

А. С. Яндульский, д. т. н., проф.; А. В. Тимохин; А. А. Тимохина

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАБОТЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТНОЙ РАЗГРУЗКИ

Статья посвящена вопросу повышения эффективности работы системы автоматической частотной разгрузки (АЧР) за счет введения дополнительных алгоритмов функционирования, которые базируются на анализе фазных углов напряжения, которые получают от системы мониторинга переходных режимов (СМПП).

Ключевые слова: автоматическая частотная разгрузка, электроэнергетическая система, системы мониторинга переходных режимов, дефицитная энергосистема.

Введение

Дефицитная энергосистема – это система, в которой мощность потребления больше мощности генерации, поэтому поддержание баланса между потреблением и генерацией в таких энергосистемах является актуальной задачей. Примером такой энергосистемы (ЭС) может служить ЭС Крыма в случае отключения ее от ОЭС Украины. Как известно, для предотвращения нарушения баланса между генерацией и потреблением в ЭС предназначены средства противоаварийной автоматики, к которым относят системы автоматической частотной разгрузки (АЧР), которые особую роль приобретают именно в дефицитных энергосистемах. Известно, что системы АЧР работают при условиях снижения частоты до уставки срабатывания АЧР, и после их срабатывания возникает необходимость в восстановлении частоты в ЭС [1 – 3], поэтому **целью данной работы** является повышение быстродействия АЧР, что уменьшит негативное влияние небаланса мощностей на работу ЭС.

Разработка метода повышения быстродействия АЧР

Исследования проведены на 14-узловой тестовой схеме IEEE, представленной на рис. 1, в программном комплексе Digsilent Power Factory.

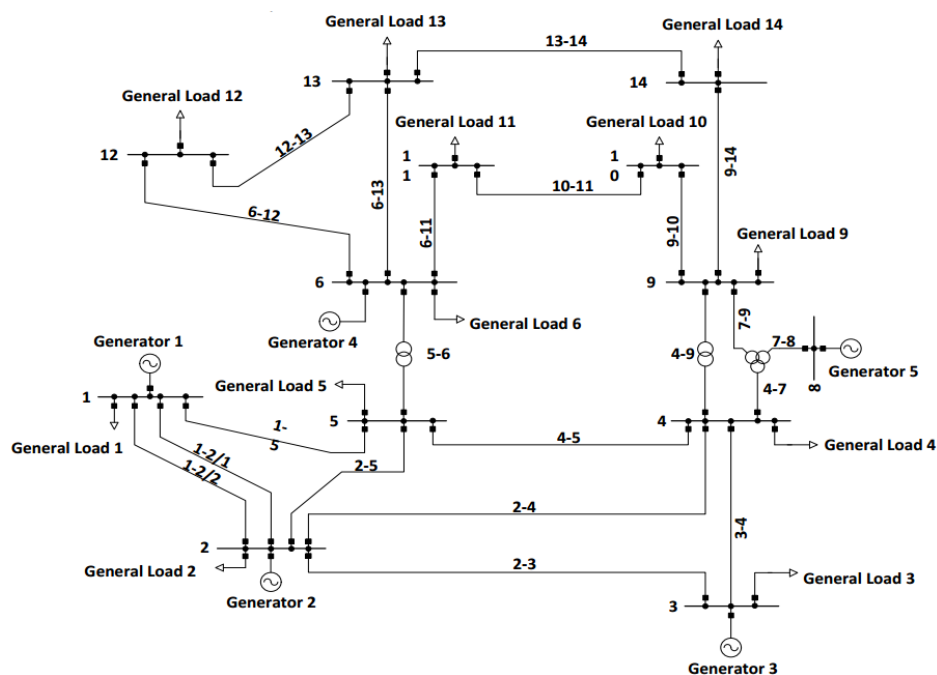


Рис. 1. Исследуемая схема электросети

Исследования проводили для разных вариантов аварийных ситуаций, приведенных в табл. Наукові праці ВНТУ, 2014, № 4

1. Длительность короткого замыкания (КЗ) для сетей класса напряжения 110, 220 кВ – 140 мс, состоящего из максимального времени срабатывания релейной защиты (РЗ) и времени срабатывания выключателя.

