

ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА РИНКИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

УДК 621.311:004.415.2

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ СКООРДИНОВАНОГО КЕРУВАННЯ ПЕРЕТИНАМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГООБ'ЄДНАННЯ

В.М. Авраменко, докт. техн. наук, **Т.М. Гурєєва**, пров. інж.-прогр., **Н.О. Бабіч**, пров. інж.,
А.О. Янкіна, інж.-прогр.

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Запропоновано і досліджено алгоритм адаптивної протиаварійної автоматики, який передбачає формування і використання об'єднаного для Південної й Кримської ЕЕС списку послідовності вимикання навантаження на підстанціях енергосистем спеціальною автоматикою вимикання навантаження (САВН) пропорційно дефіциту активної потужності енергосистем, які відділяються від ОЕС досліджуваним перетином. Біл. 5, рисунок, табл. 5.
Ключові слова: енергосистема, перетин, стійкість, протиаварійна автоматика, координація.

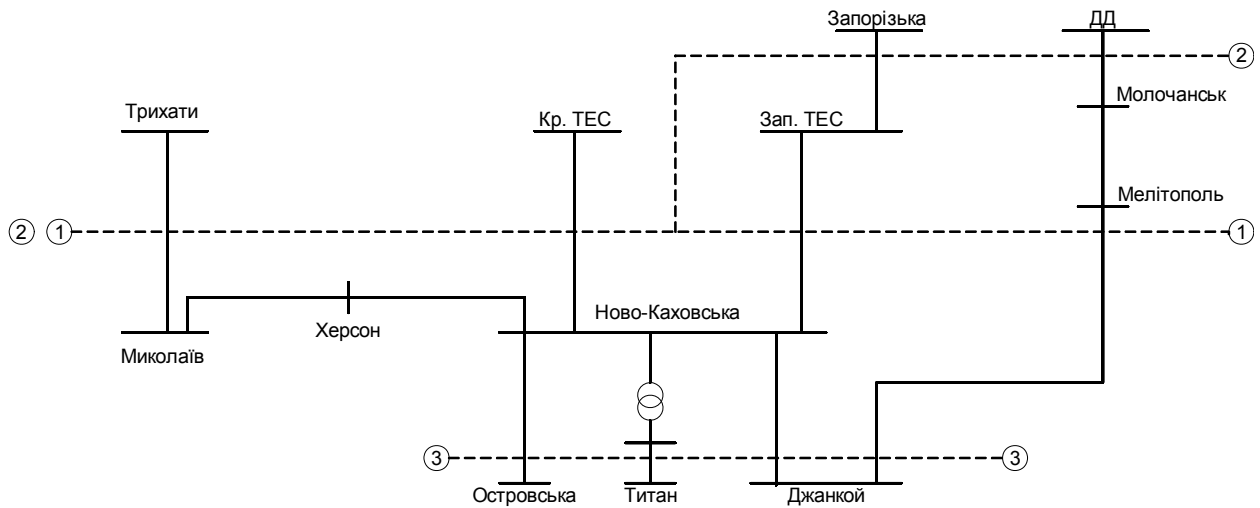
Використання програмного забезпечення оцінювання стану (розрахунку поточного електричного режиму ОЕС на основі телеінформації) створює умови для розробки адаптивних систем протиаварійного керування, тобто таких систем, в яких обсяги керівних дій визначаються відповідно до поточного стану енергосистеми [3, 5]. Необхідні для забезпечення нормативів стійкості обсяги визначаються на заданій множині зовнішніх збурень та для заданих траєкторій обважнення режиму. Так само заданими є послідовні черги вимикання навантаження у вузлах енергосистеми спеціальною автоматикою САВН [4].

Алгоритми адаптивної протиаварійної автоматики (ПА), власне, періодичне визначення обсягів навантаження, яке вимикається в певних умовах автоматикою, мають будуватися з урахуванням вимог нормативного документа «Стійкість енергосистем. Керівні вказівки» [1]. Цей документ передбачає, зокрема, для забезпечення статичної стійкості дотримання нормативного запасу стійкості щодо активної потужності у перетині, а також щодо напруги у вузлах навантаження.

