

АВТОМАТИЧНЕ ЧАСТОТНЕ РОЗВАНТАЖЕННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ШВИДКОСТІ ЗМІНИ КУТА НАПРУГИ

O. YANDULSKII, O. TIMOKHIN, A. TIMOKHINA

UNDERFREQUENCY LOAD SHEDDING BASED ON ANALYSIS OF VOLTAGE ANGLE SPEED CHANGING

Анотація. В роботі розглядається система протиаварійної автоматики (ПА) електроенергетичної системи (ЕС). Метою роботи є вдосконалення структури та алгоритмів роботи системи АЧР-1 за рахунок використання сучасних інформаційних технологій, а саме системи моніторингу перехідних режимів (СМІР). Дослідження проводились шляхом моделювання роботи складної енергосистеми при виникненні різних аварійних ситуацій в програмному комплексі Power Factory. Результатами роботи є пропонування можливої модернізації системи АЧР-1.

Ключові слова: автоматичне частотне розвантаження, системи моніторингу перехідних режимів, протиаварійна автоматика, електроенергетична система.

Аннотация. В работе рассматривается система противоаварийной автоматики (ПА) электроэнергетической системы (ЭС). Целью работы является совершенствование структуры и алгоритмов работы системы АЧР-1 за счет использования современных информационных технологий, а именно системы мониторинга переходных режимов (СМІР). Исследования проводились путем моделирования работы сложной энергосистемы при возникновении различных аварийных ситуаций в программном комплексе Power Factory. Результатом работы является предложение возможной модернизации системы АЧР-1.

Ключевые слова: автоматическая частотная разгрузка, системы мониторинга переходных режимов, противоаварийная автоматика, электроэнергетическая система.

Annotation. The object and subject of study is a system of emergency control automatics electricity system (ES). The objective is to improve the structure and algorithms of underfrequency load shedding -1 by using modern information technologies, such as Wide Area Measurement Systems (WAMS). Research carried out by simulation of complex power system in case of various emergencies by program Power Factory. Resulted in a conclusion on the possible modernization of the underfrequency load shedding -1.

Key words: underfrequency load shedding, Wide Area Measurement Systems, emergency control automatics, power system.

Вступ. Автоматика частотного розвантаження (АЧР) призначена для збереження стійкості ЕЕС шляхом обмеження розвитку й припинення аварійних режимів в енергосистемі. Найважливішим її завданням є запобігання загальносистемним аваріям, що супроводжуються порушенням електропостачання споживачів на значній території [1-4].

Особливістю існуючої системи АЧР є те, що дана система спрацьовує після зниження частоти нижче уставки спрацювання (49 Гц) [5, 6], для досягнення якої витрачається додатковий час.

Метою роботи є підвищення ефективності роботи системи АЧР, зокрема її швидкодії. З цією метою запропоновано підхід АЧР, який на відміну від існуючого підходу разом з контролем частоти для оцінки стану режиму ЕЕС використовує зміну кута напруги. Завдяки цьому запуск АЧР відбувається не тільки при досягненні «частотної» уставки спрацювання, а й за рахунок аналізу швидкості зміни кута напруги у вузлі.

Об'єкт дослідження, його аналіз та постановка задачі. Як дослідну схему було вибрано тестову чотирнадцяти вузлову схему IEEE 14 Bus System (рис. 1), оскільки дана схема чітко відображає поведінку енергосистеми в умовах поставленої задачі. Моделювання проводиться у програмному пакеті Digsilent Power Factory [7,8,9].

Для аналізу роботи мережі було обрано варіанти аварійних ситуацій, що наведені в табл.1. Згідно з [5] тривалість КЗ, яка складається з максимального часу спрацювання РЗ та часу спрацювання вимикача, для мереж напругою 110, 220 кВ була прийнята 140 мс. В процесі проведених досліджень було визначено відхилення частоти та кута напруги для різних пошкоджень, деякі результати яких наведені в табл.1

При аналізі отриманих залежностей кута напруги від часу було встановлено, що для всіх випадків пошкоджень спостерігається значна зміна кута напруги у перші 2 с після початку аварії (рис.2). За цей час досягається максимальне амплітудне значення кута напруги [7,10-13].

