

УДК 621.713.13: 621.313

А. П. НИКИФОРОВ (канд.техн.наук), М. А. СМИРНОВА (канд.техн.наук, доц.)

Государственное высшее учебное заведение
«Донецкий национальный технический университет»
apnikiforov@yandex.ua

СКВОЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ТЕРМИНАЛОВ РЗИА НА ОСНОВЕ МНОГОЯДЕРНЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Предложен структурно-информационный метод совершенствования устройств и терминалов РЗИА. Метод основан на контроле потока смысловой информации автоматами динамической экспертной системы. Метод дает упорядоченное, оптимизированное и эффективное построение многоядерных микроэлектронных устройств.

Терминал релейной защиты и автоматики, многоядерный микроконтроллер, экспертная система, система автоматизированного проектирования, моделирование, замыкание на землю.

Постановка проблемы. В работах [1-5] показано, что известные терминалы и устройства РЗИА структурно подобны. То же можно сказать и о конструктивном подобию. Обновление поколений терминалов РЗИА ограничивается дополнениями новых элементов к уже имеющимся. Эти дополнения реализуют потребительские функции на текущий период времени. Например, можно проследить постепенное добавление к первому сигнально-функциональному микропроцессору (МП) дополнительных МП с сопровождающими микросхемами. Первый МП был разработан во времена появления МП-устройств РЗИА. Дополнительные МП реализованы на элементах следующего поколения развития технологий МП. Такой способ совершенствования устройств приводит к тому, что терминалы оказываются построенными на трех-четыре поколениях элементов, при том, что основные задачи реализует все тот же первый МП. Вероятно, здесь причиной является трудоемкость разработки программного обеспечения МП-устройств, а также аппаратная реализация в МП измерителей параметров входных сигналов. Очевидно, что рано или поздно такой способ совершенствования должен быть заменен на другой. Исходя из описаний новых МП дальнейшее развитие поколений МП предполагает многоядерные микросхемы микроконтроллеров (МК), которые могут быть основаны на собственно МК, программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС), либо на сочетаниях МК и ПЛИС в одном элементе.

Для совершенствования алгоритмов РЗИА, разработки новых терминалов РЗИА или перевода алгоритмов известных терминалов РЗИА на современную элементную базу (обновление поколений происходит каждые 5-10 лет) требуется метод, позволяющий эффективно обновлять и совершенствовать конструктивы устройств РЗИА одновременно с программным обеспечением. Таким методом может быть структурно-информационный (СИ) метод, который позволяет контролировать потоки информации во взаимосвязи структурных элементов устройств РЗИА, объекта управления и защиты (ОУЗ) с учетом реальных условий работы и эксплуатации оборудования.

Согласно СИ-методу, включающему структурно-лингвистический и иерархические методы [3-5], весь поток смысловой информации о работе ОУЗ обрабатывается тремя иерархическими уровнями – морфологическим, синтаксическим и семантическим. Покажем это на примере. На рис. 1 приведена типовая схема РЗИА асинхронного двигателя, оперативные цепи, указательные табло с сообщениями. Вся совокупность устройств РЗИА реализуется в виде алгоритмов в терминале РЗИА высоковольтной ячейки выключателя Q1. Введем ряд замен традиционного представления об элементах схемы рис. 1: а) Измерительные элементы устройств защиты заменим морфологическим уровнем. Согласно СИ-методу имеющаяся информация о возможных смысловых ситуациях, возникающих при развитии переходных процессов (ПП), раскладывается на элементарные составляющие – терминальные символы (ТС); б) Представление о выходах устройств защиты (контакты измерительных и промежуточных устройств, а также схема их соединений) заменим на синтаксический автомат (Сина), который правилами P анализирует ТС и формирует нетерминальные символы (НТС). ТС, НТС и P могут иметь имена собственные, принятые в энергетике или новые, позволяющие эффективно решать задачу обеспечения качественного контроля работоспособности ОУЗ. Формируется смысловой сигнал $S(t)$ как баланс "За-против" [3-5] в ПП текущего смыслового состояния ОУЗ, характеризующего приближение ПП к смысловой ситуации "Поврежденный участок". Во главу ставится определение и контроль информационными датчиками или ТС таких относительных взаимосвязей между информационными составляющими ПП, которые остаются общими для всех типов ПП, не изменяются для разных вариаций ОУЗ. К структурным взаимосвязям в ПП и смысловым ситуациям относятся соотношения между направлениями (знаками), частотными составляющими, временами следования, повторяемостью и т.д.; в) Представление о формировании выходного сигнала управления ОУЗ с помощью исполнительного органа, а также информационных табло, сигнализациях и т.п. заменим на семантический автомат (СемА), который принимает решение о выдаче селективного сигнала для исполнительного органа, воздействующего на ОУЗ. В нашем примере исполнительным органом является Q1.

Согласно [3-5] повысить устойчивость работы устройств РЗИА можно на основе организации системы автоматической стабилизации работы (АСНОР) ОУЗ, при реорганизации Сина, СемА в динамическую экспертную систему (ЭКС) на основе СИ-метода [4].

© Никифоров А. П., Смирнова М. А., 2011

Согласно СИ-методу обработка информации не только в ОУЗ, но и в устройствах РЗиА состоит из трех иерархических уровней [1-6]. Моделирование работы устройств в САПР и анализ изменений сигнала $S(t)$ показывает, что каждый иерархический уровень работает на разных частотах изменений обрабатываемых сигналов [3]. Чем выше иерархический уровень, тем меньше частота сигналов, но требуется большее число выполняемых логических операций с параллельной обработкой информации. Понижение частоты сигналов объясняется тем, что смысловой сигнал $S(t)$ (рис. 1) изменяется гораздо медленнее (1000 крат) по сравнению с несущими его параметрами сигналов ПП (амплитуда, фаза, частота сигнала), т.е. смысловая информация о ПП модулирует параметры сигналов ПП.

