

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ISSN 0201-4564

№ 9
2003

Оценка технологии регистрации и обработки информации

Иванилов Б. В., инж., Заболотный И. П., канд. техн. наук
ООО НПП "Рекон" - ДонНТУ, г. Донецк

Как известно, организация достоверного анализа аварийных ситуаций в электроэнергетических системах связана с использованием регистраторов аварийных процессов. Развитие электроэнергетических систем сопровождается усложнением их режимов работы и повышением требований к системам автоматического и автоматизированного управления и, как следствие, к регистраторам аварийных процессов.

Развитие информационных технологий открыло новые возможности для решения обширного класса проблем энергетической системы, в том числе и благодаря наращиванию функциональных возможностей цифровых регистраторов и средств обработки информации.

В настоящее время используются цифровые регистраторы аварийных процессов, имеющие десятки и даже сотни каналов для аналоговых и дискретных сигналов, каналы регистрации частоты, способные отследить ее быстрые и глубокие изменения. Появилась возможность более полно расшифровывать аварии с привязкой к реальному времени. Сейчас весь аварийный процесс записывается в файл, который потом передается специалистам для расшифровки.

Основными потребителями информации цифровых регистраторов являются инженеры оперативно-диспетчерской службы и службы релейной защиты и автоматики. Целью анализа для оперативного персонала является быстрое определение точного места повреждения и состояния коммутационного оборудования, которое дает возможность персоналу принять решения относительно восстановления электроснабжения обесточенной части сети. Инженер релейной защиты, с другой стороны, больше заинтересован в получении детальной информации относительно работы РЗА, связанной с оборудованием в ненормальной ситуации.

В настоящей статье излагаются результаты использования современной технологии регистрации и обработки информации, разработанной НПП "Рекон", для анализа нарушений режима работы ОЭС Украины в июле 2001 г. и показаны направления развития цифровых регистраторов НПП "Рекон".

Каскадная авария началась с поочередного отключения из-за коротких замыканий линий напряжением 330 кВ. Перераспределение мощностей в сети 330 кВ привело к нарушению устойчивости и возникновению асинхронного режима по двум линиям

связи. Отказ в работе АЛАР одной из линий привел к погашению части энергосистемы.

Установка регистраторов не позволяла фиксировать непосредственно параметры режима и информацию о работе защит линий, на которых возникли короткие замыкания, но эффективность технологии регистрации и обработки информации позволяет выполнить анализ возникших аномальных режимов в сети напряжением 330 кВ электроэнергетической системы на основании регистрации режима примыкающей сети.

Программное обеспечение регистраторов "Рекон" обеспечивает регистрацию с общей синхронизацией информации в виде суточных, аварийных и диагностических форматов. Такой подход к регистрации позволяет связать общие этапы развития аварии с представлением интересующих интервалов изменения параметров режима во временной и частотной областях и в виде векторных диаграмм, что повышает эффективность анализа.

Следует подчеркнуть, что использование методов спектрального анализа зарегистрированных данных и безынерционное измерение и регистрация частоты не только повысили эффективность традиционного анализа, но и позволили дополнительно обнаружить ряд факторов, влиявших на работу автоматики АЛАР и АВСН Криворожской ТЭС в ходе системной аварии.

Суточные форматы представляют динамику развития аварии в целом на основании изменения огибающих усредненных значений напряжений в узлах системы и изменения частоты.

Аварийные файлы, содержащие мгновенные значения параметров режима, позволяют связать изменение параметров режима с работой противо-аварийной автоматики (рис. 1).

Анализ изменения токов, напряжений в элементах сети (рис. 2, 3), спектральных плотностей напряжений и токов (рис. 4), векторных диаграмм напряжений и токов позволяет оценить характерные особенности и аномального режима для выбранного отрезка времени.

Асинхронные режимы линий связи являются следствием взаимодействия двух и более групп генерирующих источников, имеющих разные частоты. При этом синхронные генераторы в одной группе работают синхронно и возможны колебания около среднего для группы значения частоты.