У випадку КЗ на ЛЕП відхилення частоти відбувається майже миттєво, але максимальна величина досягає лише 0,18%, т.ч. є несуттєвою.

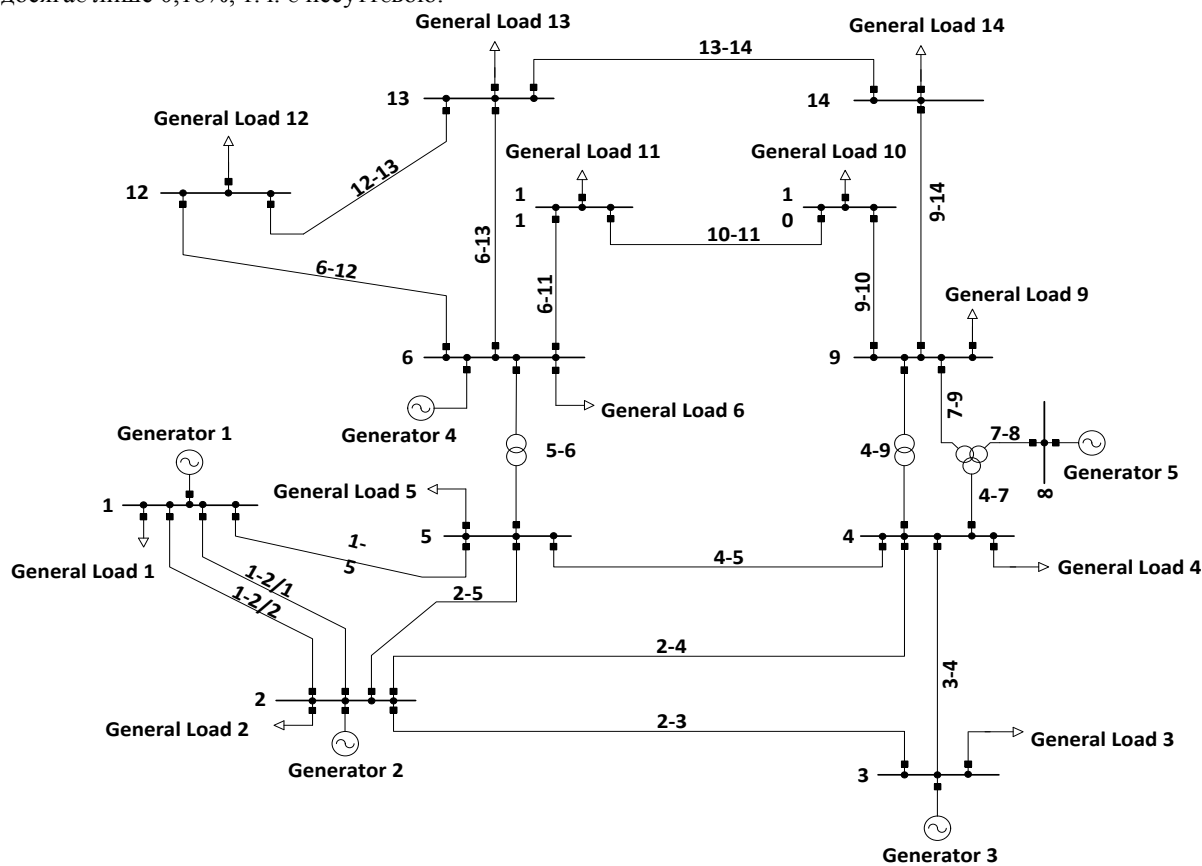


Рис. 1. Досліджувана 14 вузлова тестова схема IEEE

Таблиця 1

Варіанти сценаріїв аварійних ситуацій

Елемент схеми	Пошкодження	Відхилення на шині 2	
		$\Delta f, \%$	$\Delta \delta, \%$
ЛЕП 2-4	1- фазне КЗ фази А з подальшим вимкненням КЗ через 140 мс	0,04	11,7
	2-фазне КЗ фаз АВ з подальшим вимкненням КЗ через 140 мс	0,06	7,3
ЛЕП 2-3	3-фазне КЗ з подальшим вимкненням КЗ через 140 мс	0,04	12,18
	Вимкнення лінії	2,312	7,47
ЛЕП 4-5	2-фазне КЗ фаз АВ з подальшим вимкненням КЗ через 140 мс	0,18	52,94
Трансформатор 4-9	Вимкнення трансформатора	0,04	6,3
Навантаження 1	Відключення навантаження	6,42	40,54
	Накид навантаження	5,4	18,08
Генератор Г1	Відключення генератора	16,89	50
Генератор Г2	Відключення генератора	29,927	85,03

У випадку відключення/накиду навантаження, або відключення генератора, частота змінюється монотонно. При цьому зміна частоти за 1с складає 0,012%, а зміна кута – 20%, тобто зміна частоти є значно повільнішою.

