для розробки узагальненої моделі оцінки техніко-економічної ефективності впровадження методу (розробки, проекту) очистки вод.

1. Звіт про виконання науково-дослідної роботи "Розробка технології з підвищення ефективності очищення шахтних вод від хімічних забруднювачів". – Київ: ДУ «ІГНС НАН України», 2012. – 108 с.
2. СОУ 42.1-376441918-093:2012 Мости та труби. Варіантне проектування мостів.

Поступила 25.08.2014р.

УДК 621.3

С. Д. Винничук, м.Київ

СИТУАТИВНИЙ АЛГОРИТМ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЧАСТОТНОЇ ПРОТИАВАРІЙНОЇ АВТОМАТИКИ В ПРОЦЕСІ ГЛИБОКОГО ЗНИЖЕННЯ ЧАСТОТИ

Abstract. Describes an algorithm for determining the situational conditions of the transition between the states for a number of frequency components of the emergency control system in the evaluation of their performance in the course of dynamic processes of change of frequency in the power system associated with the emergence of active power imbalances.

Keywords: frequency emergency control, load shedding.

Вступ. Стійка роботи електроенергетичних систем досягається як на основі ефективного диспетчерського управління, так і ефективної системи протиаварійної автоматики (ПА). Серед складових ПА окремо виділяють частотну ПА, завдання якої полягає в забезпеченні допустимого рівня частоти в енергосистемі (ЕС), чи її частині.

Довгостроково припустимий режим роботи об'єднаної ЕС України за частотою відповідає діапазону 49.2 – 50.5 Гц. Вихід за його межі вважається аварійною ситуацією, ліквідацію якої повинна забезпечити частотна ПА. Серед складових частотної ПА виділяють [1-3]: АЧР, ЧАПВ та ін. На зміну частоти в ЕС впливає також автоматика енергоблоків АЕС [4], де можливе як

© С. Д. Винничук

зниження потужності генерації, так і їх відключення від мережі.

Ефективність частотної ПА перевіряється в ході частотних аварій, які можуть виникнути в ЕС. Проте такі випадки зустрічаються рідко та спричиняють значні збитки. Тому основним способом оцінки ефективності частотної ПА залишається математичне моделювання дії ПА при зміні частоти в ЕС. Розробці ефективних алгоритмів моделювання дії пристроїв частотної ПА присвячена дана робота.

Основна частина. Кожна зі складових частотної ПА діє згідно встановлених для неї правил, які слід точно відтворити при моделюванні. Тому при моделюванні кожна з них описується окремо. Розглянемо правила дії таких основних складових ПА як АЧР, ЧАПВ та автоматики атомних енергоблоків.

1. Алгоритми функціонування складових системи АЧР.

В системі АЧР виділяють підсистеми:

- АЧР1 – швидкодіюча підсистема, що складається з ряду черг, завдання якої полягає в зупиненні зниження частоти при виникненні в ЕС дефіциту активної потужності генерації;

- АЧРШ – швидкодіючі складові черг АЧР1, для яких можливий другий пуск за швидкістю зниження частоти;

- АЧР2н – повільно діюча підсистема (складається з ряду черг), завдання якої полягає в підвищенні частоти до довгостроково-допустимого рівня;

- АЧР2с – повільно діючі складові черг АЧР1, для яких можливий другий пуск з більш високим рівнем уставки за частотою.

Кожна з черг АЧР технічно реалізується реле частоти, в якому використовуються параметри, подані в табл.1.

Табл.1. Параметри черг АЧР

Параметри	Черги складових АЧР			
	АЧР1	АЧРШ	АЧР2н	АЧР2с
Частота (f)	+	+	+	+
Швидкість зниження частоти (f')	-	+	-	-
Другий пуск за частотою (f_2)	-	+	-	+
Затримка часу (діапазон значень)(Δt)	до 0.5 с	до 0.3 с	5 – 20 с	більше 20 с
Потужність навантаження, що відключається чергою (ΔP)	+	+	+	+
Прив'язка до черги АЧР1 (код черги – kch)	-	+	-	+
Частота повернення реле до активного стану (f_a)	+	+	+	+

На основі значень параметрів, наведених в табл.1, для черг АЧР1, АЧР2н та АЧР2с формується алгоритм дії реле частоти, що описується наступною

послідовністю станів:

0. Стан, при якому реле активне (може відключити певний обсяг потужності навантаження) та частота вище за значення уставки частоти f_0 ($f > f_0$).
1. В момент часу t_0 частота стала нижчою за значення уставки ($f < f_0$). На протязі часу від t_0 до t_1 ($t_1 = t_0 + \Delta t$ + час спрацювання реле) контроль умови $f < f_0$. Якщо умови $f < f_0$ виконана, то перехід до стану 2, а інакше повернення до стану 0.
2. Контроль досягнення часу $t_2 = t_1$ + час спрацювання вимикача. При $t > t_2$ відключення закріпленого за реле навантаження в обсязі ΔP та перехід до стану 3. Стан реле – не активне.
3. Контроль частоти. При $f > f_a$ перехід до стану 0.

