

УДК 621.311

И.В. Пантелеева, Н.А. Калиберда

*Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков*

## НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

*В работе проанализированы возможные причины нарушения устойчивой работы электроэнергетической системы; рассмотрены особенности асинхронного режима, который возникает при нарушении устойчивости. Особое внимание уделено условиям, при которых возможно прекращение асинхронного режима. Рассмотрены существующие принципы построения автоматики ликвидации асинхронного режима. Разработана методика настройки локальных устройств цифровой автоматики ликвидации асинхронных режимов. Приведены возможные схемы подключения цифровых устройств АЛАР.*

**Ключевые слова:** энергосистема, устойчивость параллельной работы, асинхронный режим, автоматика ликвидации асинхронного режима, электрическая станция, подстанция.

### Введение

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Развитие энергосистем, их соединение в крупные энергетические объединения, сооружение электростанций большой мощности и протяжённых, сильно нагруженных линий электропередач, выдвинуло целый ряд требований в части дальнейшей автоматизации управления режимами энергосистем. Эти требования вытекают, главным образом, из необходимости максимального использования пропускной способности линий электропередачи при сохранении высокой надёжности работы энергосистем в целом.

Возникла необходимость непрерывного контроля за режимом линий электропередачи, нагрузка которых может внезапно и быстро возрасти, своевременного выявления моментов отключения линий, которые сопровождаются набросами мощности и опасными перегрузками параллельных линий и другого электрооборудования, выявления моментов разрыва электропередач, которые могут привести к опасному повышению частоты и напряжения, выявление моментов нарушения устойчивости и характера возникшего при этом асинхронного режима [1].

При возникновении указанных нарушений нормального режима работы необходимо достаточно быстро производить операции, которые предотвращают повреждение оборудования и развитие местных нарушений режима в крупную системную аварию. Предотвращение, локализация и ликвидация нарушений нормального режима целиком возлагаются на специальные автоматические устройства – устройства противоаварийной режимной автоматики.

Составной частью таких устройств является автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР), которая предназначена для предотвращения каскадного развития аварий в энергосистемах при нарушении устойчивости параллельной работы электростанций и отдельных частей энергосистем

путём разделения энергосистемы на несинхронно работающие части.

АЛАР используется как очередной эшелон защиты энергосистемы после автоматики предотвращения нарушения устойчивости, а также как основное средство противоаварийной автоматики, защищающее энергосистему при «нерасчётных» авариях, приводящих к асинхронным режимам (АР). На современном этапе развития единых энергосистем (ЕЭС), когда АР в сложной энергосистеме может привести к тяжёлым последствиям с нарушением энергоснабжения значительного объёма потребителей, к повреждению основного оборудования и к останову отдельных электростанций [2], актуальными становятся следующие задачи:

- выявление АР в начальной фазе аварийного процесса до первого проворота;
- координация настроек локальных устройств АЛАР;
- организация системы ликвидации асинхронных режимов в целом по энергосистеме, а не по отдельным её элементам.

Решение первой из перечисленных задач обусловлено необходимостью предотвращения возможности развития многочастотного асинхронного режима и значительных колебаний уровня напряжения на подстанциях (ПС), расположенных недалеко от электрического центра качаний.

**Целью данной работы** является координация настроек АЛАР таким образом, чтобы согласовать уставки основного и резервного устройств с уставками комплектов устройств, защищающих сложные участки сети, причём так, чтобы деление энергосистемы происходило на ПС, примыкающей к тормозящейся части разделяющейся энергосистемы, чтобы не допустить одновременного срабатывания двух и более устройств, приводящего к отключению подстанций от сети.

## Основной материал

Организация системы ликвидации асинхронных режимов энергосистемы предполагает расстановку и координацию настроек всех устройств АЛАР в энергосистеме таким образом, чтобы защищёнными оказались вся сеть и все синхронные генераторы энергосистемы. При этом расстановка устройств АЛАР производится в соответствии со схемой и режимами работы энергосистемы, исходя из требований минимизации небалансов мощности в разделяющихся частях и минимизации количества выключателей, участвующих в делении с учётом ограничений на величину промежуточных отборов мощности на защищаемых участках сети для используемых устройств АЛАР.

Для создания системы ликвидации АР устройства АЛАР должны обеспечить решение следующих задач:

- резервирование защит от АР заданных участков сети и синхронных генераторов;
- согласование работы устройств, защищающих элементы сети, примыкающих к общим шинам;
- согласование работы устройств, защищающих смежные участки сети в цепочечной схеме.

Эти задачи могут быть решены при использовании цифрового устройства ликвидации асинхронных режимов АЛАР-Ц. Упрощённая схема подключения данного устройства и расположение частей защищаемого участка сети предоставлены на рис. 1.