Таким чином, використання зміни кута напруги для оцінки режимів електроенергетичної системи дає можливість швидше відреагувати на аварію у мережі, особливо у перші 2 с після початку аварії, що є основою для створення більш швидкодіючої системи ПА.

При дослідженні залежності швидкості зміни кута напруги від часу було також встановлено, що при виникненні аварії або накиду навантаження швидкість зміни кута (рис. 3) досягає свого максимального значення за модулем, що достатньо для спрацювання ПА. У випадку КЗ виникає 2 піки: перший у

момент виникнення КЗ, другий – у момент ліквідації КЗ пристроями РЗА. Блок-схема нової системи АЧР представлена на рис.4, 5.

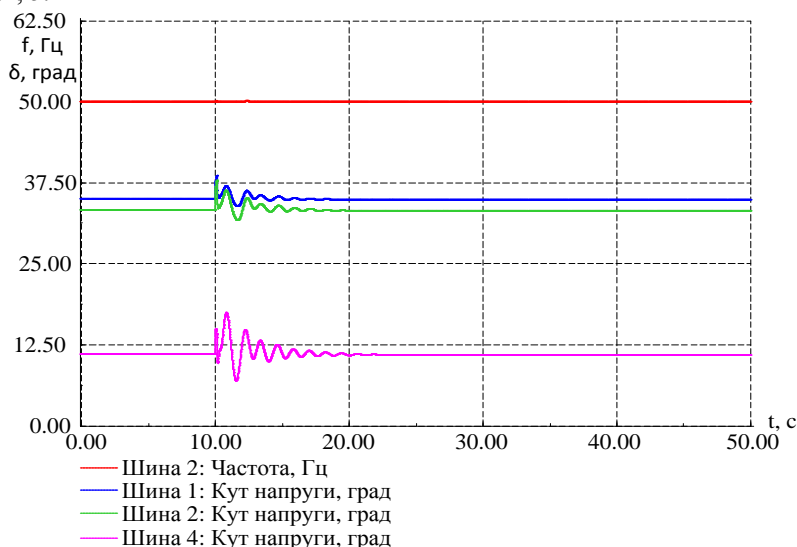


Рис. 2. 2-фазне КЗ на ЛЕП 4-5 у момент часу 10с.

Даний метод дозволяє визначити момент накиду навантаження в перші мілісекунди його виникнення і прийняти рішення про частотне розвантаження мережі для усунення зниження частоти в мережі. Також метод передбачає усунення помилкових спрацювань АЧР-1 шляхом «розпізнавання» аварій в мережі, а саме спрацьовування відбувається при аваріях, які призводять до зниження частоти в мережі.