Расстановка регистраторов при возникшей аварийной ситуации позволила непосредственно ре-

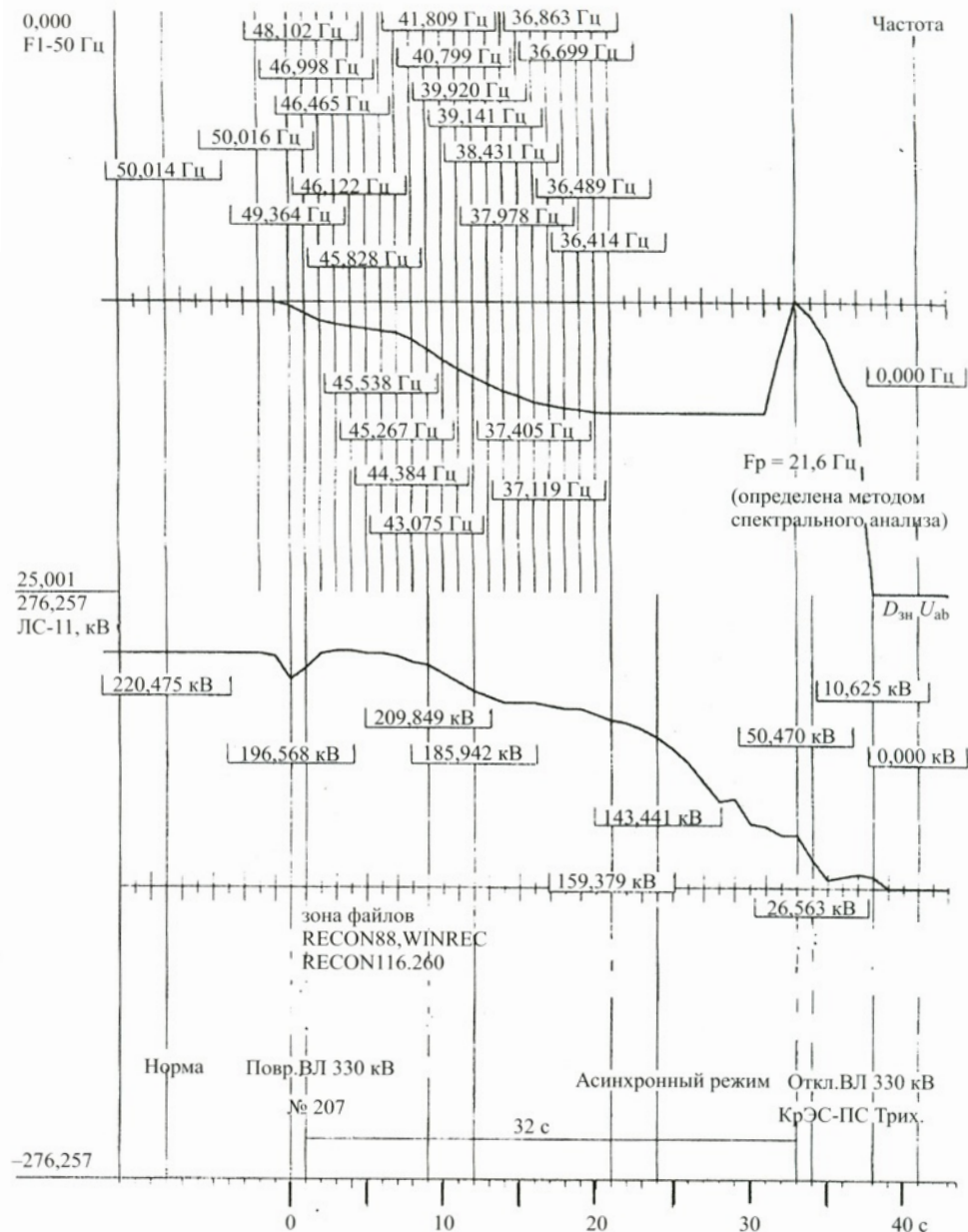


Рис. 1. Параметры аварийного режима (RECON файл. Объект: п/с Титан - 220. Дата процесса: 26/07/2001)

гистрировать изменение режимных параметров четко идентифицируемой группы генерирующих источников. Однако имеющаяся информация в первые 4 - 5 с асинхронного режима и методика ее обработки позволили установить наличие, по крайней мере, трех источников с установленными частотами.