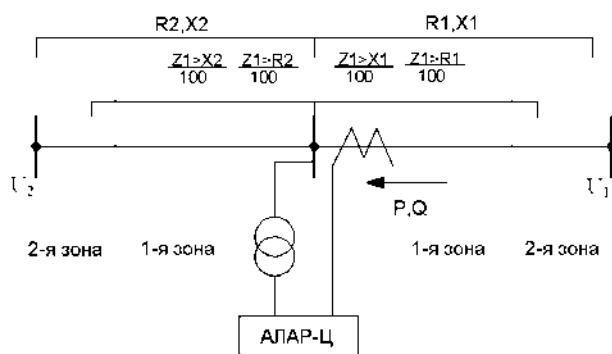


Рис. 1. Упрощённая схема подключения АЛАР-Ц и расположение частей защищаемого участка сети

Протяжённость первой зоны защиты, определяемой уставками  $Z1 >$  и  $Z1 <$ , зависит от направления изменения угла по защищаемому участку сети и располагается по обе стороны от места установки устройства (точки измерений). Её протяжённость в направлении первой части защищаемого участка сети составляет, например,  $Z1 > \cdot X1 / 100$  по реактивной составляющей и  $Z1 > \cdot R1 / 100$  по активной составляющей сопротивления участка сети. В обратном направлении протяжённость первой зоны составляет  $Z1 > \cdot X2 / 100$  и  $Z1 > \cdot R2 / 100$  соответственно по реактивной и активной составляющим сопротив-

ления второй части защищаемого участка сети. Аналогично определяются зоны защиты для уставки  $Z1 <$ . Ко второй зоне защиты относятся части защищаемого участка, не попадающие в первую зону.

Угловой выявительный орган срабатывает в 1-й зоне защиты, когда реактивное сопротивление от места установки устройства до точки минимального напряжения (ТМН),  $X_{ТМН}$ , находится в пределах этой зоны. Когда ТМН находится в пределах защищаемого участка сети, но вне зоны защиты, угловой выявительный орган срабатывает во второй зоне защиты.

Иногда в энергосистеме возникает необходимость взаимной блокировки в случае, когда в процессе первого асинхронного проворота точка минимального напряжения может перейти через шины подстанции, на которой установлено несколько устройств АЛАР-Ц. Проблема состоит в том, что при наличии трёх и более высоковольтных линий (ВЛ), примыкающих к шинам ПС и защищаемых устройствами АЛАР-Ц, далеко не всегда можно заранее определить какие из ВЛ в асинхронном режим попадут в состав опасного сечения и, при этом, какие из них окажутся включёнными параллельно, а какие – последовательно. Эту информацию получают устройства АЛАР, но так как эти устройства могут сработать не одновременно и после их срабатывания деление энергосистемы происходит с задержкой на время отключения выключателей, то возможно, что в течение этой задержки точка минимального напряжения перейдёт через шины ПС, в результате чего устройствами АЛАР может быть инициировано отключение ВЛ и с другой стороны подстанции, что недопустимо.

Проблема может быть решена с использованием двух технологических выходных реле и блокирующего входа каждого из устройств АЛАР, установленных на ПС, и промежуточных логических (релейных) схем.

Характерной особенностью рассматриваемого процесса является то, что если первое сработавшее устройство зафиксирует одно направление скольжения напряжения ПС относительно электрического центра качаний (ЭЦК), то те устройства, которые срабатывают избыточно, будут фиксировать противоположное направление скольжения, поскольку ЭЦК перейдёт через шины ПС. Таким образом, блокирование избыточно срабатывающих устройств может инициироваться их же сигналом срабатывания в том случае, если эти устройства фиксируют направление скольжения противоположное тому, которое зафиксировано первым сработавшим устройством. При срабатывании устройства АЛАР-Ц на его выходе формируется один из двух релейных сигналов «Срабатывание 1» или «Срабатывание 2». Сигнал «Срабатывание 1» формируется в том слу-

чае, если ПС, на которой установлено устройство, находится в тормозящейся, относительно ЭЦК, части энергосистемы или в электрическом центре качаний. Сигнал «Срабатывание 2» формируется в том случае, когда при срабатывании устройства подстанция, на которой оно установлено, находится в ускоряющейся части энергосистемы.

Для выявления АР синхронных генераторов помимо углового и циклового выявительных органов также используется выявительный орган, фиксирующий асинхронный режим синхронных генераторов при коротких замыканиях во внешней сети. Устройство АЛАР-Ц может подключаться: либо непосредственно на напряжения и токи генератора по трёхпроводной схеме (рис. 2, а), либо на напряжения и токи силового трансформатора на его высоковольтной стороне (рис. 2, б).