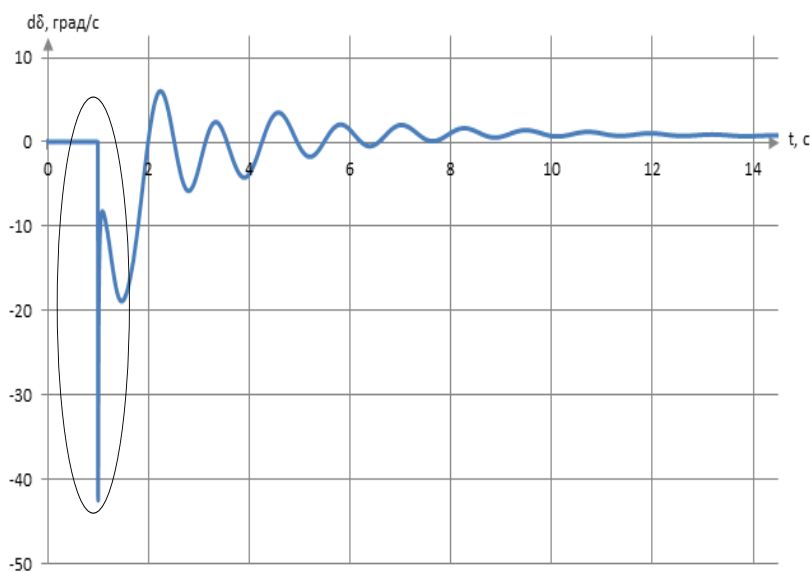


Рис. 3. Швидкість зміни кута напруги у випадку накиду навантаження на шині 3 на величину $(70,65+j5,7)$ МВА.

Алгоритм підвищення ефективності роботи АЧР-1

У відповідності з запропонованим методом розроблено алгоритм роботи АЧР-1 (рис.4, 5) моделі додаткового блоку АЧР-1 (рис. 6). В якості моделі існуючої АЧР було використано модель чотирьохступеневої АЧР з бібліотеки Power Factory. В той же час на дослідній 14 вузловій тестовій схемі IEEE було встановлено додаткові шини напругою 10 кВ для подальшого встановлення на них пристроїв АЧР.

У моделі використовуються наступні блоки:

1. Measurement – блок, що являє собою ТН, на виході якого отримуються значення напруги фази А (активна та реактивна складові), а також значення частоти.
2. Math – блок обчислення. В цьому блоці відбувається обчислення значення кута напруги.
3. Speed of angle – блок розрахунку швидкості зміни кута напруги.

4. Compare block блок порівняння отриманого сигналу з величиною уставки спрацювання $K_{уст}$, що розраховується за формулою:

$$K_{уст} = V\delta_{min} \cdot K_{зан}$$

де $V\delta_{min} = 40$ – мінімальне значення швидкості зміни кута напруги, що було отримано в дослідях;

$K_{зан} = 0,5$ – коефіцієнт запасу спрацювання.

Таким чином, $K_{уст} = 20$.

5. Speed of f - блок розрахунку швидкості зміни частоти.

6. Compare_df - блок порівняння. Якщо знак швидкості зміни частоти від'ємний, то на виході формується логічна одиниця, у випадку додатного знаку швидкості зміни частоти формується логічний нуль.

7. Блок AND забезпечує спрацювання додаткового блоку АЧР-1 лише у випадках, що призводять до зниження частоти.

8. T-trigger забезпечення фіксації появи сигналу накиду навантаження.

9. Logic grab – логіка спрацювання. Цей блок виконує функцію перевірки характеру аварії: у випадку КЗ на виході даного блоку буде логічний нуль, а при накиді навантаження чи аварії логічна одиниця.