Таблица 1

Варианты сценариев аварийных ситуаций

Элемент схемы	Повреждение
ЛЭП 2-4	1- фазное КЗ фазы А с дальнейшим отключением КЗ через 140 мс
	2- фазное КЗ фаз АВ з с дальнейшим отключением КЗ через 140 мс
ЛЭП 2-3	3-фазное КЗ с дальнейшим отключением КЗ через 140 мс
	Отключение линии
ЛЭП 4-5	2-фазное КЗ фаз АВ с дальнейшим отключением КЗ через 140 мс
Трансформатор 4-9	Отключение трансформатора
Нагрузка 1	Отключение нагрузки
	Наброс нагрузки
Генератор Г1	Отключение генератора
Генератор Г2	Отключение генератора

Проведенные исследования (рис. 2, 3) показали зависимость между возникновением возмущающего воздействия в ЭС и скоростью изменения угла напряжения в узлах ЭС. В случае отключения/наброса нагрузки или отключения генератора, частота изменяется монотонно. При этом изменение частоты за 1 с составляет 0,012%, а изменение угла – 20%, т. е. изменение частоты является более медленным. Таким образом, использование изменения угла напряжения для оценки режимов электроэнергетической системы позволяет быстрее отреагировать на аварию в сети, особенно в первые 2 с после начала аварии, что является основой для разработки более быстродействующей системы ПА.

