

**А.П. Никифоров, П.Р. Никифоров**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк  
кафедра электрических станций

*E-mail:* [apnikiforov@yandex.ua](mailto:apnikiforov@yandex.ua)

## **СИНТЕЗ «СКАНЕРА-АНАЛИЗАТОРА» ДЛЯ РАБОТЫ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

### **Аннотация**

**Никифоров А.П., Никифоров П.Р. Синтез «сканера-анализатора» для работы в условиях недостаточности исходной информации.** Синтез выполнен структурным методом. Устройство восстанавливает недостаток информации за счет анализа структуры переходного процесса в объекте защиты, более полного задействования имеющихся информационных составляющих, самоконтроля, диагностики под напряжением на длительных интервалах времени, воздействия на объект защиты. Выполнено моделирование синтезированной схемы устройства в САПР сквозного проектирования. Результаты реализации устройства и рабочей программы устройства в новом типе терминала защиты показывают эффективность и правильность заложенных положений.

**Ключевые слова:** структурно-лингвистический метод, смысловая информационная составляющая, распознавание образов, релейная защита и автоматика.

### **Общая постановка проблемы.**

В задаче защиты и управления распределительной сетью напряжением 6-35 кВ от повреждений изоляции фаз на землю (ОЗЗ) объектом защиты и управления (ОУЗ) выступает контур нулевой последовательности сети (КНПС). КНПС обладает распределенными параметрами, многообразием возникающих в нем смысловых ситуаций, изменением характеристик в процессе эксплуатации. Место пробоя изоляции, воздействуя на ОУЗ, в качестве одного из типов возмущения, характерно нестационарностью, нелинейностью, неустойчивостью и другими показателями, усложняющими построение средств защиты и управления ОУЗ. Создание действенного средства определения и контроля состояния ОУЗ, в случаях сколь ни будь более сложных реальных ситуаций, не произошло. Математический сравнительный анализ известных устройств защиты и управления КНПС иерархическим и структурно-лингвистическим (СЛ) методами [1-4] показывает недостаточную эффективность устройств не только в этой задаче, но и в тех частных случаях задачи, которые авторы устройств ставят перед собой ( $K_{\Delta\phi}=0.2-0.5$  против 1).

Согласно иерархическому и СЛ-методу вся интересующая информация о КНПС и гальванически связанном высоковольтном оборудовании определяется информационными датчиками с пороговыми выходами - терминальными символами (ТС). Информационные датчики физически располагаются в отдельных устройствах контролирующих работу КНПС, и связанных локальной информационной сетью. К таким устройствам относятся: устройство селективного поиска (СП), высокочастотный цифровой регистратор (ВЦР), автокомпенсатор (АРК), терминал КНПС (Т-КНПС). Количество устройств может достигать 10-20 шт. для гальванически отделяемого участка КНПС. ТС обрабатываются логическими (булевыми) правилами  $P$  преобразования в синтаксическом автомате. Правила  $P$  формируют нетерминальные символы (НТС) промежуточных состояний ОУЗ. Получаемое дерево обработки информации формирует корневой символ  $S$ .

Для комплексного решения задачи в работах [2-4] предлагается организовать систему автоматической стабилизации нормального режима работы (АСНОР) КНПС. Система строится изначально для работы в условиях недостаточности исходной информации. Обратная связь в системе замыкается по смысловым информационным составляющим, так же как это бы происходило через экспертную оценку оперативного персонала (ОП). В связи с этим систему АСНОР КНПС можно отнести к системам с искусственным интеллектом.

#### **Постановка задач исследования.**

Анализ осциллограмм реальных высокочастотных аварийных файлов переходных процессов в сети показывает, что по мере развития переходного процесса система АСНОР в большем числе случаев перейдет в состояние достаточности информации пока не произойдет вмешательство ОП и ручного управления ОУЗ. Поэтому, если систему АСНОР не блокировать в условиях недостаточности информации, как это обычно выполняется в известных устройствах, а продолжать работать по соответствующим алгоритмам, то решение задачи будет достигнуто. Заметим, что в виду сложности задачи последним рубежом при недостаточности информации остается эргатический человеко-машинный интерфейс с интуитивно понятным графическим отображением сути происходящих процессов в ОУЗ. Наличие графического интерфейса исходит также из требования о необходимости поста ручного управления ОУЗ.