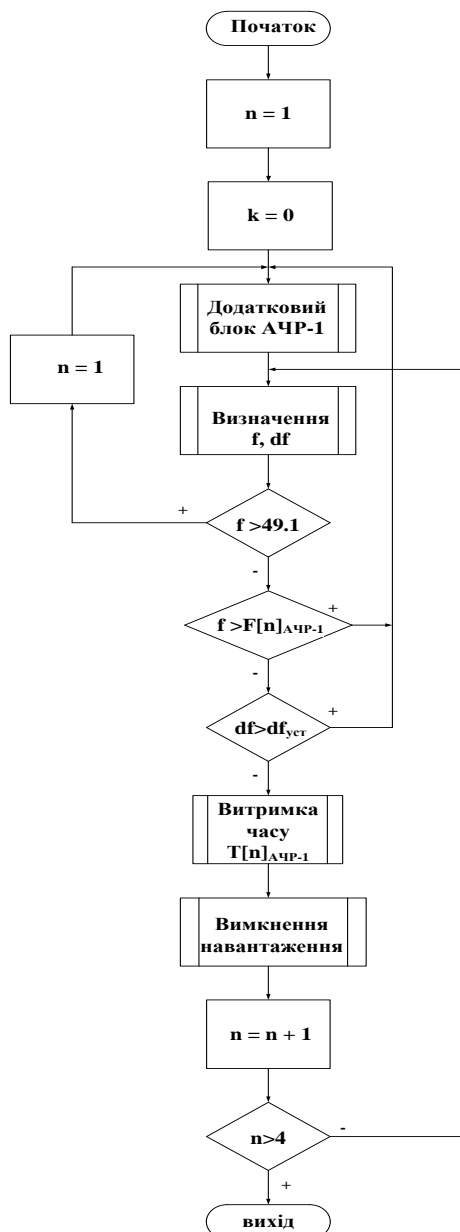


Рис.4. Блок-схема алгоритму АЧР-1 з використанням залежності зміни кута напруги від часу

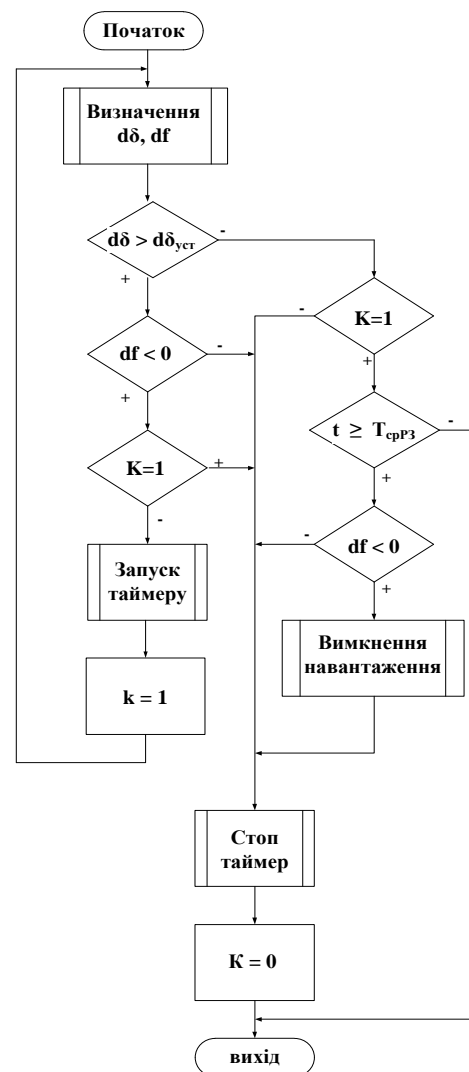


Рис. 5. Блок-схема алгоритму додаткового блоку АЧР-1 з використанням залежності зміни кута напруги від часу