Как известно, взаимодействие гармонических составляющих разной частоты приводит к возникновению биений, которое проявляется в форме огибающих напряжений и токов. На вид огибающих влияют не только значения частот ЭДС генерирующих групп (степень отличия), но неравенство значений ЭДС (напряжений) генерирующих ветвей и их электрическая удаленность от центра качаний [1 -3]. В зависимости от сочетания этих факторов частоты генерирующих групп в различной степени сказываются на периоде огибающих, но

проявляются в спектральных плотностях. Возможна регистрация полного тока генерирующей группы, на огибающую которой влияют все возникшие генерирующие группы, что приводит к увеличению периода огибающей тока группы по сравнению с периодом колебаний, определяемым по частоте генерирующей группы [2,3].

Анализ изменения огибающих напряжений в сети 330 и 220 кВ позволяет по их периоду установить разницу частот ЭДС генерирующих групп, а спектральные плотности токов и напряжений позволяют выделить частоты ЭДС генерирующих групп. По периоду огибающих токов в отдельных элементах группы также возможно определение частоты генерирующей группы. Анализ рис. 1-4 подтверждает известные положения. Так, на основании спектральных

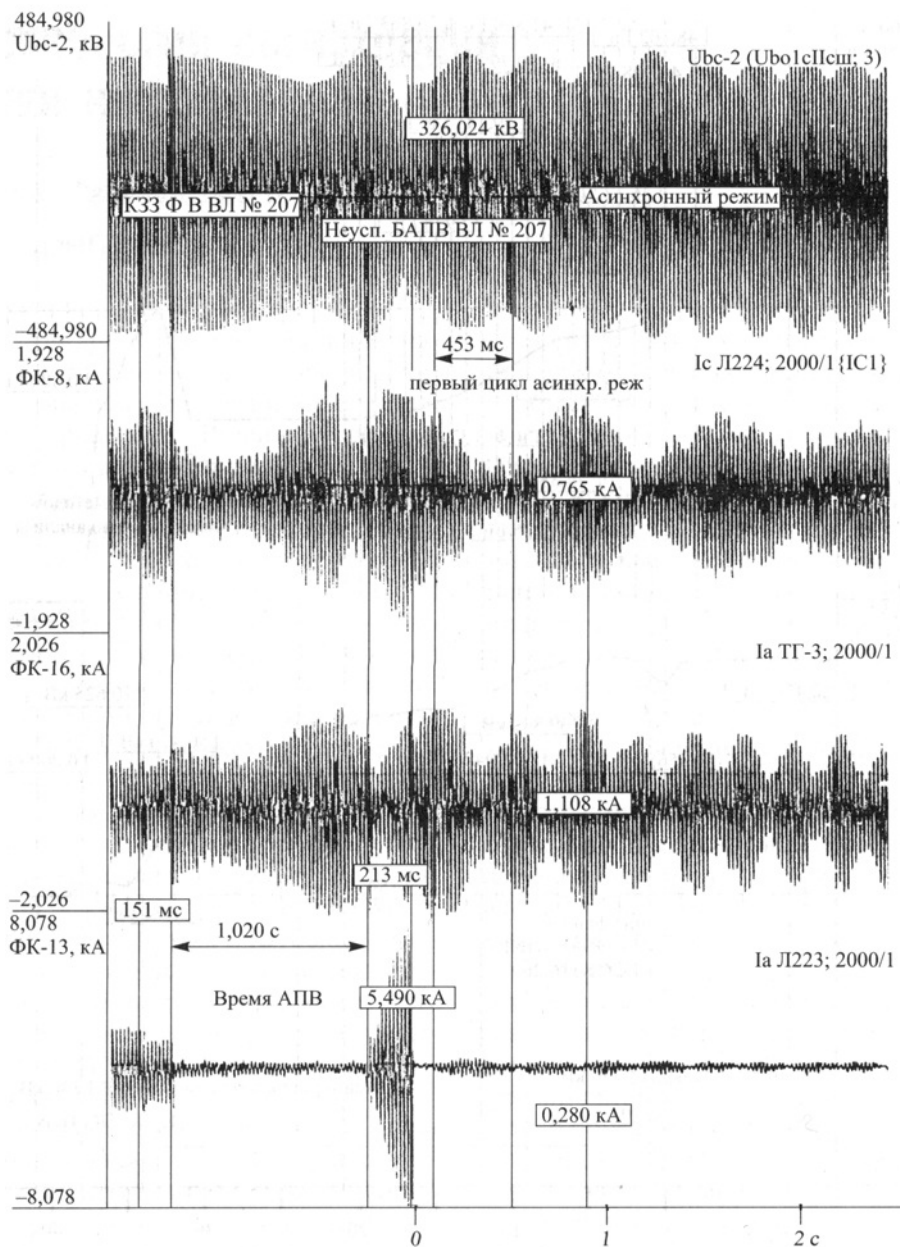


Рис. 2. Изменения токов и напряжений аварийного процесса на Криворожской ТЭС (Кесоп файл 88. УУшгес
Объект: КрТЭС, ОРУ 330 кВ. Дата процесса: 26/07/2001)