Следуя подходу о целенаправленном синтезе системы АСНОР для комплексного решения задачи, будем ориентироваться при синтезе на возможность задействования ОП в качестве исполнительного органа (ИО). Сразу определяя эту возможность как второстепенную, не основную. Также при синтезе учитываются необходимые требования о самоконтроле и частичной диагностики ОУЗ, ИО под напряжением, требования надежности настройки отдельных устройств и системы в целом, контроле работы сети в нормальном режиме, поддержания работы системы и высоковольтного оборудования на длительных интервалах времени. Анализ решения задачи на этапе моделирования показывает, что для правильной и эффективной работы ОП в случае появления «*Неопределяемой ситуации*» появляется необходимость отображения работы системы АСНОР в режиме «сканера-анализатора».

#### **Решение задач исследований.**

Синтез «сканера-анализатора» структурным иерархическим методом покажем на примере решения задачи селективного поиска (СП) поврежденного участка КНПС. Эта задача является составляющей общей задачи. Согласно «*Теореме...*» [5] организовывается дискриминатор «*За-против*», контролирующий в основном структуру переходного процесса в ОУЗ, а не параметры сигналов, как в известных устройствах. При построении устройств все символы ТС, НТС и S разделяются на две группы – «*За*» и «*Против*». В группу «*За*» (правила  $P_{СЕЛ}$ ) входят ТС, НТС, отвечающие за формирование корневого символа S, соответствующего «классическому» ОЗЗ. В группу «*Против*» входят правила  $P_{БЛ}$ , не разрешающие формирования S. Темп изменения сигнала  $S(t)$  гораздо меньше, чем параметров входных сигналов устройств (1000 крат). Поэтому отсчеты сигнала  $S(t)$  удается эффективно передавать по информационной сети в «сканер-анализатор». Поскольку процессы в КНПС развиваются во времени последовательно, формирование корневого символа отслеживает во времени  $S(t)$  текущее состояние КНПС и всего высоковольтного гальванически-связанного оборудования. Устанавливая пороговое значение  $\rho$ , например, 98%, можно определять наличие и качество распознавания текущего переходного процесса.

Возьмем обобщенное дерево определения терминалов РЗиА применительно к нашей задаче [2]. Выделим составляющие элементы дерева определения, соответствующие задаче о СП поврежденного участка КНПС (рис. 1). Показатели эффективности подсистемы - ( $K_{ЭФ}=0.5-0.7$  против 1). Выполним известными структурными правилами преобразование системы АСНОР на рис. 1 в систему стабилизации (рис. 2) с сигналом  $S(t)$  в качестве

сигнала отрицательной обратной связи. Для этого перенесем выделенный на рис. 1 основной блок подсистемы «Поиск поврежденного участка КНПС» за разностный элемент.

Теперь уставкой системы являются величины порогов устройств, определяющие «Нормальный режим» работы ОУЗ. Отличия выхода ОУЗ от уставки устраняется ИО. На рис. 2 показано формирование смыслового сигнала  $S(t)$  по единому способу «За-против». Физически формирование смыслового сигнала  $S(t)$  выполняется в отдельных устройствах (СП, РВЦ, АРК) и завершается в «сканер-анализаторе» терминала «Т-КНПС». Ряд пороговых устройств (рис. 2) определяет отличие величины сигнала  $S(t)$ , характеризующего «типичное ОЗЗ» от величины  $S(t)$  текущего переходного процесса в ОУЗ для каждого из участков ОУЗ. Пороговые значения: «Поврежденный участок», «Неповрежденный участок», ..., «Неопределяемая ситуация» заданы в диапазоне [0 – 100%] изменения сигнала  $S(t)$ .