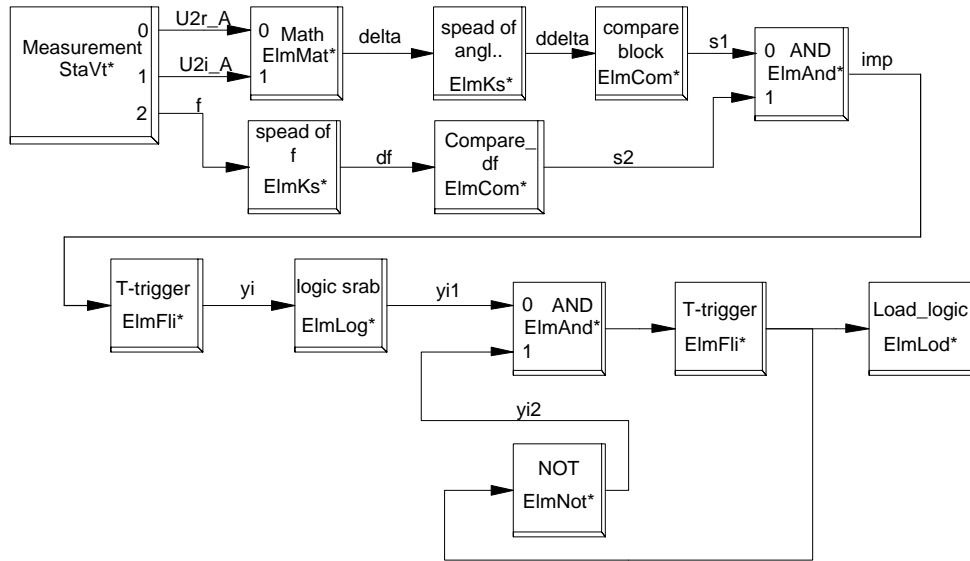


Рис. 6. Модель додаткового блоку АЧР-1, що реагує на швидкість зміни кута напруги

Таблиця 2

Таблиця зміна частот

Вид пошкодження	$f_{t=100c}$, Гц без АЧР	$f_{t=100c}$, Гц з АЧР	$f_{t=100c}$, Гц вдосконале на АЧР	Величина накиду навантаження		Час досягнення уставки спрацювання АЧР, с	
				P, МВт	Q, МВАр	Існ. АЧР	Вдоск. АЧР
Накид навантаження на 3 шині	46,566	49,919	49,832	42,3	2,85	11,62	0,1611
Накид навантаження на 1 шині	46,506	49,941	49,910	50	15	12,85	0,1546
Накид навантаження на 3 шині	43,446	49,934	49,734	70,65	5,7	7	0,1561
Вимкнення генератору G2	9,507	49,538	50	–	–	1	0,704
2-фазне КЗ на ЛЕП 2-4	$f_{min}=49.828$	$f_{min}=49.828$	$f_{min}=49.828$	–	–	–	–

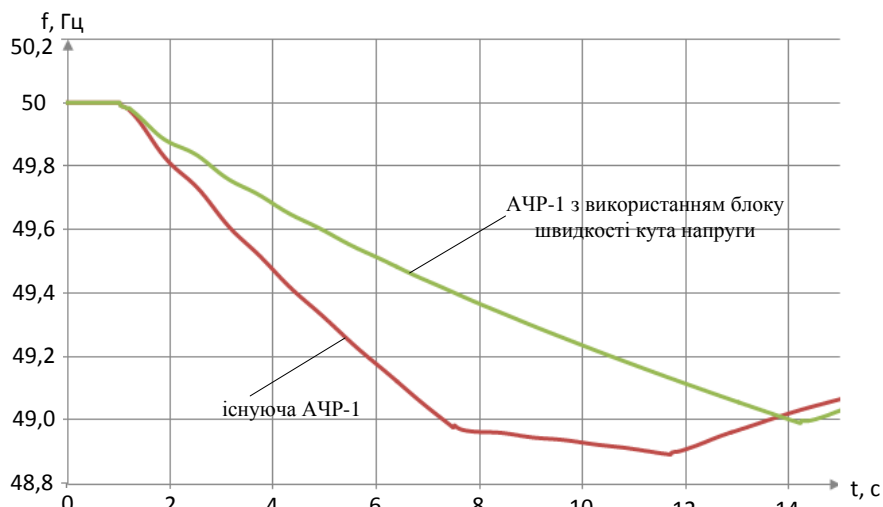


Рис. 7. Робота існуючої системи АЧР-1 та АЧР-1 з використанням блоку швидкості зміни кута напруги у випадку накиду навантаження на шині 3 на величину (70,65+j5,7)МВА.