Для черг АЧРШ алгоритм роботи реле містить стани, аналогічні станам 0, 2 та 3 черг АЧР1, де для стану 0 уставкою буде частота f_2 , а при відключенні навантаження в стані 2 на таку ж величину зменшується обсяг навантаження відповідної черги АЧР1. Стан 1 для АЧРШ замінюється на наступний:

1. Після моменту часу t_0 , коли частота стала нижчою за значення уставки ($f < f_0$), на протязі часу від t_0 до t_1 ($t_1 = t_0 + \Delta t$ + час спрацювання реле) контроль умови $f < f_0$. Якщо умова $f < f_0$ буде виконана, то при $f' \geq f_0'$ перехід до стану 2, а інакше перехід до стану 0. Крім того, контроль досягнення часу $t + \delta t$ та визначення швидкості зміни частоти через різницю частот на протязі часу δt ($\delta t \leq \Delta t$): $f' = (f(t + \delta t) - f(t)) / \delta t$. Якщо $f' < f_0'$, то $t_0 = t_0 + \delta t$. Реле залишається в стані 1.

2. Алгоритми функціонування черг ЧаПВ. Кожна з черг ЧаПВ відповідає певній черзі АЧР і стає активною (може підключати навантаження) тільки після спрацювання відповідної черги АЧР. Тому множина станів та переходи між ними відповідають наступному:

0. Стан, при якому реле не активне, оскільки не спрацювала відповідна черга АЧР.
1. Після спрацювання черги АЧР реле активне (може підключати певний обсяг потужності навантаження), але частота нижче за значення уставки частоти f_0 ($f < f_0$).
2. В момент часу t_0 частота перевищила значення уставки ($f > f_0$). На протязі часу від t_0 до t_1 ($t_1 = t_0 + \Delta t$ + час спрацювання реле) контроль умови $f > f_0$. Якщо умова $f > f_0$ виконана, то перехід до стану 3, а інакше повернення до стану 1.
3. Контроль досягнення часу $t_2 = t_1$ + час спрацювання вимикача. При $t > t_2$ підключення закріпленого за реле навантаження та перехід до стану 4. Стан реле – не активне.
4. Контроль частоти. При $f < f_a$ перехід до стану 1.

3. Алгоритми функціонування автоматики енергоблоків АЕС з реакторами ВВЕР-1000. Серед енергоблоків АЕС, задіяних в енергосистемі України, основну частину генерації забезпечують енергоблоки з реакторами ВВЕР-1000, для яких автоматика управління їх роботою при зниженні частоти серед енергоблоків АЕС є найскладнішою. При зниженні частоти нижче 49 Гц на протязі до 10-20 с знижується їх теплова потужність до 90% від номінальної, що відповідає 13-18% електричної потужності. Якщо ж частота буде нижча 48.75 Гц на протязі 300 с, чи нижча 48 Гц на протязі 60 с, чи нижча 47 Гц на протязі 10 с, або нижча 46 Гц (без часу затримки), то енергоблок виділяється на живлення власних потреб. Аналогічне виділення (відключення від мережі) також повинно мати місце у випадку підвищення частоти вище 50.5 Гц на протязі 10 с, або при частоті вище 51 Гц. Основним параметром, що управляє роботою частотної автоматики блоків АЕС є частота та час відліку $t_{\text{АЕС}}$.

4. Параметри які слід контролювати для можливості визначення умов переходу складових частотної ПА до нового стану. При моделюванні частотного динамічного процесу в ЕС, незалежно від математичної моделі самого процесу зміни частоти та напруги в мережі, на кожному кроці часу слід знати:

- поточне значення частоти та його співвідношення з уставками частоти для складових частотної ПА;
- поточний час та його співвідношення з часом, що враховує уставки затримки та затримку реле і вимикача;
- правила співвіднесення черг АЧРШ, АЧР2с та ЧАПВ з відповідними їм чергами АЧР;
- попередній стан реле.

Додатково для АЧРШ крім поточного значення частоти слід визначати швидкість її зміни і співвідношення з уставками як частоти f_2 , так і швидкості f' .