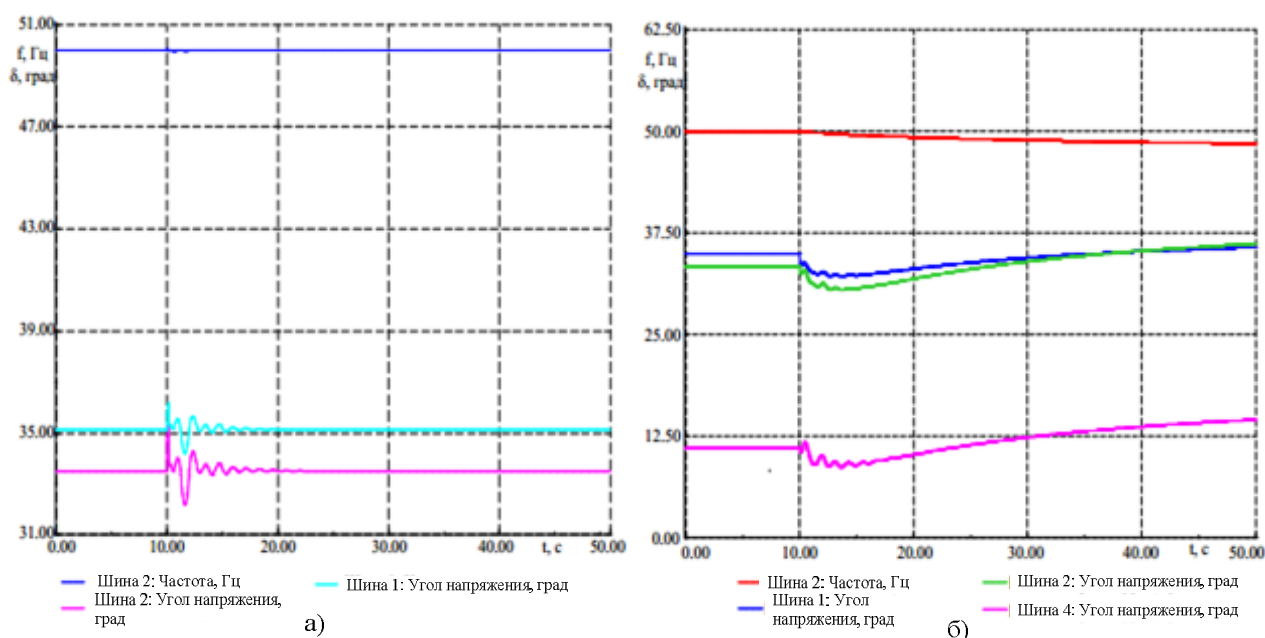


Рис. 2. Зависимость изменения частоты и угла напряжения от времени при разных аварийных ситуациях:
а) 2-фазное КЗ (фазы а, б) на ЛЭП 2 – 4, б) наброс нагрузки на General Load1

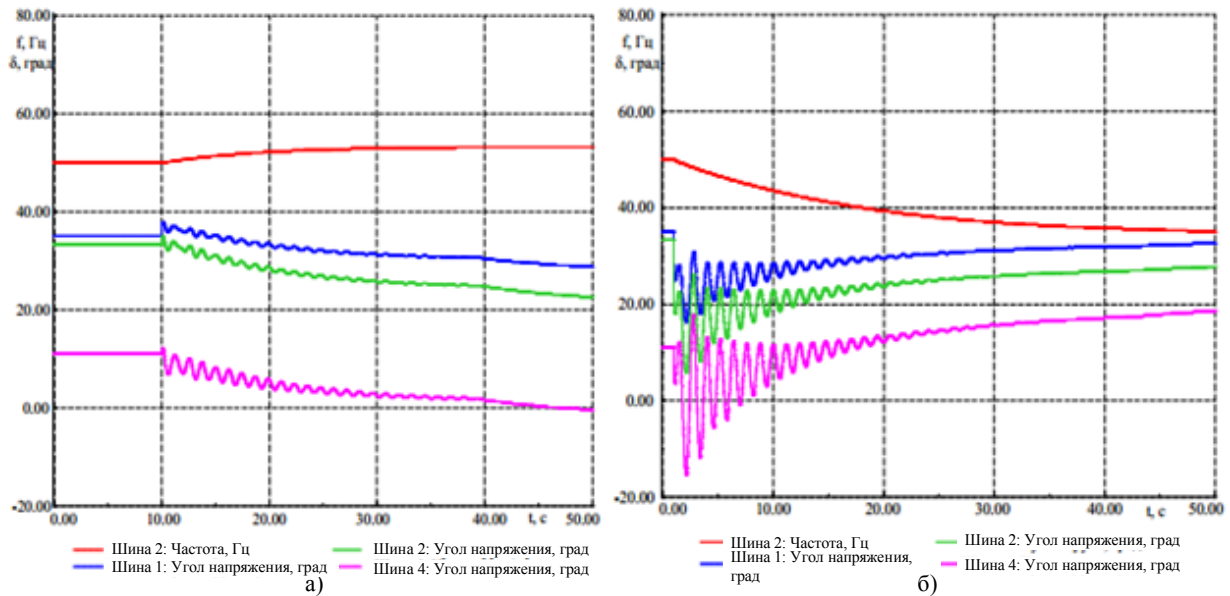


Рис. 3. Зависимость изменения частоты и угла напряжения от времени при разных аварийных ситуациях: а) отключение нагрузки на General Load1, б) отключение генератора G2

В качестве показателя изменения угла напряжения была выбрана скорость изменения угла. Результаты исследования показаны на рис. 4. Как видно из полученных зависимостей, в случае возникновения аварии скорость изменения угла достигает своего максимума по модулю. В случае КЗ появляется 2 пика: один – в момент возникновения, второй – в момент отключения КЗ устройствами РЗ.