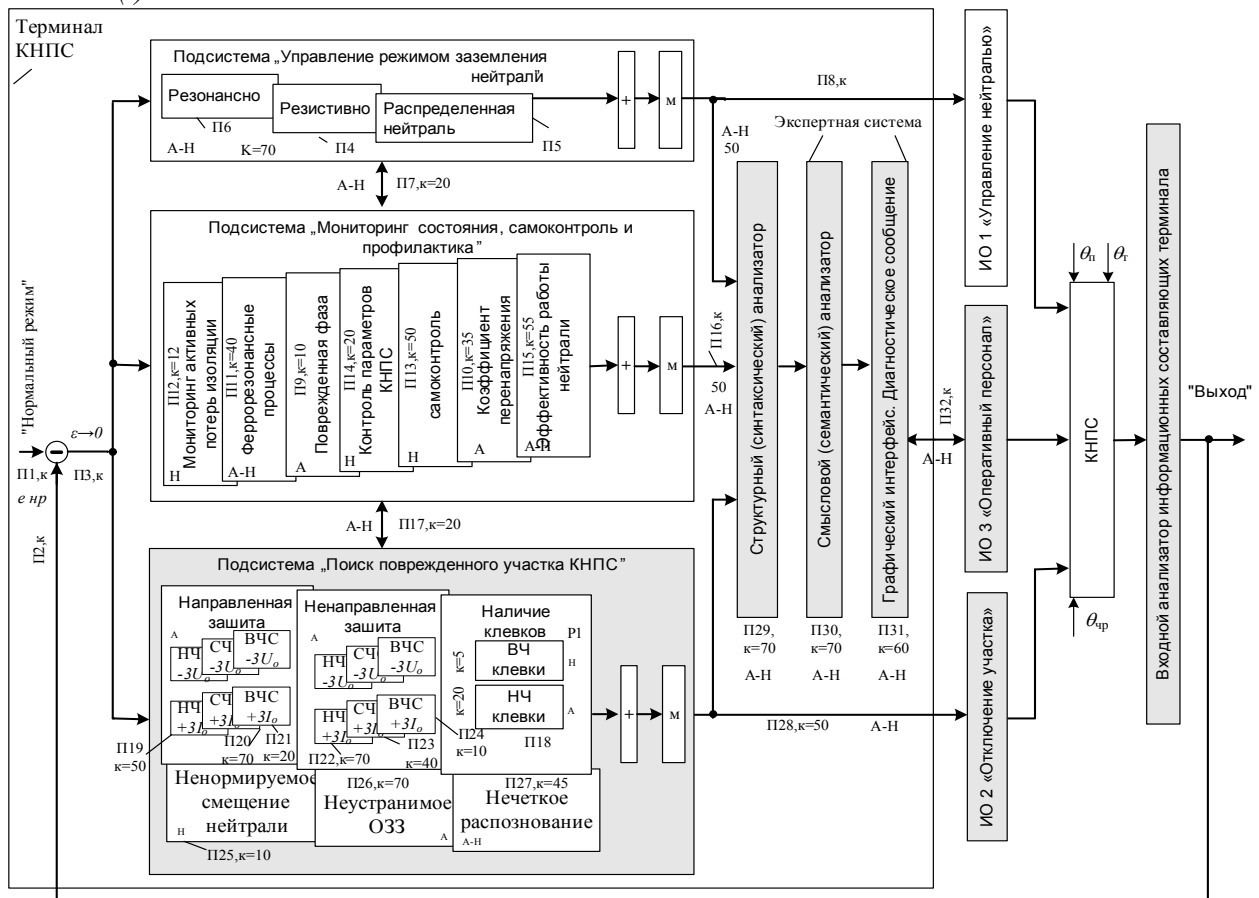


Рисунок 1 – Обобщенное дерево терминалов РЗиА в задаче АСНОР

«Сканер-анализатор» предназначен для автоматического выяснения сути происходящих процессов в ОУЗ в случаях неопределяемых ситуаций. К неопределяемым ситуациям относятся такие переходные процессы, при развитии которых информационных составляющих оказывается недостаточно для определения сути процессов. Иначе говоря, смысловой сигнал  $S(t)$  оказывается ниже порогов определения (см. Рис. 2), но не является нулевым. Причинами такого развития переходного процесса в КНПС могут быть механические пробои ОЗЗ вблизи нулевых значений фазных напряжений, частичные разряды, редко следующие «клевки» ОЗЗ и другие, а так же процессы не связанные с ОЗЗ. К ним относятся процессы у потребителя, проникающие в КНПС, прекосы нейтрали сети и т.д. При достаточности информации «сканер-анализатор» автоматически определяет и отключает поврежденный участок ОУЗ. При недостаточности формирует очередь «фаворитов» на отключение. Для определения сути переходных процессов при

недостаточности исходной информации вводится ряд дополнительных информационных датчиков с пороговыми значениями.

Одним из эффективных способов сохранения работоспособности устройства в условиях недостаточности информации оказывается организация режима «Доопределение».