плотностей установлено наличие не менее трех групп генерирующих источников, что вызвано наличием асинхронного режима по двум линиям связи.

Анализ 6 с аварийного процесса позволил установить уменьшение близких по значению частот ЭДС генераторов Криворожской ТЭС (КрТЭС), Запорожской ТЭС (ЗаТЭС) от 48 до 44,5 Гц и увеличение частоты ЭДС эквивалентной системы от 50 до 50,65 Гц за это же время. Так, спектральный состав тока статора одного из генераторов КрТЭС (токи остальных не регистрировались) в течение первых 10 с асинхронного режима содержал три составляющие.

Отказ в работе АЛАР линии напряжением 330 кВ обусловлен тем обстоятельством, что традиционные способы выявления асинхронного режима в

энергосистеме рассчитаны на наличие только двух групп генерирующих источников, имеющих разные частоты [2,3]. Ограничение функциональной пригодности традиционных способов при трехчастотном асинхронном режиме было показано в [3]. За время асинхронного режима частота генерирующей группы района снизилась до 21,6 Гц с последующим "погашением" ЗаТЭС и КрТЭС. Наибольшая скорость снижения среднего значения частоты составила 1,4 Гц/с.

Значение частоты ЭДС в каждой генерирующей группе определяется балансом активных мощностей группы. Поэтому регистрация изменения частоты в сети 220 кВ (рис. 3) характеризует изменение частоты выделившейся генерирующей группы в целом.