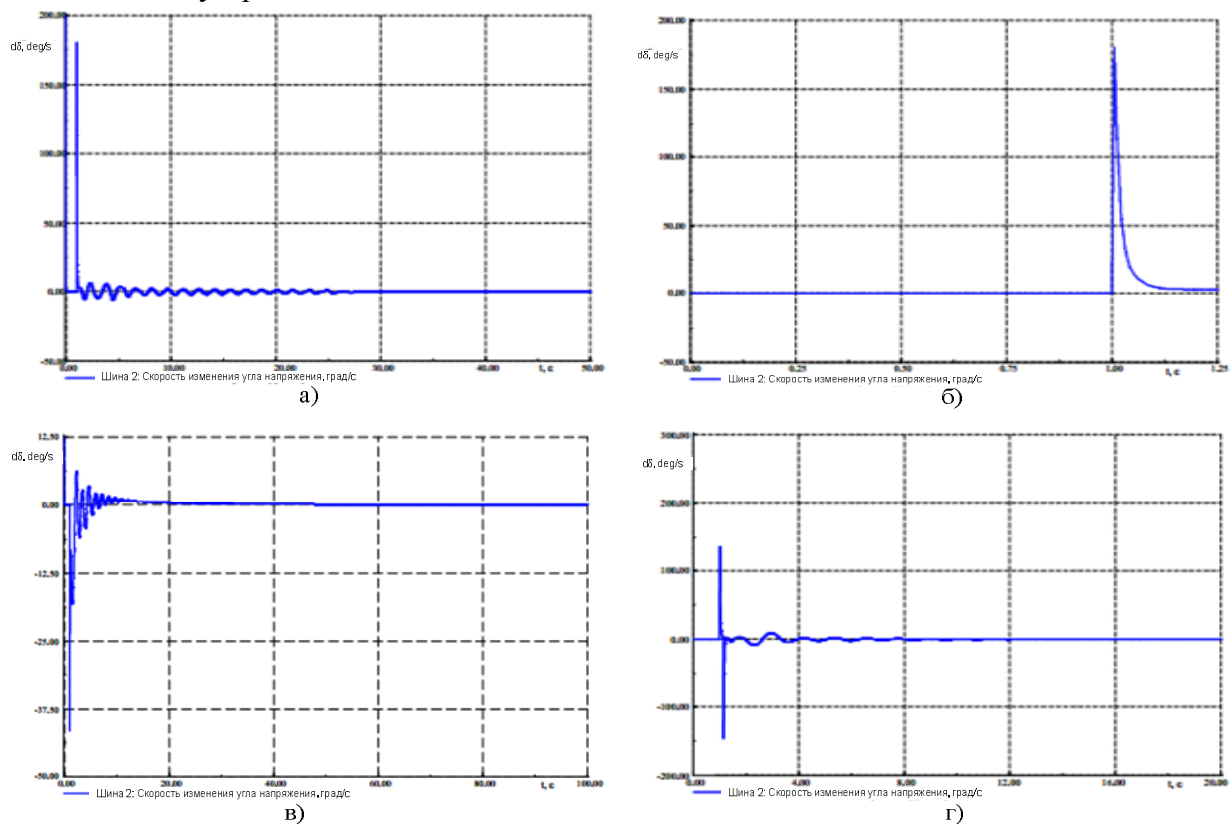


Рис. 4. Зависимости изменения скорости изменения угла напряжения от времени:

а) отключение ЛЭП 2 – 3 в момент $t=1$ с, б) увеличенная часть зависимости скорости изменения угла напряжения от времени при отключении ЛЭП 2-3 в момент $t=1$ с, в) наброс нагрузки на шине 3 в момент $t=1$ с, г) 2 фазное КЗ на ЛЭП 2 – 4 в момент $t=1$ с

Полученные зависимости были использованы при разработке алгоритма работы усовершенствованной АЧР-1, алгоритм которой представлен на рис. 5. Усовершенствованная АЧР-1 содержит дополнительный блок, который реагирует на скорость изменения угла напряжения [4].