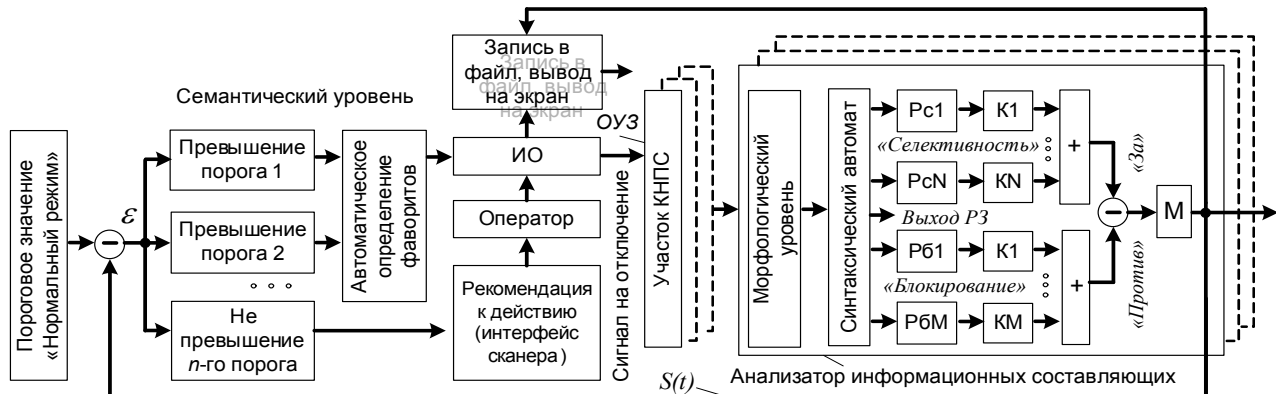


Рисунок 2 – Структурно-логическая схема «сканер-анализатора»

Суть режима состоит в том, чтобы продолжать поиск поврежденного участка ОУЗ при первоначальном блокировании работы устройства, но другими правилами  $P_{доп}$ . Для этого строятся синтаксический и семантический автоматы исправления начальной блокировки определения поврежденного участка ОУЗ. Синтаксический автомат «доопределения» организуется универсальным способом «За-против». Синтез автомата выполнен моделированием работы автомата «доопределения» в САПР «OrCAD» при построении его схемы на основе ПЛИС. При моделировании использовались сигналы реальных высокочастотных аварийных файлов презентабельной выборки. Рассмотрим последовательно работу синтезированных  $P_{доп}$ .

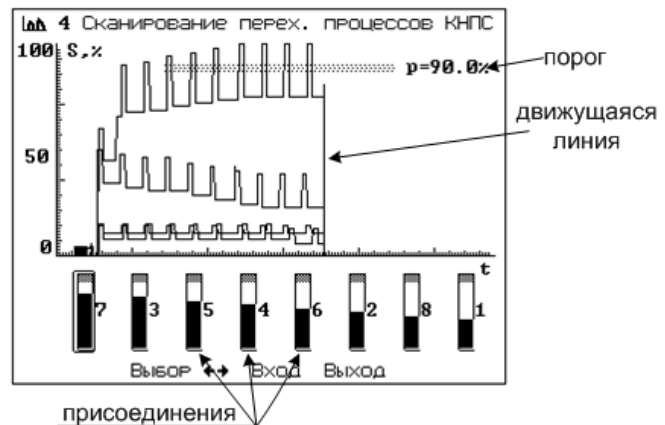
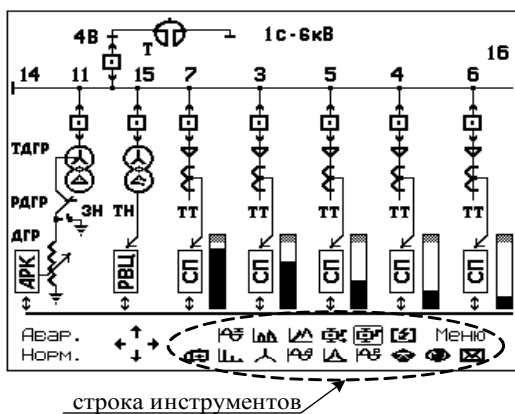


Рисунок 3 – Интерфейс терминала «Т-КНПС-1» сканирования переходных процессов

1. Выполняется подсчет накопления появления селективных НТС «СЧС-ФД», «СЧС-АФД» (СЧС фазовое детектирование) выполняется при наличии ТС «НЧС3U15В» и «НЧС3U30В». Информация о появлении этих ТС сохраняется в течение  $T_{НЧС}=0.7$  с после последнего появления ТС «НЧС3U15В». Время  $T_{НЧС}$  позволяет не разблокировать устройства СП при дуговом ОЗЗ (рис. 5). При появлении трех НТС в течение  $T_{ОЗЗ}$  накопительным НТС «СЧС-ФД», «СЧС-АФД» присваивается меньший весовой коэффициент, но сопоставимый по сравнению с основными селективными НТС «СЧС-ФД», «СЧС-АФД», которые появляются при «классическом» развитии ОЗЗ. Таким образом селективность определения участка ОУЗ восстанавливается.