10. Наступні три блоки NOT, AND, T-trigger використовуються для фіксації сигналу накиду навантаження чи аварії.

11. Load2_1 – блок вимкнення вимикача. Коли на вхід даного блоку приходять логічна одиниця, то відбувається вимкнення.

На рис. 7 наведено залежності зміни частоти від часу при використанні існуючої АЧР-1 та АЧР-1 з використанням блоку, що реагує на швидкість зміни кута напруги [7] та деякі результати порівняння роботи систем наведені в табл.2.

Висновки:

1. Проведені дослідження та їх аналіз показали працездатність та ефективність запропонованого методу. Проведені дослідження, при накиді навантаження у вузлі 3 на $(70,65+j5.7)$ МВА, показали що уставка спрацювання діючої АЧР-1 досягається через 7 с після початку аварії (рис.7), в той час як АЧР на основі розробленої методики спрацьовувала через 0,1561 с.

2. Отримані результати є основою для подальших досліджень АЧР та розробки методики вбору уставок спрацювання.

3. АЧР на основі розробленого методу є більш швидкодіючою за рахунок виявлення аварії в перші мілісекунди після її появи та запуску додаткового блоку АЧР-1. В наслідок чого зменшується швидкість або припиняється зниження частоти.

Література

1. *Совалов С. А., Семенов В. А.* Противоаварийное управление в энергосистемах – М.:Энергоиздат, 1988.- 416с.

2. *Семенов В.А.* Противоаварийная автоматика в ЕЭС России. – М.:НТФ «Энергопрогресс», «Энергетик»,2004.-108с.

3. *В. Л. Козис, Н.И. Овчаренко* Автоматика электроэнергетических систем. – М.:Энергоиздат, 1981.- 490с.

4. *Голота А.Д.* Автоматика в електроенергетичних системах – К.: «Вища школа»,2006.- 365с.

5. *Гловацкий В.Г., Пономарев И.В.* Релейная защита и автоматика распределительных сетей – Электронная версия 1.0, 2003 – 471с.

6. *Рабинович Р.С.* Автоматическая частотная разгрузка энергосистем. 2-е изд. – М: Энергоатомиздат, 1989 – 352с.

7. *Тимохіна А.О.* Підвищення ефективності протиаварійної автоматики енергосистеми/ Дипломна робота – К.: НТУУ «КПІ», 2012.-136с.

8. *Яндюльський О.С., Стелюк А.О., Дмитренко О.О., Тимохін О.В.* Управління режимами об'єднаної електроенергетичної системи з використанням значень фазових кутів вузлових напруг, Звіт про науково-дослідну роботу – К.: НТУУ «КПІ», 2010.- 298с.

9. Методи моделювання та програмні засоби для забезпечення надійності та живучості ОЕС України з використанням нових мікропроцесорних пристроїв керування режимами електроенергетичних систем – Техн. Електродинаміка №2.2011р. – 45-50с.

10. *Ленчевський Є. А.* Дослідження методів з удосконалення управління об'єднаними енергосистемами // Проблеми загальної енергетики 2007, №15.- с. 34-40.

11. *Martin K.E.* Phasor Measurement Systems in Western North America. - Relay Protection and Substation Automation of Modern Power Systems. - Cigre. Cheboksary, September 9-13, 2007. – 26-32с.

12. *Стогній Б.С., Кириленко О.В., Буткевич О.Ф., Сопель М.Ф.* Застосування засобів моніторингу перехідних режимів в ОЕС України при розв'язанні задач диспетчерського керування, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/pied/2009_23/vid3+4.pdf – 2011р.

13. *Куликов Ю.А., Жуков А.В., Мацкевич И.Е.* Перспективы применения векторной регистрации параметров в управлении режимами ЕЭС России. - «Релейная защита и автоматика энергосистем 2010» Выставка и XX конференция, 1 – 4 июня 2010, Москва.