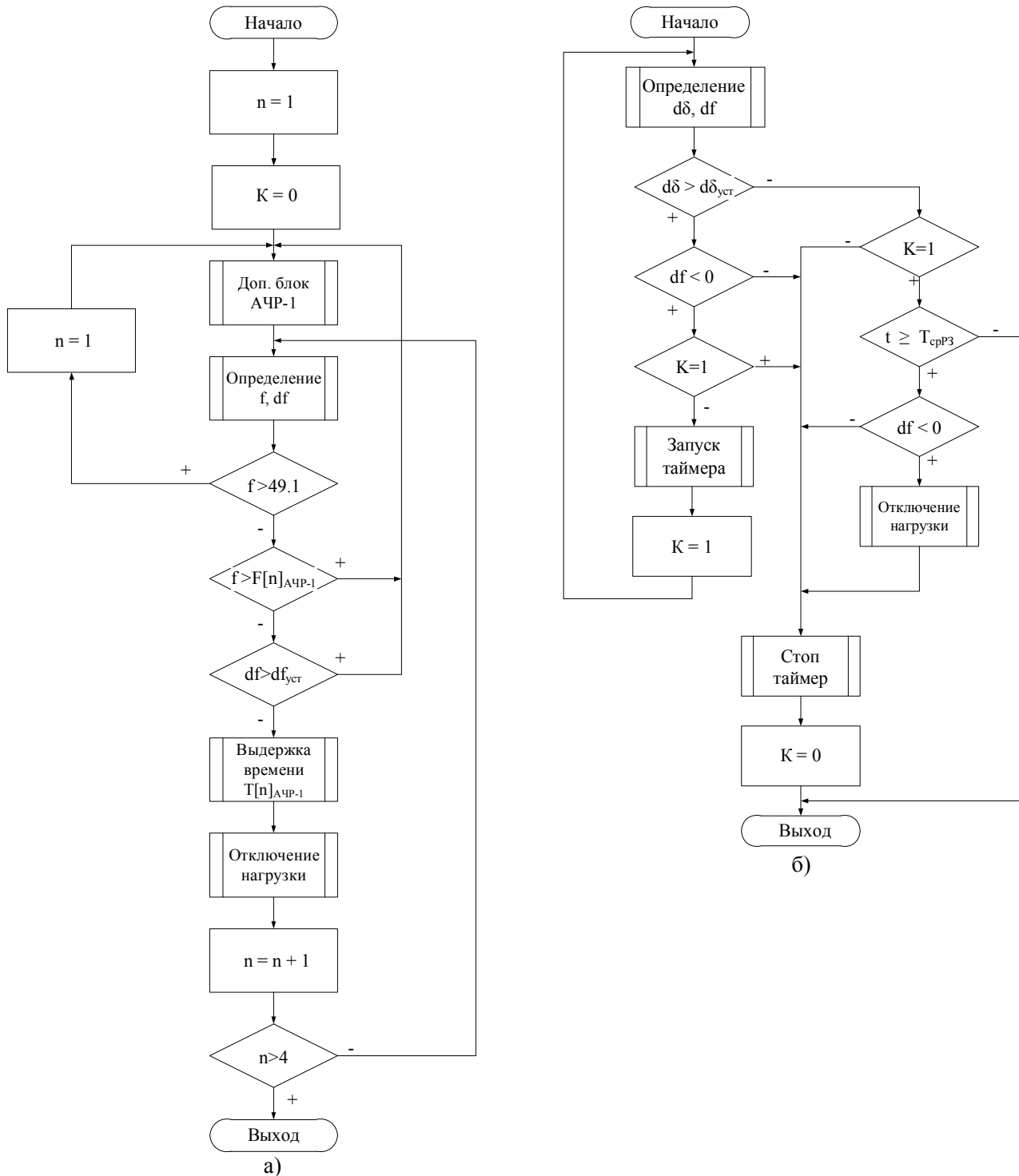


Рис. 5. Блок-схема алгоритма:

- а) АЧР-1 с использованием зависимости изменения угла напряжения от времени,
 б) дополнительного блока АЧР-1 с использованием зависимости изменения угла напряжения от времени

На основе алгоритма работы усовершенствованной АЧР-1 была разработана модель блока, которая реагирует на скорость изменения угла напряжения (рис. 6). В качестве модели существующей АЧР была использована модель четырёхступенчатой АЧР из библиотеки Power Factory. Также на исследуемой 14-узловой тестовой схеме IEEE были установлены

Наукові праці ВНТУ, 2014, № 4

дополнительные шины напряжением 10 кВ для дальнейшего подключения к ним устройств АЧР.