За наявності такої інформації можливим стає визначення умов зміни стану керуючих реле, що може бути реалізовано наступними способами:

А) в кожен момент часу на основі значень виділених параметрів перевіряються всі умови переходів між станами;

Б) у визначений момент часу визначаються умови переходу до нового стану одного з керуючих реле, в момент переходу до нового стану визначаються нові такі умови, а в інші моменти часу визначаються тільки поточне значення частоти і часу для їх порівняння з відповідними контрольними значеннями.

Другий підхід є більш економним стосовно обчислювальних затрат і саме його пропонується використовувати при моделюванні дії частотної ПА у випадках аварійних процесів зниження чи підвищення частоти. В даній статті такий підхід названо ситуативним.

На основі аналізу алгоритмів функціонування таких складових частотної

ПА як АЧР, ЧАПВ та автоматики АЕС для реалізації алгоритму моделювання дії такої автоматики на основі ситуативного підходу було виділено варіант, коли зміна стану неможлива, а також 11 варіантів ситуацій v_c , коли така зміна можлива.

$v_c = 0$. На даний момент часу стан не змінюється. У визначені нових умов зміни стану немає потреби. Здійснюється тільки поточний розрахунок динамічного режиму зміни частоти.

$v_c = 1$. Досягнуто час, коли чергою АЧР чи АЧРШ, для яких реле знаходиться в стані 2, відключається навантаження, або таке навантаження підключається чергою ЧАПВ ($|t-t_2| < 0.5dt$, dt – крок по часу при моделюванні динамічного процесу зміни частоти). Для АЧР стан 2 переходить в стан 3. Для ЧАПВ – стан 3 в стан 0. У випадку черги АЧРШ на кроці 1 визначається швидкість зміни частоти та може змінюватися початок відліку часу t_0 , або стан 1 змінюється на стан 2. Визначення нових умов зміни стану.

$v_c = 2$. Для черги АЧР частота нижче її уставки ($f < f_0$). Для цієї черги перехід до стану 2. Визначення нових умов зміни стану.

$v_c = 3$. Після спрацювання черги АЧР при $f > f_a$ повторне включення в роботу черги АЧР, тобто перехід до стану 0. Визначення нових умов зміни стану.

$v_c = 4$. Для черги АЧР, що перебувала в стані 1, частота перевищила значення уставки ($f > f_0$). Для цієї черги перехід до стану 0. Визначення нових умов зміни стану.

$v_c = 5$. Після спрацювання черги АЧР при $f > f_a$ повторне включення в роботу черги АЧР, тобто перехід до стану 0. Визначення нових умов зміни стану.

$v_c = 6$. Для черги ЧАПВ частота вища за уставку ($f > f_0$). Для цієї черги перехід до стану 2. Визначення нових умов зміни стану.

$v_c = 7$. Після спрацювання черги ЧАПВ при $f < f_a$ повторне включення в роботу черги ЧАПВ, тобто перехід до стану 1. Визначення нових умов зміни стану.

$v_c = 8$. Для черги ЧАПВ, що перебувала в стані 2, частота нижче уставки ($f < f_0$). Для цієї черги перехід до стану 1. Визначення нових умов зміни стану.

$v_c = 9$. Для блоку АЕС досягнуто час його відключення від мережі.

$v_c = 10$. Для блоку ВВЕР-1000 досягнуто частоту нижче уставки (при частоті $f < 50$ Гц) чи вище уставки (при частоті $f > 50$ Гц) та встановлено час відключення від мережі. Якщо частота перевищила уставку (при $f < 50$ Гц), або стала меншою за уставку (при $f > 50$ Гц), то відлік часу до відключення блоку анулюється.

$v_c = 11$. Для блоку РБМК-440 досягнуто частоту нижче уставки (при частоті $f < 50$ Гц) чи вище уставки (при частоті $f > 50$ Гц) та встановлено час відключення від мережі. Якщо частота перевищила уставку (при $f < 50$ Гц), або стала меншою за уставку (при $f > 50$ Гц), то відлік часу до відключення блоку анулюється.

Розробка комп'ютерного додатку та результати моделювання.

Комп'ютерні моделі розроблялися з використанням мови програмування C/C++. Для одного з варіантів моделі (програмний комплекс ПАНЧЕР) в роботах [5,6] детально описано всі вхідні дані, при яких стало можливим моделювання динамічного частотного процесу на основі одноузлової одночастотної моделі. Одночастотна модель процесів динамічної зміни частоти детально подана в роботах [7,8] та для неї встановлено [9], що для оцінки дії частотної ПА у випадку компактних ЕС вона з достатньою точністю характеризує загальний рух системи за частотою у випадках значних небалансів активної потужності генерації та навантаження.