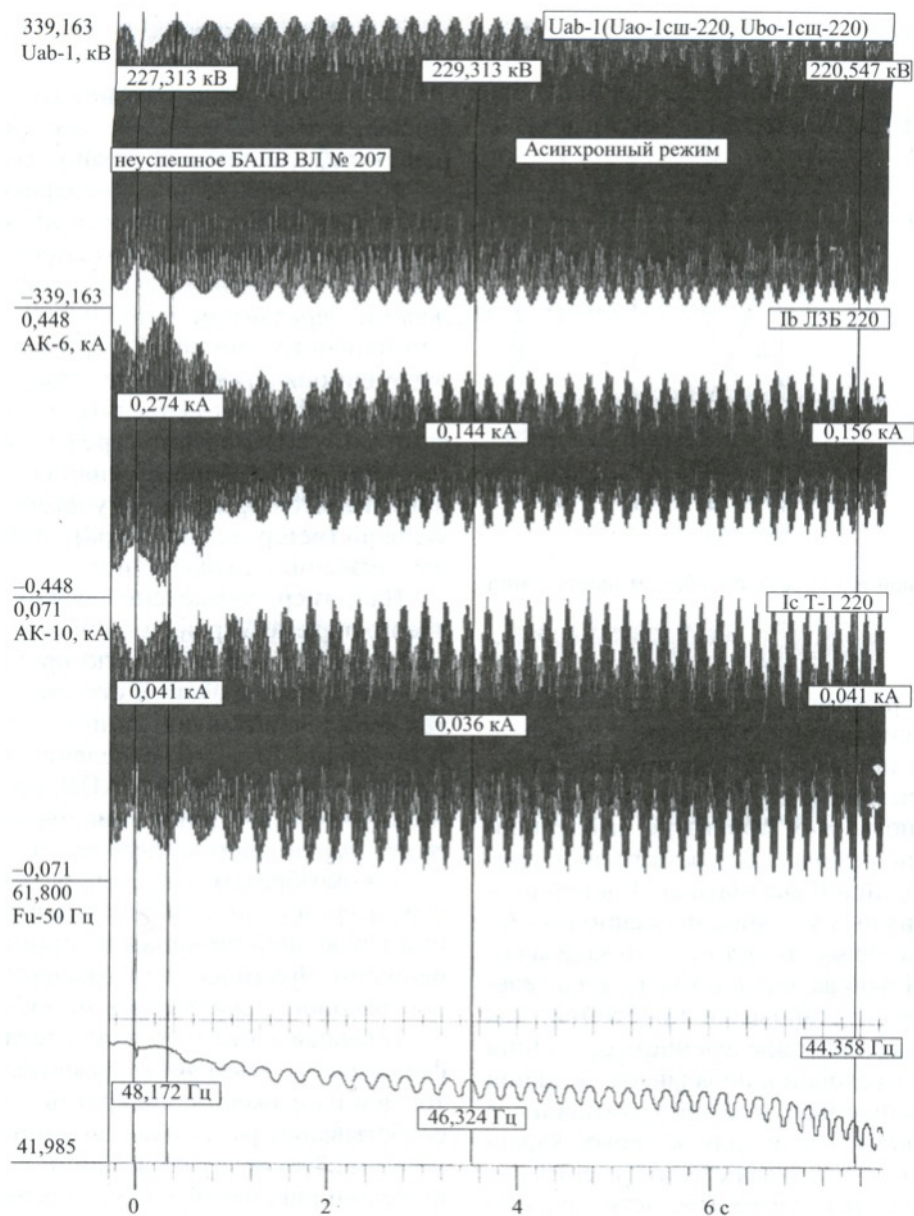


Рис. 3. Изменения тока, напряжения, частоты аварийного процесса на п/с Титан-220 (КЕСОК файл: Несом 116.200
Объект: п/с Титан-220)

Изменение частоты во времени можно условно представить в виде двух составляющих: аperiodической составляющей, определяемой балансом активных средних мощностей; периодической составляющей, обусловленной колебаниями нагрузки, вызванными изменениями напряжения в узлах сети. С ростом среднего скольжения пульсации увеличиваются, а их параметры определяются текущим соотношением спектральных составляющих и частотой "района" и "системы".

Наличие колебательной составляющей в частоте привело к тому, что текущее значение частоты периодически превышало уставку реле частоты, что приводило к возвращению времени задающего органа реле до тех пор, пока средняя частота ЭДС генерирующей группы не снизилась ниже уставки реле на величину амплитуды периодической составляющей. Таким образом,

можно сделать вывод, что наличие пульсирующей составляющей частоты смещает характеристику срабатывания реле частоты в область более низких частот и, как следствие, приводит к запаздыванию в работе системы автоматического выделения работы генераторов ТЭС на сбалансированную нагрузку.

Неудовлетворительная работа устройств АЛАР и АВСН блока КрТЭС в аварийной аналогичной ситуации в 1997 г. подтверждает необходимость учета при оценке эффективности работы противоаварийной автоматики характерной для асинхронных режимов множественности спектральных составляющих воздействующих токов и напряжений.

