

## Отзыв

официального оппонента, д.т.н., с.н.с. Лачугина Владимира Федоровича,

на диссертацию Антонова Владислава Ивановича

### **«ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ АДАПТИВНОГО СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ»,**

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

05.14.02 - Электрические станции и электроэнергетические системы

#### **1. Актуальность темы диссертации**

Согласно Положению ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе, технологическим приоритетом является построение интеллектуальной энергетической системы, что, в частности, предполагается достичь путем повышения наблюдаемости электрической сети, оснащенной электрооборудованием, изменяющим свои параметры в зависимости от характера изменения режимов ее работы. Подобное развитие энергосистем, связанное с появлением новых технологий цифровой техники, предъявляют более высокие требования к точности измерения и анализу параметров режимов, в частности токов, напряжений, частоты в устройствах релейной защиты и автоматики (РЗА) энергосистем. В связи с этим, создание современных адаптивных методов распознавания указанных параметров в нормальных и аварийных режимах работы энергосистемы является совершенно необходимым, учитывая тенденции активного внедрения современного математического аппарата при моделировании как самих исследуемых сигналов, так и различных микропроцессорных устройств РЗА, базирующихся на контроле установившихся и переходных процессов при коротких замыканиях в энергосистеме и, открывающиеся возможности цифровых трансформаторов тока и напряжения, терминалов указанных устройств, а также средств обработки и передачи информации в соответствии с положениями стандарта МЭК 61850. Бурное развитие вычислительной техники и средств РЗА, наблюдающееся в последнее время, позволило перейти к усложнению алгоритмов РЗА, в которых использование современной теории распознавания структуры сигнала в темпе процесса является действенным средством для повышения эффективности функционирования устройств РЗА различных объектов электроэнергетической системы.

В связи с этим тема диссертации В.И. Антонова, целью которой является разработка адаптивного структурного анализа параметров режимов энергосистемы и методических

основ внедрения ее положений в сфере интеллектуальной электроэнергетики, представляется весьма актуальной.

## **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций работы подтверждается результатами математического моделирования, а также использованием разработанных методов в микропроцессорных устройствах релейной защиты и автоматики «ЭКРА 200» (ООО «НПП «ЭКРА») и «Бреслер-0107» (ООО «НПП «Бреслер»).

## **3. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы базируется на использовании методов линейной алгебры и теории цифровой обработки сигналов, в том числе теории распознавания образа сигнала, теоретических основ электротехники, теории электромагнитных и электромеханических переходных процессов в энергосистеме.

## **4. Научная новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Основным результатом диссертации является разработка теории адаптивных структурных моделей при распознавании сигналов, соответствующих данным параметров режима энергосистемы, применительно к исследованию принципов и подходов к построению алгоритмических моделей устройств РЗА. При исследовании автором подробно рассмотрены как модели непосредственно сигналов, так и роль шумов в цифровых сигналах. При этом оригинальное решение задачи структурного анализа разделено на распознавание интервалов однородности сигнала, а затем - на формирование структурной модели сигнала выбранного интервала. Композиционно логически связанным выглядит сам процесс дальнейшего исследования рассматриваемых сигналов с помощью адаптивной структурной модели, развивающий методологию Прони в современном ее понимании, при организации четкой взаимосвязи между корнями характеристического уравнения этой модели с компонентами распознаваемого сигнала. При этом для оптимизации процесса селективного извлечения составляющих

измеряемого сигнала на фоне шума разработаны так называемые эффективные структурные модели, представлением которых могут служить каскадно соединенные фильтры составляющих и фильтры шума, как бы подстраиваемые под структуру анализируемого сигнала.

Автор не заканчивает свои теоретические построения на исследованиях адаптивных моделей, но развивает их, увязывая свойства известных в РЗА неадаптивных моделей (фильтров ортогональных составляющих) со свойствами разработанных в диссертации адаптивных моделей и объединяя их в класс так называемых гибридных структурных моделей сигнала.

Все это позволило автору в итоге представить подходы, повышающие эффективность оценивания достоверности структурного анализа сигналов при их фактической неопределенности и сформировать базу знаний в качестве инструмента использования не только в области РЗА, но и в формирующихся сферах применения интеллектуальной энергетики. В диссертационной работе представлены принципы решения обозначенных задач и даны рекомендации по способам построения новых видов РЗ для объектов электроэнергетической системы.