2. Задействуются дополнительные НТС «ВЧС-ФД», «ВЧС-АФД». Эти НТС имеют низкую селективность потому, что полоса частот ВЧС находится в области помеховых составляющих переходных процессов в КНПС. Подсчет появления таких НТС происходит аналогично п. 1, но количество накопления НТС ограничено 30 шт. Весовые коэффициенты имеют наименьшее значение. Ограничение введено для того, чтобы по этому низкоселективному правилу  $P_{ДОП}$  смысловой сигнал  $S(t)$  не превысил порогового значения  $\rho$ , но разница между  $S(t)$  для выявления фаворита была бы достаточной.  $P_{ДОП}$  позволяют разделить с течением времени близкие участки по величине  $S(t)$  (см. рис. 3, рис. 5).

3. Задействуются  $P_{ДОП}$  подсчета ВЧ-, ОЗЗ-клевков за длительное контрольное время, например,  $T_{КОНТР}=1$  час. Эти  $P_{ДОП}$  позволяют выявить редкие смысловые ситуации, которые не выявляются другими устройствами, но присутствуют в сети и являются повреждениями изоляции. ОУЗ в таком случае может продолжать работать, поэтому для принятия решения об отключении поврежденного участка ОУЗ задействуется ОП с помощью «Диагностических сообщений» (см. рис. 6). Диагностическое сообщение представляет собой шаблон из знакомест, которые заполняются выходами ТС, НТС.

4. Задействуются дополнительные ТС «СЧС310» и НТС «SCЧС310», который подсчитывает площадь каждого импульса тока СЧС310 входной координаты устройств 310. Накапливаемые площади импульсов для каждого сигнала  $S(t)$  сравниваются мажоритарным клапаном (МЖК), определяется очередь фаворитов. Затем к каждому сигналу  $S(t)$  фаворитов добавляется довесок от НТС «ДобSCЧС310» с соответствующим весовым коэффициентом. НТС «ДобSCЧС310» оказывается по результатам моделирования, имеет относительно высокую селективность и такой же  $K_{ВЕС}$  (рис. 3).  $P_{ДОП}$  позволяют разделить с течением времени близкие участки по величине  $S(t)$  (рис. 3, рис. 5).