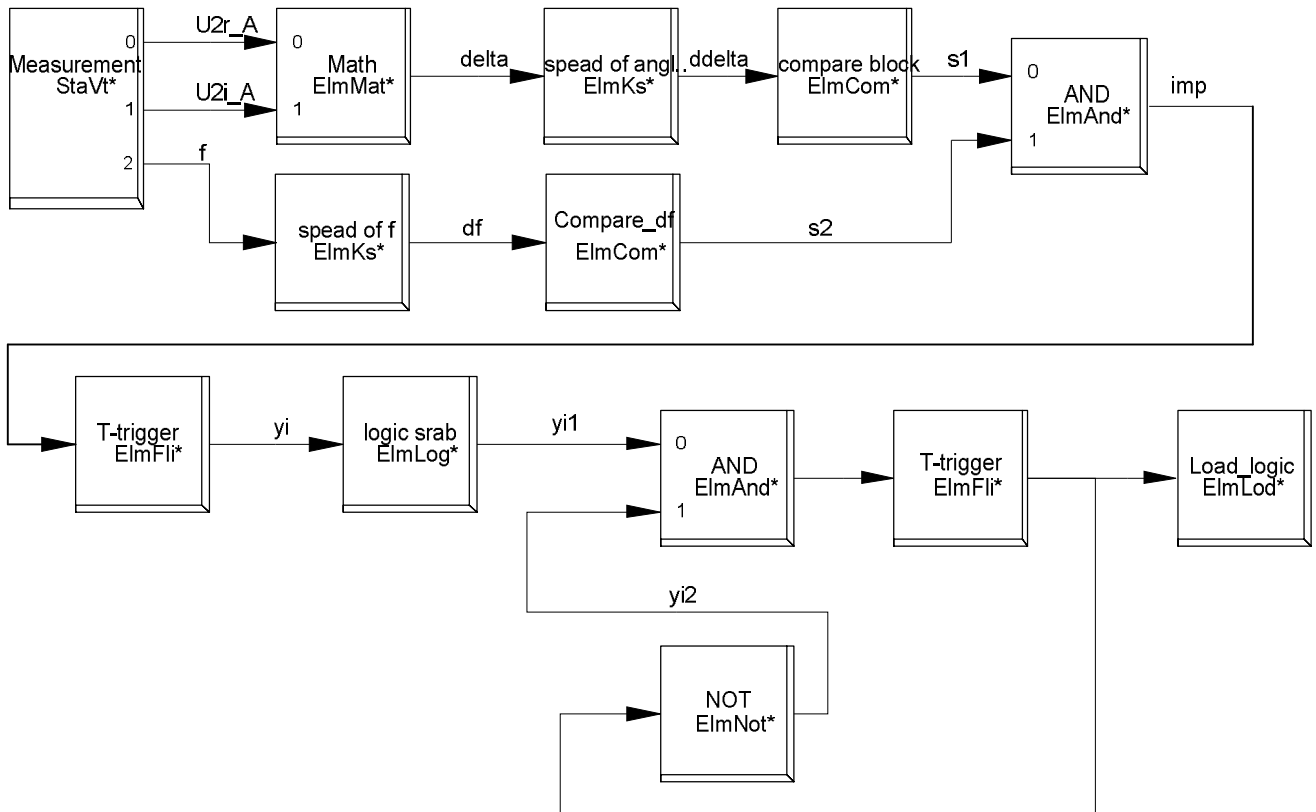


Рис. 6. Модель блока, который реагирует на скорость изменения угла напряжения

В модели используют следующие блоки:

1. *Measurement* – блок, представляющий собой ТН, на выходе которого получают значения напряжения фазы А (активная и реактивная составляющие), а также значения частоты.