Все вышеизложенное свидетельствует о действительно комплексном подходе к решению поставленных автором задач. Теоретические выводы, положения и разработанные методики, несомненно, обладают научной новизной.

**Автореферат диссертации и опубликованные работы** автора полностью отражают содержание диссертационной работы. Следует отметить наличие более 100 печатных работ по теме диссертации, в том числе монографию и 19 авторских свидетельств и патентов на изобретения.

## 5. Замечания по диссертации

1. Представляется, что в название темы диссертации следовало бы внести уточнение, касающееся характера анализируемых сигналов, в частности параметров режима энергосистемы - тока, напряжения и частоты, поскольку сигналы систем связи и телемеханики, применяемые в электроэнергетике, в диссертационной работе не рассматривались.

2. Не очень убедительно утверждение, приведенное на с. 7, об особенных преимуществах адаптивных структурных моделей для РЗ при коротких замыканиях в сети переменного тока, связанной через преобразователи с сетью постоянного тока. Эти

модели не менее актуальны, например, для протяженных сетей сверхвысокого напряжения, в которых частоты свободных составляющих переходного процесса сближаются с промышленной частотой.

3. Хотелось бы получить разъяснение о методической границе использования конечного числа свободных составляющих сигнала переходного процесса, определяемого порядком электрической системы, о чем приведено на с. 27 диссертации, и - бесконечного числа свободных составляющих переходного процесса в сети, моделируемой с использованием распределенных параметров линий электропередачи, в соответствии с монографией 1972 года С.Б. Лосева и А.Б. Чернина (с. 28).

4. Некорректно утверждение на с. 28 о том, что часть множества составляющих принужденного режима может быть поглощена множеством собственных мод, поскольку природа этих множеств совершенно различная.

5. При описании метода ОМП на с. 274-277 не уточняется его классификация и характер анализируемого сигнала, приведенного на рис.6.32. По-видимому, анализируется дистанционный метод ОМП по параметрам аварийного режима, а анализируемый сигнал - это ток поврежденной фазы ЛЭП. При этом если рекомендуется для расширения информационной базы ОМП использовать параметры свободных составляющих аварийного процесса (с. 275), то предлагаемое на той же странице исключение из рассмотрения начального участка переходного процесса может привести к снижению точности ОМП.

6. В разделе 6.8 странным образом перемешались рассуждения и аргументация, касающиеся реакторов и разрядников, что не позволило должным образом оценить эффективность предложенных в этом разделе технических решений.

7. Необходимо также обратить внимание на неудачное обозначение интервалов на с. 32 и 33, совпадающее с обозначениями ссылок из списка литературы, а также на использование терминов «межзонные» и «межобластные» колебания вместо «межсистемные» и пропуск ряда наименований при описании расчетных выражений, например, передаточная функция фильтра. Кроме того, следует заметить, что энергосистема объединяет сети всех напряжений, а не только, например, сети высокого (с. 26) или сверхвысокого напряжения (с. 28), а новые качества интеллектуальных сетей достигаются при высокоточных измерениях параметров режима не только в различных узлах энергосистемы, но и в ее различных ветвях.

8. Вывод ряда расчетных выражений, учитывая особенности применения предложенной теории для отдельных устройств РЗА, следовало бы выполнить более подробно, не поспедев на приложения к диссертации.

## 6. Заключение

Диссертация В.И. Антонова является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых следует квалифицировать как научное достижение, внесшее существенный вклад в развитие теории анализа цифровых сигналов релейной защиты и автоматики энергосистем. Автор представленной работы является сложившимся ученым, умеющим ставить и решать на высоком научном уровне теоретические и практические задачи.

Основное содержание диссертации в полной мере отражено в печатных работах автора, опубликованных в рецензируемых научных изданиях.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора технических наук, а ее автор, Антонов Владислав Иванович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 - Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент  
заведующий лабораторией  
информационно-измерительных  
и управляющих систем  
Акционерного общества  
«Энергетический институт им.  
Г.М. Кржижановского (АО «ЭНИН»)  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник  
24 мая 2018 года

Лачугин Владимир Федорович

Подпись В.Ф. Лачугина заверяю  
Ученый секретарь  
АО «ЭНИН», д.т.н.

Корценштейн Наум Моисеевич

Адрес АО «ЭНИН»: 119071, Москва, Ленинский проспект, 19  
Телефон: (495) 770-31-04  
e-mail: [postbox@eninnet.ru](mailto:postbox@eninnet.ru)