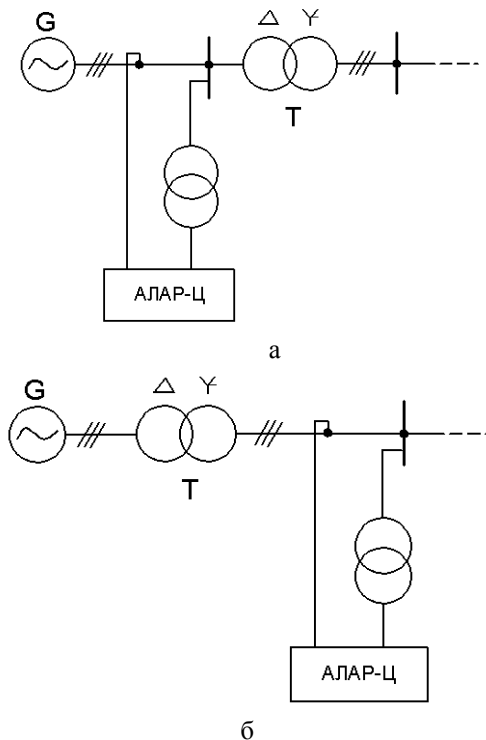


Рис. 2. Подключение устройства АЛАР-Ц

Особенность задания уставок в данной схеме заключается в том, что в качестве уставки  $X_1$  должно быть задано: либо величина переходного сопротивления синхронного генератора  $X'd$  при подключении устройства по схеме рис. 2, а, либо сумма реактивного сопротивления трансформатора  $X_T$  и

переходного сопротивления синхронного генератора  $X'd$ , приведенного к напряжению обмотки ВН трансформатора.

В качестве уставок выявительного органа, фиксирующего переход генератора в асинхронный режим во время короткого замыкания (ВОКЗ), задаются:  $P_H$  – номинальная активная мощность защищаемого генератора в МВт;  $T_J$  – постоянная инерции генераторного агрегата в с;  $X_q$  – синхронное реактивное сопротивление генератора в Ом.

Выявительный орган вступает в работу при фиксации к.з. в сети. В процессе работы этот выявительный орган вычисляет приращение угла вылета ротора генератора  $\Delta\delta$  во время к.з., дважды интегрируя величину приращения активной мощности генератора во время к.з., и формирует команду на срабатывание устройства при выполнении условия:  $\Delta\delta \geq \pi - \delta_d$ , где  $\delta_d$  – внутренний угол защищаемого генератора в доаварийном режиме.

Необходимо отметить, что этот способ выявления АР предполагает постоянство вращающего механического момента на валу генератора во время к.з. Поэтому использование ВОКЗ недопустимо в малой энергетике для генераторов с газотурбинным или поршневым приводом, оснащённых быстродействующими регуляторами скорости. Вращающий момент на валу этих энергоблоков во время к.з. не останется постоянным.

## Выводы

1. В работе определены задачи, стоящие перед устройствами АЛАР в современных энергосистемах.
2. Разработана методика настройки локальных устройств цифровой автоматики ликвидации асинхронных режимов АЛАР-Ц для организации системы ликвидации асинхронных режимов энергосистемы.

## Список литературы

1. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В.А. Андреев. – 5-е изд. – М.: Высш. шк., 2007. – 639 с.
2. Эдлин М.А. Автоматика ликвидации асинхронных режимов АЛАР-Ц / М.А. Эдлин, П.Я. Кац, А.А. Лисицын // Электрические станции. – М.: 2005. – № 12. – С.40-43.

Поступила в редколлегию 22.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук Г.И. Канюк, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков.

## НОВІ ПРИНЦИПИ АВТОМАТИКИ ЛІКВІДАЦІЇ АСИНХРОННОГО РЕЖИМУ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

І.В. Пантелєєва, Н.О. Каліберда

У роботі проаналізовані можливі причини порушення стійкої роботи електроенергетичної системи; розглянуті особливості асинхронного режиму, який з'являється при порушенні стійкості. Особливу увагу приділено умовам, при яких можливе припинення асинхронного режиму. Розглянуті існуючі принципи будівництва автоматики ліквідації асинхронного режиму. Розроблена методика налаштування локальних пристроїв цифрової автоматики ліквідації асинхронних режимів. Приведені можливі схеми підключення цифрових пристроїв АЛАР.

**Ключові слова:** енергосистема, стійкість паралельної роботи, асинхронний режим, автоматика ліквідації асинхронного режиму, електрична станція, підстанція.

**NEW PRINCIPLES OF AUTOMATION OF LIQUIDATION ASYNCHRONOUS MODE GRIDS**

I.V. Panteleeva, N.O. Caliberda

*In work there are the analysed possible reasons of violation of firm work of the electroenergy system; the considered features of the asynchronous mode which appears at violation of firmness. The special attention is spared to the terms at which possible stopping of the asynchronous mode. The considered existent principles of construction of automation of liquidation of the asynchronous mode. The developed method of tuning of local devices of digital automation of liquidation of the asynchronous modes. Resulted possible charts of connecting of digital devices ALAR.*

**Keywords:** *grid, firmness of parallel work, asynchronous mode, automation of liquidation of the asynchronous mode, electric station, substation.*

---