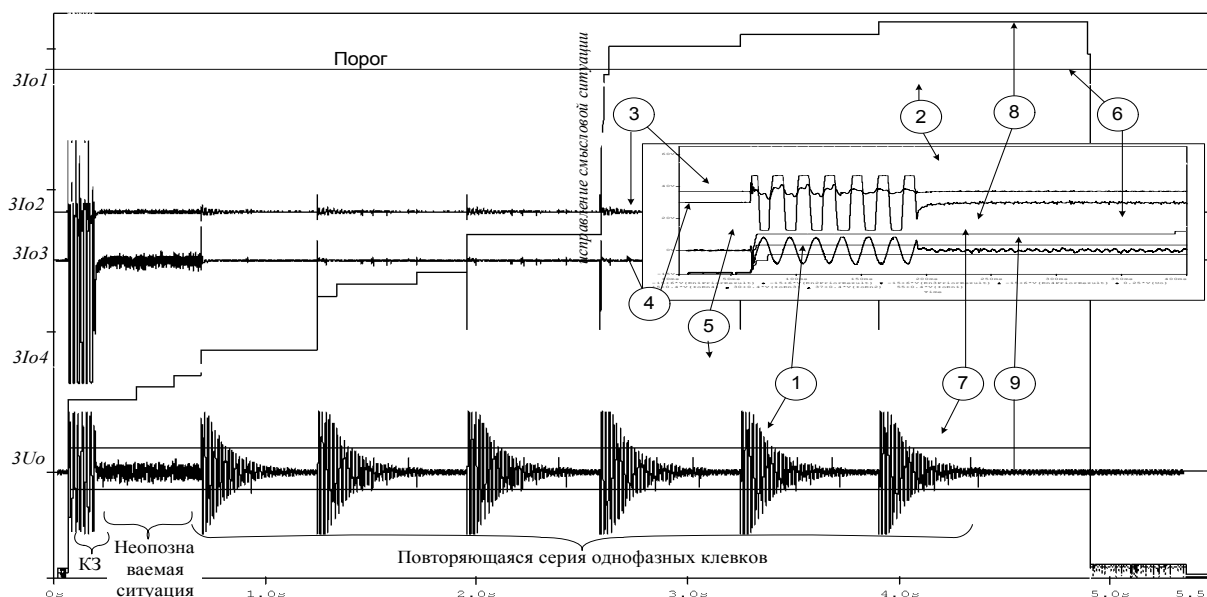


Рисунок 5 – Моделирование ситуации для 4-х участков КНПС. Сложная смысловая ситуация. 1 –  $3Uo$ ; 2-5 – сигналы  $3Io$  для участков 1-4; 6-9 – смысловые сигналы  $S(t)$  для участков 1-4; 4,8 – первый фаворит; 2,6 – второй фаворит

5. Построение очереди отключения фаворитов. Для определения фаворита (очереди фаворитов) на отключение задействуются мажоритарные клапаны по максимальной величине (НТС «МЖК-В») смыслового сигнала  $S(t)$  и мажоритарные клапаны по времени (НТС «МЖК-Т») появления первого значения максимальной величины  $S(t)$ . Отключение фаворитов может выполняться автоматически через время контроля длительности ОЗЗ, например,  $T_{ОЗЗ}=1.5$  с. Возможность и количество отключения фаворитов предварительно задается в меню настройки «сканера». После отключения одного фаворита, контролируется

отсутствие ТС «НЧЗУ15В» в течение времени  $T_{ОВЗ3}=0.7$  с. В случае неправильного отключения выполняется отключение следующего фаворита. В случае невозможности определения текущей смысловой ситуации выдается диагностическое сообщение «Неопределяемая ситуация».

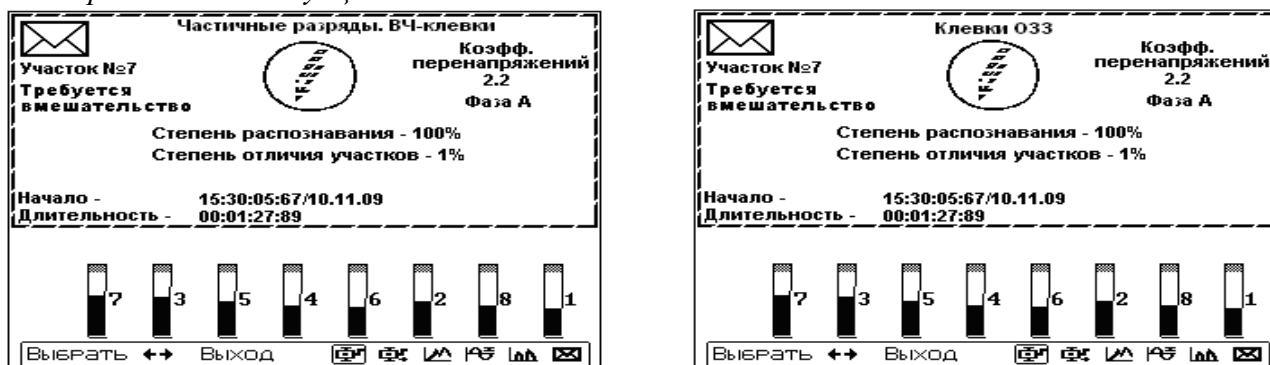


Рисунок 6 – Диагностические сообщения - ВЧ-, ОЗЗ-клевки

Инструмент терминала «Сканер-анализатор» с мнемоническим указателем (см. рис. 3) выполняет сканирование изменения во времени смысловых сигналов  $S(t)$  ряда фаворитов. Изменение сигналов  $S(t)$  отображается за линией, движущейся по графическому экрану терминала «Т-КНПС-1». В случае неопределяемой смысловой ситуации ОП принимает решение о необходимости отключения участка ОУЗ или переносе отключения на более удобное время, либо о переконфигурации сети с целью локализации повреждения. Для отключения участка ОУЗ задействуется соответствующий инструмент в прикрепленной строке диагностического сообщения. Инструменты расположены в последовательности наиболее удобной для уточнения ситуации ОП с возможностью отключения участка ОУЗ непосредственно с помощью «сканер-анализатора» по локальной информационной сети через устройство СП. Так же в «сканере» может задействоваться для отображения похожий по смыслу инструмент «Фиксация» (рис. 3, рис. 7), который показывает весь переходной процесс.