Целеобразно использовать интерпретацию модуляции частоты в виде двух составляющих в методах испытаний противоаварийной автоматики, предназначенной для выявления и прекращения

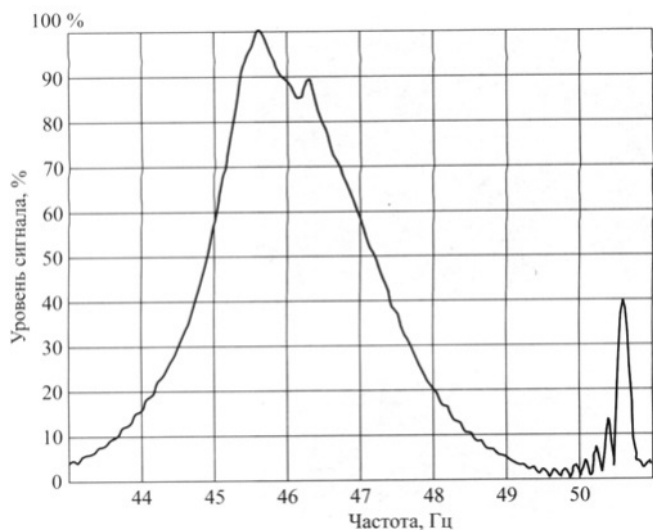


Рис. 4. Спектральная плотность колебаний напряжения шин 330 кВ КрТЭС

ния асинхронных режимов, а также для выделения блоков на сбалансированную нагрузку.

Допущения о постоянстве параметров ротора при изменении частоты и другие допущения, принятые в [3], не позволяют адекватно смоделировать асинхронный режим для эффективной проверки противоаварийной автоматики. Тенденция к утяжелению режимных условий, особенно в условиях энергорынка, приводит к тому, что задача создания расчетной эквивалентной схемы с выделением слабых связей становится проблемой, так как "слабые" связи при определенном сочетании схемно-режимных условий и небалансов активной мощности перемещаются в ранее считавшиеся концентрированными части, для которых характерна сложная многокольцевая структура сети.

Выполнить анализ эффективности работы устройств противоаварийной автоматики возможно на основании интерпретации изменения частоты с помощью составляющих либо на основании математического моделирования.

Имитационное моделирование длительных переходных процессов с учетом устройств регулирования, релейной защиты и противоаварийной автоматики, с адаптацией математической модели к изменениям топологии сети с возможностью реализации многообразия развития аварийной ситуации в настоящее время практически затруднительно по ряду причин, в первую очередь, из-за упрощенного описания генераторов.

Ориентировочные параметры для составляющих изменения частоты могут быть получены по упрощенным моделям, но при адекватном воспроизведении переходных процессов в генераторах, что возможно при использовании математической модели синхронного генератора, полученной в [4].

Анализ развития аварий в энергосистеме Украины, аварий в ряде энергосистем зарубежных стран [5, 6] позволяет сделать выводы:

1. Время каскадной аварии может составить 60 мин и более.

2. Наличие этапа, связанного с ошибками персонала, в том числе из-за неадекватности имеющейся информации о состоянии сети.

3. Ограничение в концентрированных системах пропускной способности линий электропередачи вследствие их относительно небольшой протяженности не статической устойчивостью, а пределами передаваемой мощности по термической устойчивости элементов. При возникновении перегрузки они отключаются защитой, время действия которой может исчисляться минутами и десятками минут. Изменение стрелы провеса провода в пролетах пересечения различных объектов до недопустимого предела с учетом климатических условий (ветер, температура) происходит при разных значениях тока в линии.

Например, утяжеление режима при аварии в энергосистеме Украины происходило из-за отключения двух линий 330 кВ по причине достижения недопустимых значений стрелы провеса в пролетах пересечения этих линий с линиями 150кВ. Динамичное перераспределение мощности, усугубленное неуспешными АПВ, привело к нарушениям устойчивости и возникновению асинхронного режима по двум линиям связи.

Таким образом, определение предельных токовых нагрузок по условиям нагрева проводов линий в реальной ситуации и сопоставление с измеренными фактическими значениями повышают достоверность анализа аварийной ситуации.