Південний регіон ОЕС України є одним з найбільш напружених у сенсі забезпечення стійкості ОЕС. По лініях цього регіону здійснюється електропостачання гостродефіцитної Кримської ЕЕС і дефіцитного регіону Південної ЕЕС НЕК «Укренерго». Забезпечити нормативні вимоги щодо стійкості [1] неможливо без використання САВН, яка діє в разі аварійного вимикання ліній у певних перетинах регіону. В практиці диспетчерського керування НЕК контролюються три перетини в цьому регіоні (рисунок).

Перетин № 3 (Кримський) відділяє від ОЕС Кримську ЕЕС, перетини № 2 і 1 відділяють від ОЕС Кримську ЕЕС разом з дефіцитною частиною Південної ЕЕС. Режим перетину № 2 суттєво залежить від потужності, яку видає Запорізька ТЕС. Перетин № 1 будемо називати Південним. Узагальнену схему перетинів показано на рисунку.

Особливість цього регіону полягає в тому, що потужність у перетинах, яку треба обмежувати для забезпечення нормативного запасу стійкості, у різній пропорції залежить від навантаження і Кримської, і Південної ЕЕС. Щоб врахувати це, пропонується формування і використання об'єднаного для Південної і Кримської ЕЕС списку послідовності вимикання навантаження на підстанціях енергосистем спеціальною автоматикою САВН пропорційно дефіциту активної потужності енергосистем, які відділяються від ОЕС досліджуваним перетином. Таким чином досягається координація, узгодження обсягів навантаження, яке вими-



кається в Кримській і Південній ЕЕС в аварійних ситуаціях, з одночасним контролем усіх трьох перетинів з одного центру протиаварійного керування, який знаходиться на ПС-330 кВ Ново-Каховська. Крім того, зважаючи на те, що потужності у трьох контрольованих перетинах тісно пов'язані між собою і фактично є наслідком зміни навантаження в однакових кліматичних районах, це треба враховувати у формуванні траєкторії обважнення режиму, яка використовується у розрахунках границі статичної стійкості у перетині енергосистеми.

Дослідження алгоритму здійснювалося на реальному режимі вечірнього максимуму ОЕС України, розрахованому як задача оцінювання стану за допомогою ПК «КОСМОС» на 2.03.2012 р. о 19-30. Розрахункова схема має 719 вузлів, 60 генераторів (електростанцій, енергоблоків). Предметом дослідження була адаптивна автоматика, завдання якої забезпечувати нормативний рівень статичної стійкості післяаварійних режимів ОЕС стосовно Південного перетину ОЕС України. Пусковими сигналами автоматики є аварійні вимкання ліній у досліджуваному перетині, а виконавчими органами – спеціальна автоматика САВН, яка вимикає частину навантаження у заданих центрах споживання енергосистеми. Заданою є також послідовність спрацьовування (вимкання черг навантаження) САВН.

Зважаючи на зазначені вище особливості південного регіону ОЕС України, запропоновано формувати і використовувати об'єднаний спільний список черг САВН Південної і Кримської ЕЕС, виходячи з того, що САВН Південної ЕЕС має такі обсяги, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

№ вузла у розрахунковій схемі	Назва підстанції (станції)	Активна потужність, яка вимикається, МВт
516	Херсон	2x15
517	Ново-Каховська	3x15
526	Миколаїв	10+15

В об'єднаному списку черг САВН черги Кримської і Південної ЕЕС мають таку послідовність, що обсяги навантаження, яке вимикається, приблизно пропорційні дефіцитам Кримської ЕЕС і району Південної ЕЕС, який відділяється від ОЕС Південним перетином. У базовому режимі потужність у Кримському перетині $P_3 = 1086$ МВт, дефіцит району Південної ЕЕС дорівнює $P_1 - P_3 = 1309 - 1086 = 223$ МВт, тобто пропорція становить приблизно 1:0,2. Виходячи з цього, сформовано спільний список черг САВН, на основі якого діє центральний пристрій автоматики.