2. *Math* – блок вычисления. В этом блоке вычисляют значение угла напряжения.

3. *Speed of angle* – блок расчета скорости изменения угла напряжения.

4. *Compare block* – блок сравнения. Если скорость изменения угла больше чем уставка, то на выходе формируется логическая единица.

5. *Speed of f* – блок расчета скорости изменения частоты.

6. *Compare_df* – блок сравнения. Если знак скорости изменения частоты отрицательный, то на выходе формируется логическая единица, в случае положительного знака скорости изменения частоты формируется логический ноль.

7. Блок *AND* обеспечивает срабатывание дополнительного блока АЧР-1 только в случаях, которые приводят к снижению частоты.

8. *T-trigger* – блок, который состоит из двухтактного Т-триггера. Этот блок обеспечивает фиксацию появившегося сигнала наброса нагрузки.

9. *Logic srab* – логика срабатывания. Этот блок выполняет фиксацию проверки характера аварии: в случае КЗ на выходе данного блока будет логический ноль, а при набросе нагрузки – логическая единица.

10. Следующие три блока *NOT*, *AND*, *T-trigger* используют для фиксации сигнала наброса нагрузки.

11. *Load_logic* – блок отключения выключателя. Когда на вход данного блока приходит логическая единица, то происходит отключение нагрузки на шине.

Результаты моделирования работы усовершенствованной АЧР-1 (табл. 2, рис. 7) показали,

что АЧР на основе разработанного метода является более быстродействующей за счет выявления аварии в первые миллисекунды после ее появления и запуска дополнительного блока АЧР-1, вследствие чего уменьшается скорость или останавливается снижение частоты.

Полученные результаты являются основой для дальнейших исследований АЧР-1 и разработки [5, 6]: адаптивной системы, которая рассчитывает величину небаланса мощности; методики выбора уставок срабатывания; методики определения мест отключения нагрузки; исследования работы энергосети при сложных авариях и взаимодействие усовершенствованной АЧР-1 с работой другой автоматики ЭС.

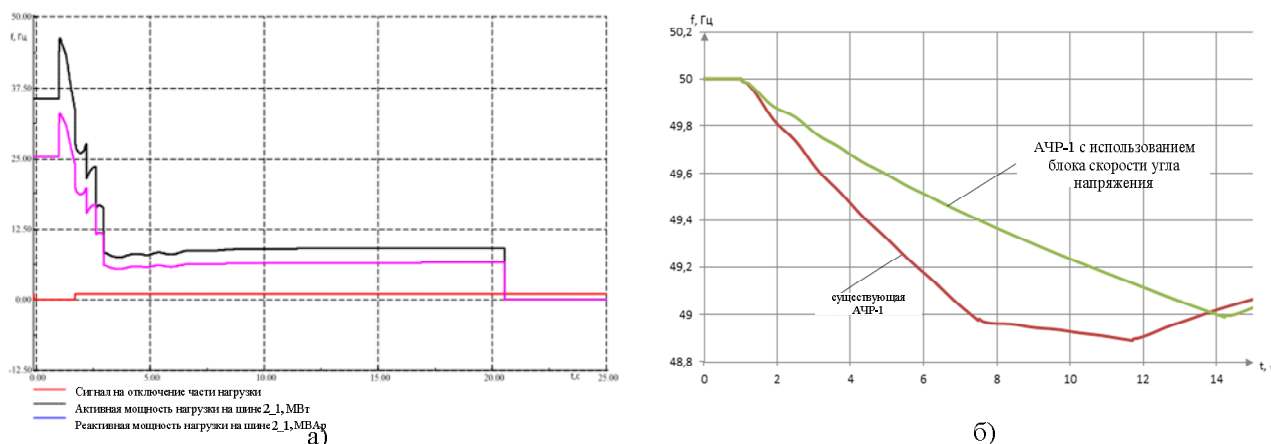


Рис. 7. а) Отключение части нагрузки и дальнейшая работа АЧР-1 при отключении генератора G2, б) Работа существующей системы АЧР-1 и АЧР-1 с использованием блока скорости изменения угла напряжения в случае наброса нагрузки на шине 3 на величину $(70,65+j5,7)$ МВА