В зависимости от состава регистрируемой информации во времени (параметры режима в виде токов и напряжений, дискретные сигналы о пуске, срабатывании различных видов релейной защиты и автоматики воздушной линии и др.) формируется функциональный набор программного обеспечения цифровых регистраторов, необходимый для определения места повреждения и оценки с различной степенью глубины работы устройств релейной защиты. При этом возможные состояния линии при учете основных и резервных защит, АПВ, информации о наличии короткого замыкания на линии описываются в виде таблицы решений с ограниченными входами и 10-15 правилами вида "если <>, то <>".

Выводы

1. Технология регистрации и обработки информации в цифровых регистраторах НПП "Рекон" позволяет повысить эффективность анализа аварийных ситуаций, так как позволяет связать общие этапы развития аварии с представлением интересующих интервалов изменения параметров режима во временной и частотной областях и в виде векторных диаграмм.

Характер изменения огибающих токов позволяет судить об участии генерирующей группы в асинхронном

режиме, сделать предварительный вывод об эффективности установленной АЛАР.

Использование спектрального анализа позволяет выделить частоты генерирующих групп, определить параметры существенных спектральных составляющих токов и напряжений, влияющих на работу релейной защиты и противоаварийной автоматики, и использования их при поставочных проверках.

Данные безынерционного измерения частоты обеспечивают глубину анализа работы противоаварийной автоматики, основанной на частотных принципах.

2. Целесообразно использовать интерпретацию явления модуляции частоты в виде двух составляющих в методах испытаний противоаварийной автоматики, предназначенной для выявления и прекращения асинхронных режимов, для оценки эффективности работы новых устройств противоаварийной автоматики, для оценки адекватности математических моделей описания асинхронных режимов в электроэнергетических системах.

3. Автоматическая обработка данных регистраторами определяется составом регистрируемой информации (параметры режима в виде токов и напряжений, дискретные сигналы о пуске, срабатывании различных видов релейной защиты и автоматики воздушной линии и т.д.) и может выполняться в двух направлениях:

для отслеживания и предупреждения диспетчерского персонала о приближении к зоне критических режимов;

для представления информации о месте повреждения и работе устройств РЗ и ПА в ходе и после аварийных ситуаций.

4. Для выполнения проверок эффективности автоматики АЛАР и АВСН целесообразно применение

оборудования, способного генерировать сложные полигармонические сигналы токов и напряжений, с настраиваемыми параметрами спектральных составляющих, адекватное оборудование для сигналов и контроля. Мобильные регистраторы "Рекон-08МС" позволяют автоматизировать экспериментальные исследования, упростить нусконаладочные и ремонтные операции для сложного оборудования за счет обработки накопленной информации непосредственно на рабочем месте. Эти регистраторы, имеющие массу до 7,5 кг, оснащены встроенным графическим дисплеем, флеш-памятью, позволяющей хранить значительные объемы информации, стандартным дисководом, изолированным R232 портом. Регистраторы обеспечивают регистрацию информации по 16 гальванически развязанным каналам с тремя фиксированными масштабами с частотой дискретизации от 100 Гц до 20 кГц.

Список литературы

1. Веников В. Л. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высшая школа. 1985.
2. Гоник Я.Е., Иглицкий Е.С. Автоматика ликвидации асинхронного режима. М: Энергоатомиздат, 1988.
3. Берлянд Э.С. Анализ изменения токов и активных мощностей при многочастотных асинхронных режимах. - Электричество, 1972, №7.
4. Заболотный И. П. Математические модели и методы анализа динамических режимов синхронных генераторов / Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Збірник наукових праць, . Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. Харків: НТУ ХП. 2001, № 17.
5. Обзор аварий и других нарушений в работе на электростанциях и в электрических сетях энергосистем за 1981 г. М.: Союзтехэнерго. 1982.
6. Обзор аварий и других нарушений в работе на электростанциях и в электрических сетях энергосистем за 1985 г. М.: Союзтехэнерго. 1986.