Противарійна автоматика енергосистем має діяти таким чином, щоб задовольнялися вимоги керівних вказівок «Стійкість енергосистем» [1]. Стосовно статичної стійкості цей документ визначає мінімальні допустимі запаси з активної потужності у критичних перетинах енергосистеми, а також напруги у вузлах навантаження.

Адаптивна ПА, яку ми будуємо, є різновидом автоматики запобігання порушенню стійкості (АЗПС). У разі можливих аварійних збурень вона здійснює вимкання навантаження та-

кого обсягу, щоб післяаварійний режим, який виникає внаслідок збурення, мав запаси стійкості не менші, ніж мінімально допустимі, визначені нормативом.

Відповідно до нормативу [1] значення коефіцієнта запасу з активної потужності в перетині визначають за формулою

$$K_p = \frac{P_{гр} - P - \Delta P}{P}, \quad (1)$$

де $P_{гр}$ – активна потужність, яка передається через контрольований перетин, у граничному за статичною стійкістю режимі (п. 9.4.3 цих вказівок), МВт; P – перетік потужності в контрольованому перетині в режимі, що розглядається, > 0, МВт; ΔP – амплітуда нерегулярних коливань активної потужності в контрольованому перетині в режимі, що розглядається, МВт.

Значення коефіцієнта запасу з напруги у вузлах навантаження визначають за формулою

$$K_u = \frac{U - U_{кр}}{U}, \quad (2)$$

де U – напруга вузла в режимі, який розглядається, кВ; $U_{кр}$ – критична напруга в цьому самому вузлі, яка відповідає межі, нижче якої має місце порушення стійкості навантаження (п. 9.4.7 цих вказівок), кВ.

Для вимушеного (післяаварійного) режиму норматив [1] передбачає (п. 8.2) мінімальний коефіцієнт запасу з активної потужності $K_p=0,08$, мінімальний коефіцієнт запасу з напруги 0,10. Згідно з нормативом [1], п. 7.1.5, граничний із статичної стійкості режим визначають шляхом прийнятої траєкторії обважнення, що є послідовністю усталених режимів, яка дає змогу досягти межі області статичної стійкості для певної схеми та режиму роботи енергосистеми.

Таким чином, загальний алгоритм дії адаптивної ПА (визначення обсягів навантаження, яке вимикається спеціальною автоматикою САВН) має такий вигляд:

- зовнішній цикл по пускових органах автоматики ПО_{*i*}, $i = 1 \dots m$.
- розрахунок і цикл покрового обважнення післяаварійного режиму з обчисленням і перевіркою коефіцієнтів запасу K_p і K_u . Якщо досягнуто нормативних значень K_p нормат. і K_u нормат., робиться висновок, що керівні дії автоматики для забезпечення статичної стійкості післяаварійного режиму для даного ПО_{*i*} не потрібні. У протилежному випадку виконується цикл на виконання керівних дій.

Метою алгоритму є формування коду керівних дій (КД) як послідовності нулів і одиниць (одиниця – сигнал на вимикання навантаження, нуль – відсутність сигналу) відповідно до послідовності черг САВН.

Дослідження алгоритму адаптивної ПА здійснювалося шляхом імітаційного моделювання [2], тобто виконання розрахунків визначення обсягу керівних дій автоматики з використанням запропонованого алгоритму для післяаварійних режимів Південного перетину ОЕС України. Як видно з рисунка, у цьому перетині 4 лінії 330 кВ і для нормального режиму маємо перелік з чотирьох пускових органів – аварійного вимикання по черзі кожної з ліній у перетині. Таким чином, перевіряємо стійкість відповідно до критерію N-2.