Слід зауважити, що використання ситуативного алгоритму врахування дії складових частотної ПА дозволило суттєво зменшити час на аналіз стану черг АЧР та ЧАПВ. Так при кроці за часом 0.001 секунди та часу моделювання режиму 100 секунд аналіз стану релейної автоматики для черг АЧР та ЧАПВ слід було б проводити 100000 раз, хоча сумарне число змін стану одної черги 4, а для 100 черг – всього 400. Даний підхід забезпечив зменшення часу розрахунків режиму в 5-50 разів (в залежності від числа черг, кроку за часом та часу моделювання), що важливо при варіантному аналізі дії частотної автоматики.

Результати моделювання подаються у табличному вигляді з деталізацією інформації про час спрацювання черг АЧР, ЧАПВ та автоматики АЕС, а також в графічному вигляді, що дозволяє наочно оцінювати хід частотного процесу для ряду режимів (до 10) одночасно. Приклад такого подання результатів розрахунків у табличному та графічному вигляді наведено в роботі [6].

Висновки. Ефективні алгоритми розрахунку динамічних режимів можуть бути побудовані в ряді випадків на основі аналізу ситуацій, що виникають не часто, але вимагають значного часу для свого аналізу. Проведення такого аналізу на кожному кроці часу можна тоді замінити аналізом умов, при виникненні яких змінюється стан складових системи. Для реалізації такого підходу необхідний детальний аналіз факторів, що визначають зміну стану, а також формування правил послідовних переходів між станами. В статті наведено результати таких досліджень стосовно частини складових системи частотної ПА.

1. *Галузевий нормативний документ.* Правила застосування системи протиаварійної автоматики запобігання та ліквідації небезпечного зниження частоти в енергосистемах. ОЕП «ГРІФРЕ». /Наказ Міністерства палива та енергетики України 01.12.2003 № 714. – Київ, 2004.
2. *Галузевий нормативний документ.* Правила застосування системи протиаварійної автоматики запобігання та ліквідації небезпечного зниження частоти в енергосистемах. /Із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості № 553 від 31.07.2012.
3. *В.Н. Данильчук, Е.А. Коломиец, А.И. Кудрявцев.* Этапы развития системы частотной разгрузки энергосистем и решения ее проблем в современных условиях./

Энергетика и электрификация. – 2011. – № 1. – С. 32 – 43.

4. *Технологический регламент* безопасной эксплуатации АЭС, 1988.

5. *Винничук С.Д., Данильчук В.Н., Панов А.В.* Требования к анализу частотных электрических режимов в современных условиях. Киев, Энергетика и электрификация, № 3, 2006.

6. *Винничук С.Д., Данильчук В.Н., Панов А.В.* Современные средства проблемного анализа частотных электрических режимов. Киев, Энергетика и электрификация, № 6, 2006.

7. *Рабинович Р.С.* Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. М, Энергоатомиздат, 1989.

8. *Герих В.П., Логвинов Н.П.* О математической модели автоматической частотной розгрузки для исследования переходных процессов в электрической системе. //Новое в Российской энергетике. Электронный журнал.” Энерго-пресс” - №7. – 2002.

9. *Винничук С.Д.* Проблемы организации частотной противоаварийной автоматики по скорости изменения частоты в компактных энергосистемах. / Электрические сети & системы. - № 4. – 2013. – С. 60 – 65.

Поступила 8.09.2014р.

УДК 681.513.672

В.П. Білан, Львів

СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА НАТЯГУ СТРІЧКИ СТРІЧКОЖИВИЛЬНОЇ СИСТЕМИ АРКУШЕРІЗАЛЬНИХ МАШИН НА ОСНОВІ ЇЇ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ

Abstract. This article devoted to a build web feeding section simulation model of roll sheeting machines that considers the impact disturbances caused by rolls eccentricity and ovality and synthesis tape material tension regulator on the basis of it.

Постановка задачі. Актуальність

Розрізування паперової стрічки, що розмотується з рулона, на аркуші стандартних форматів для подальшого задрукування на аркушевих друкарських машинах є важливим технологічним процесом. Він вимагає забезпечення сталої величини натягу стрічки в усіх секціях аркушерізальної машини, щоб уникнути варіації лінійних розмірів окремих аркушів у стопі паперу на прийомному столі. Враховуючи велику масу стандартних рулонів поліграфічного паперу, можна зробити припущення, що неспівпадіння центру мас і осі обертання (ексцентриситет) рулону, а також його овальність спричиняють значні коливання натягу стрічки. Для перевірки цього припущення та дослідження роботи стрічкоживильної системи аркушерізальної машини, необхідною є розробка адекватної її моделі. Крім того з допомогою цієї моделі, використавши емпіричні методи синтезу