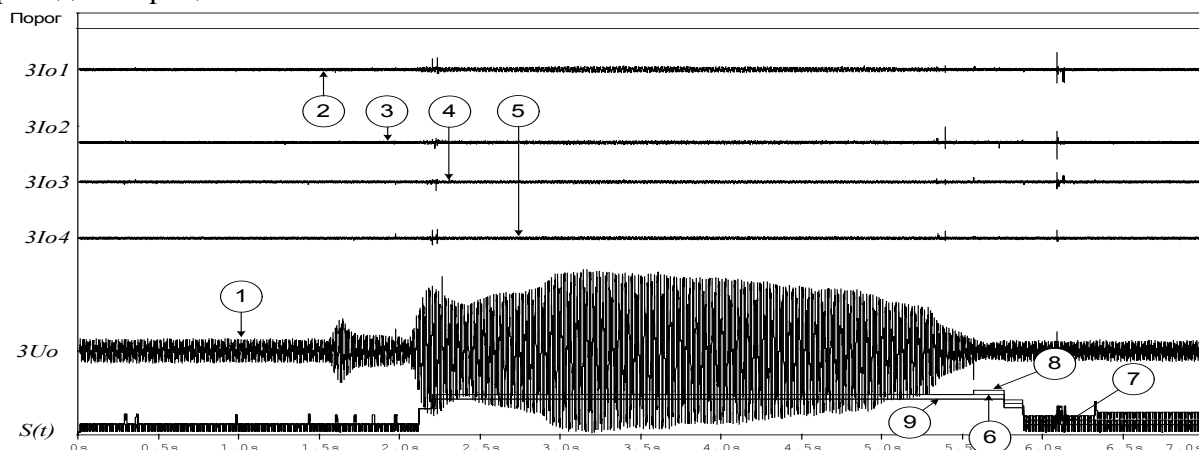


Рисунок 7 – Моделирование ситуации для 4-х участков КНПС. Смысловая ситуация «Смещение нейтрали». 1 –  $3Uo$ ; 2-5 – отсутствия сигналов  $3Io$  для участков 1-4; 6-9 – смысловые сигналы  $S(t)$  для участков 1-4

Диагностические сообщения о состоянии ОУЗ, возможной причине переходного процесса, о необходимости и способах устранения причины (рис. 6) формируются экспертной системой «сканер-анализатора» (рис. 1, рис. 2).

Приведем группы типичных смысловых ситуаций, возникающих при недостаточности исходной информации, которые по результатам моделирования можно эффективно определить и устранить с помощью «сканер-анализатора».

1. Частичные разрядно-зарядные ВЧС (РЗ ВЧС). Возникают периодически при пробое изоляции высоковольтного оборудования через большое сопротивление и при больших амплитудных величинах напряжения фазы. РЗ ВЧС развиваются либо на каждой полувольтне напряжения, либо только на положительной или отрицательной полувольтне. Структурный анализатор определяет ВЧС поврежденного участка селективными правилами  $P_{СЕМ}$ . Смысловый анализатор определяет отсутствие ОЗЗ по отсутствию НЧС. Экспертная система выдает соответствующее диагностическое сообщение (рис. 6).

2. Редкие, но повторяющиеся однофазные самоликвидирующиеся повреждения изоляции («Клевки ОЗЗ»). Определяются поврежденный участок и величина перенапряжений. Выдается соответствующее диагностическое сообщение (рис.6).

3. Перекосы нейтрали и другие процессы не связанные с ОЗЗ. Экспертной системой определяется отсутствие ОЗЗ и выдается диагностическое сообщение (рис. 7).

4. Неопределяемая ситуация (рис. 8). К такому диагностическому сообщению приводит ряд смысловых ситуаций: а) наличие не связанных структурно сигналов в КНПС; б) недостаточное количество информации для четкого определения смысловой ситуации; в) появление дополнительных переходных процессов, искажающих сигналы или структуру переходных процессов; г) прочие переходные процессы в оборудовании гальванически связанной сети, отголоски которых выделяются фильтрами нулевой последовательности.