Таблиця 2

№ черги	№ вузла	Назва підстанції (станції)	Активна потужність, яка вимикається, МВт
1	444	Сімферопольська ТЕЦ	14
2	469	Центральна	27
3	526	Миколаїв	10
4	476	Бахчисарай	15
5	438	Саки	15
6	432	Зах.Кр	2
7	516	Херсон	15
8	402	Джанк.220	21
9	479	Остр.-110	5
10	517	Ново-Каховська	15
11		Вимк. ПЛ 414-488, вимк. ПЛ 457-486	80
12	526	Миколаїв	15
13	457	Феодосія1101	10
14	516	Херсон	15
15		Вимк. ПЛ 407-420, вимк. ПЛ 474-483	119
16	517	Ново-Каховська	15
17	517	Ново-Каховська	15

Таблиця 3

Номер пусково-го органу	Назва лінії, яка вимикається	Черги КД	Коеф. обважнення $K_{обв.}$	Перетин 1. Загальний перетік Р, МВт / dP, в.о.	Перетин 3. Загальний перетік Р, МВт / dP, в.о.	K_u / Номер вузла
ПО-1	КР.ТЕС-Ново-Каховська	-	1,0	1500,5	1072,2	0,24 / 8663
		-	1,17	1710,2 / 0,14	1193,6 / 0,11	0,2 / 451
		-	1,19	1726,5 / 0,15	1200,1 / 0,12	0,18 / 451
				$K_p \geq 0,15$	$K_p \geq 0,12$	
				$K_p > 0,08$,	КД не потрібні	
ПО-2	Трихати-Миколаїв	-	1,0	1515,3	1083,6	0,24 / 9130
		-	1,17	1710,7 / 0,129	1190,3 / 0,098	0,23 / 9130
		-	1,19	1751,4 / 0,156	1220,2 / 0,126	0,2 / 451
		-	1,21	1746,4 / 0,152	1204,9 / 0,112	0,21 / 482
				$K_p = 0,156$	$K_p = 0,126$	
		$K_p > 0,08$,	КД не потрібні			
ПО-3	ЗПТЕС-Ново-Каховська	-	1,0	1491,6	1072,2	0,24 / 8663
		-	1,17	1711,0 / 0,147	1201,3 / 0,12	0,21 / 451
		-	1,19	1730,1 / 0,16	1210,0 / 0,128	0,19 / 451
				$K_p \geq 0,16$	$K_p \geq 0,13$	
				$K_p > 0,08$,	КД не потрібні	
ПО-4	Мелітополь-Джанкой	-	1,0	1461,4	1052,3	0,24 / 9130
		-	1,17	1596,6 / 0,09	1100,6 / 0,046	0,176 / 451
		-	1,19	1607,1 / 0,1	1094,9 / 0,04	0,17 / 482
				$K_p \geq 0,1$	$K_p = 0,046$	
				$K_p < 0,08$,	потрібні КД	
		(1),(2)	1,0	1434,4	1022,1	0,24 / 9130
		(1),(2)	1,17	1578,0 / 0,1	1079,7 / 0,056	0,2 / 482
		(1),(2)	1,19	1591,0 / 0,11	1080,8 / 0,06	0,2 / 482
		(1),(2)	1,21	1594,2 / 0,11	1080,1 / 0,057	0,18 / 482
				$K_p \geq 0,11$	$K_p = 0,06$	
				$K_p < 0,08$	потрібні додаткові КД	
		(1)...(3)	1,0	1424,9	1022,4	0,24 / 9130
		(1)...(3)	1,19	1580,3 / 0,11	1081,5 / 0,058	0,2 / 482
		(1)...(3)	1,21	1590,3 / 0,12	1082,5 / 0,06	0,18 / 482
		(1)...(3)	1,23	1598,8 / 0,122	1082,2 / 0,058	0,17 / 482
				$K_p \geq 0,12$	$K_p = 0,06$	
				$K_p < 0,08$,	потрібні додаткові КД	
		(1)...(6)	1,0	1397,6	994,4	0,24 / 9130
		(1)...(6)	1,17	1559,5 / 0,118	1071,3 / 0,077	0,21 / 482
		(1)...(6)	1,19	1572,8 / 0,12	1074,4 / 0,08	0,21 / 482
(1)...(6)	1,21	1580,9 / 0,13	1072,7 / 0,079	0,2 / 482		
		$K_p \geq 0,12$	$K_p = 0,08$			
		$K_p = 0,08$	додаткові КД не потрібні			