Таблица 2

Таблица изменения частоты

Вид повреждения	$f_{t=100\text{с}}, \text{Гц}$ без АЧР	$f_{t=100\text{с}}, \text{Гц}$ з АЧР	$f_{t=100\text{с}}, \text{Гц}$ усовершенство ванная АЧР	Величина наброса нагрузки		Время достижения уставки срабатывания АЧР, с	
				$P, \text{МВт}$	$Q, \text{МВАр}$	Сущест вующая АЧР	Усоверш енствова нная АЧР
Наброс нагрузки на 3 шине	46,566	49,919	49,832	42,3	2,85	11,62	0,1611
Наброс нагрузки на 1 шине	46,506	49,941	49,910	50	15	12,85	0,1546
Наброс нагрузки на 3 шине	43,446	49,934	49,734	70,65	5,7	7	0,1561
Отключение генератора G2	9,507	49,538	50	—	—	1	0,704
2-фазное КЗ на ЛЭП 2-4	$f_{\min}=49.828$	$f_{\min}=49.828$	$f_{\min}=49.828$	—	—	—	—

Выводы

1. Результаты моделирования показали, что АЧР на основе разработанного метода является более быстродействующей за счет выявления аварии в первые миллисекунды после ее появления и запуска дополнительного блока АЧР-1, вследствие чего уменьшается скорость или останавливается снижение частоты.

2. Полученные результаты являются основой для дальнейших исследований АЧР-1 и

разработки:

- адаптивной системы, которая рассчитывает величину небаланса мощности;
- методики выбора уставок срабатывания;
- методики определения мест отключения нагрузки;
- исследования работы энергосети при сложных авариях и взаимодействия усовершенствованной АЧР-1 с работой другой автоматики ЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совалов С. А. Противоаварийное управление в энергосистемах / С. А. Совалов, В. А. Семенов. – М. : Энергоиздат, 1988. – 416 с.
2. Рабинович Р. С. Автоматическая частотная разгрузка энергосистем / Рабинович Р. С. – [2-е изд.]. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
3. Голота А. Д. Автоматика в электроэнергетических системах / Голота А. Д. – К. : Вища школа, 2006. – 365 с.
4. Mohd Zin A. A. Static and Dynamic Under-frequency Load Shedding: A Comparison / A. A. Mohd Zin, H. Mohd Hafiz, W. K. Wong // International Conference on Power System Technology, POWERCON, Singapore. – 21 – 24 November 2004. – P. 941 – 945.
5. Bai D. Under frequency load shedding scheme based on information sharing Technology / D. Bai, J. He, X. Yang, B. Kirby, D. Writer, L. Liu // CIRED: 22nd International Conference on Electricity Distribution, Stockholm. – 10 – 13 June 2013. – P. 1 – 4.
6. Bevrani H. Power system load shedding: Key issues and new perspectives / H. Bevrani, A. G. Tikdari, T. Hiyama // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2010. – № 65. – P. 177 – 182.

Яндульский Александр Станиславович – д. т. н., проф., декан факультета электроэнерготехники и автоматики, e-mail: yandu_kpi@ukr.net, тел.: (044) 236-41-11.

Тимохин Александр Викторович – ст. преподаватель кафедры автоматизации энергосистем, e-mail: tymokhin@ukr.net.

Тимохина Анастасия Александровна – аспирант, ассистент кафедры автоматизации энергосистем, e-mail: a.planida@ukr.net, тел.: (044) 406-86-14.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».