Рисунок 8 – Диагностические сообщения для процессов не связанных с ОЗЗ

**Выводы.**

1. Составляющие многообразных переходных процессов в гальванически связанной распределительной сети могут присутствовать в течение длительных интервалов времени. Для таких и более сложных смысловых ситуаций нет действенных инструментов определения их наличия. Выявление и устранение смысловых ситуаций отличных от ситуации «Нормальный режим» равносильно повышению самоликвидации повреждений изоляции фаз на землю, предварительному самоконтролю и частичной диагностики высоковольтного оборудования под напряжением. Эти требования эксплуатирующими организациями выделяются в качестве наиболее важных.

2. Для комплексного решения задач предлагается новое устройство - «сканер-анализатор». Синтез «сканера-анализатора» является практической реализацией «Теоремы...» [5]. Синтез выполнен единым структурным методом, предложенным в работах [2-4], который предлагается для более широкого распространения в отрасли. «Сканер-анализатор» располагается в новом типе терминала РЗиА «Т-КНПС-1», который заменяет (дополняет) щит «Контроль изоляции сети» или является терминалом ячейки измерительного трансформатора напряжения.

3. Выполнено моделирование работы «сканера-анализатора» на реальных аварийных файлах переходных процессов в сети. Моделирование позволило определить параметры работы конструктивной части терминала «Т-КНПС-1», устройств системы АСНОР КНПС.

Реализация устройств и их совместная работа в режиме «сканера-анализатора» показали приемлемость заложенных положений для дальнейшей реализации системы АСНОР КНПС.

### Литература

1. Никифоров А. П. Применение структурно-лингвистического метода для задач, связанных с исследованиями, совершенствованием и преподаванием релейной защиты // Зб. науч. раб. ДонНТУ. Серия: «Электроэнергетика» - Вып. 8(140).- Донецк, 2008.
2. Никифоров А. П. Задачи защиты и управления, решаемые терминалом контура нулевой последовательности сети // Научные труды Нац. Техн. Универ. «Львовская политехника». Серия: «Электротехнические системы», №637.- Львов, 2009.- С. 63-67.
3. Никифоров А. П. Решение задачи выбора «простых» или «совершенных» устройств иерархическим и структурно-лингвистическим методами // Научные труды ДонНТУ. Серия: «Электроэнергетика и электротехника», выпуск 9 (141).- Донецк, 2009.- С. 150-155.
4. Никифоров А. П. Применение структурно-лингвистического и иерархического методов для выбора между «простыми» и «совершенными» устройствами // Научные труды Крем. Нац. Техн. Универ. Серия: «Электроэнергетика», вып.12.-Кременчуг, 2010.- С.105-110.
5. Никифоров А. П. Теорема о наличии смыслового сигнала в системах релейной защиты // Материалы 10 научно-технической конференции «Проблеми сучасної електротехніки 2010». - Киев, 2010.- С. 100-105.

### Abstract

*Nikiforov A.P., Nikiforov P.R. Synthesis "scanner-analyzer" for work in conditions of insufficiency of the initial information. Synthesis is executed by a structural method. The device restores lack of the information due to the analysis of structure of transient in object of the protection, fuller involvement of available information components, self-checking and partial diagnostics energized on long intervals of time, influence on object of protection. Modeling the synthesized scheme of the device in CAD through designing is executed. Results of realization of the device and the working program of the device in new type of the terminal of protection show efficiency and correctness of the incorporated positions.*

**Keywords:** *a structurally-linguistic method, a semantic information component, recognition of images, relay protection and automatics*

### Анотація

**Никифоров А.П., Никифоров П.Р. Синтез "сканера-аналізатора" для роботи в умовах недостатності вхідної інформації.** Синтез виконаний структурним методом. Пристрій відновлює недолік інформації за рахунок аналізу структури перехідного процесу в об'єкті захисту, більше повного залучення наявних інформаційних складових, самоконтролю й часткової діагностики під напругою на тривалих інтервалах часу, впливу на об'єкт захисту. Виконано моделювання синтезованої схеми пристрою в САПР наскрізного проектування. Результати реалізації пристрою й робочої програми пристрою в новому типі терміналу захисту показують ефективність і правильність закладених положень.

**Ключові слова:** *структурно-лінгвістичний метод, значеннева інформаційна складова, розпізнавання образів, релейний захист та автоматика.*

Здано в редакцію:  
07.04.2010

Рекомендовано до друку:  
д.т.н., проф. В. Ф. Сивокобиленко