Таблиця 4

ПО	Південна ЕЕС								
	№ вузла	516			517			526	
	№ черги	1	2	1	2	3	1	2	
	Рн	15	15	15	15	15	10	15	
	№ КД	7	14	10	16	17	3	12	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	1	0	

Результати розрахунків для нормального режиму наведені у табл. 3. K_u обчислюється для мінімальної напруги у вузлах тієї частини ОЕС, яка відділяється Південним перетином. K_p обчислюємо і контролюємо для двох перетинів – Південного (1) та Кримського (3). Обважнення здійснювалось шляхом збільшення навантаження (множення навантаження у вихідному

Таблиця 5

ПО	Кримська ЕЕС									
	№ вузла	444	469	476	438	432	402	479	Вимк. ПЛ 414-488 457-486	457
№ черги	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рн	14	27	15	15	2	21	5	80	10	119
№ КД	1	2	4	5	6	8	9	11	13	15
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0

режимі на коефіцієнт обваження $K_{обв}$) у вузлах навантаження, які відділяє від ОЕС перетин 1.

Результати розрахунків для нормального режиму у вигляді сформованих кодів керівних дій наведено у табл. 4 і 5.

Отже, в результаті запропоновано і досліджено алгоритм адаптивної протиаварійної автоматики, який передбачає формування і використання об'єднаного для Південної і Кримської ЕЕС списку послідовності вимикання навантаження на підстанціях енергосистем спеціальною автоматикою САВН пропорційно дефіциту активної потужності енергосистем, які відділяються від ОЕС досліджуваним перетином.

1. Стійкість енергосистем: Керівні вказівки. – Київ: Міненерговугілля України, 2012.
2. Авраменко В.Н. Модели, методы и программные средства для расчета и анализа переходных режимов и устойчивости ЭЭС // Пр. Ин-ту электродинамики НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2007. – Вип. 18. – С. 12–26.
3. Авраменко В.Н., Прихно В.Л., Линник Е.Н., Кочегаров Ю.И., Нистратов А.Д. Адаптивный программно-аппаратный комплекс для обеспечения устойчивости нагрузки Крымской энергосистемы // Электрические сети и системы. – 2009. – № 5.
4. Иофьев Б.И. Автоматическое аварийное управление мощностью энергосистем. – М.: Энергия, 1974. – 415 с.
5. Прихно В.Л. Иерархические принципы формирования моделей установившихся режимов на основе телеметрической информации // Техн. электродинамика. Темат. вып. «Проблеми сучасної електротехніки». – 2006. – Ч.1 – С. 22–27.

УДК 621.311:004.415.2

В.Н. Авраменко, докт. техн. наук, **Т.М. Гуреева**, вед. инж.-прогр., **Н.А. Бабич**, вед. инж., **А.А. Янкина**, инж.-прогр. Інститут електродинаміки НАН України, пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

Исследование алгоритма скоординированного управления сечениями для обеспечения устойчивости энергообъединения

Предложен и исследован алгоритм адаптивной противоаварийной автоматики, который предусматривает формирование и использование объединенного для Южной и Крымской ЭЭС списка последовательности отключения нагрузки на подстанциях энергосистем специальной автоматикой САОН пропорционально дефициту активной мощности энергосистем, которые отделяются от ОЭС исследуемым сечением. Библ. 5, рисунок, табл. 5.

Ключевые слова: энергосистема, сечение, устойчивость, противоаварийная автоматика, координация.

V.M. Avramenko, T.M. Hurieieva, N.A. Babich, A.O. Yankina

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

Researches of an algorithm of coordinated power systems sections control to maintain power pool stability

An algorithm is proposed and investigated for adaptive antifault automatics. It provides forming and using joint for South and Cream power systems list of switching-off loads to maintain system stability, proportionally to active power deficit of the each system. References 5, figure, tables 5.

Key words: power system, section, stability, antifault automatics, coordination.

Надійшла 23.12.2014

Received 23.12.2014