Цель работы. В настоящей статье будем рассматривать семантический иерархический уровень - ЭкС терминала ячейки КРУ. Опыт конструирования, а также анализ работы готовых устройств, терминалов РЗиА показывает, что реализовать устройства РЗиА на одном вычислительном ядре можно лишь для работы на промышленной частоте для одного-нескольких алгоритмов РЗиА, необходимых для работы ОУЗ. Под вычислительным ядром будем понимать МК общего или специального назначения, аппаратные вычислители искомым величин, быстродействующие ПЛИС. Конструирование показывает, что увеличение анализируемых частот сигналов во время ПП или увеличение числа заложенных в терминал алгоритмов защит РЗиА приводит к увеличению количества вычислительных ядер. В работах [3-5] предлагается реализовывать каждый иерархический уровень (морфологический, синтаксический, семантический) на одном вычислительном ядре и обосновывается это предложение. Целью настоящей статьи является автоматизация проектирования автоматов Сина, СемА или динамической ЭкС на основе САПР сквозного проектирования.

Некоторые характеристики Си-метода. Нужно отметить, что СИ-метод не следует сопоставлять с известными статическими методами распознавания образов (методы наибольших приближений, центра масс, вероятностные методы и т.д.), но он близок к теории графов. СИ-метод относится к логическим эмпирическим методам. Можно сказать, что совокупность информационных составляющих ТС, НТС и правил P , структура автоматов определения цепочек ТС, согласно правилам P описывают структуру ОУЗ и его поведение [3-5]. Анализ известных устройств РЗиА показывает, что структурные схемы известных устройств являются результатом интуитивного следования разработчиками устройств РЗиА идеи структурной обработки информации, из которых формируется СИ-метод.

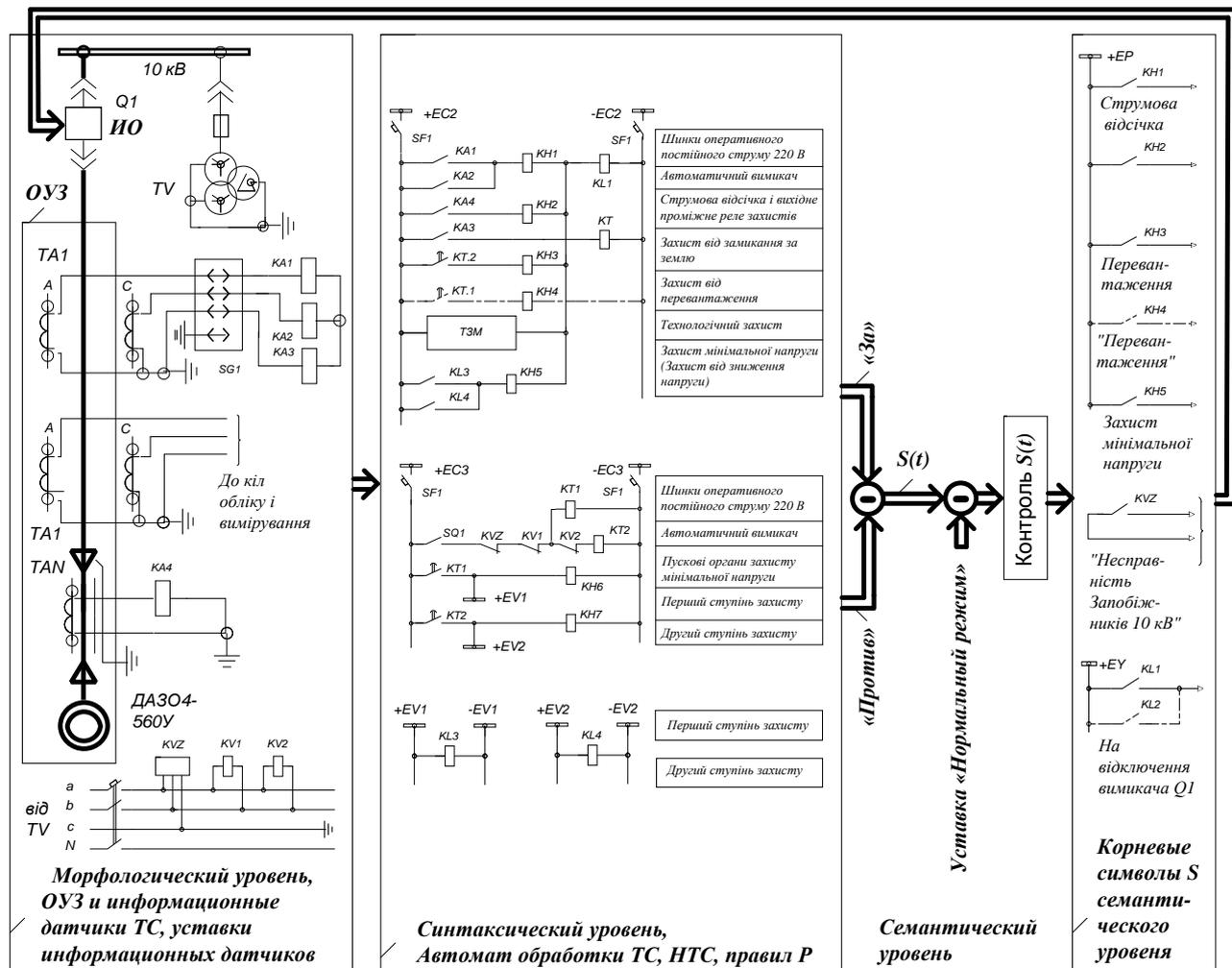


Рисунок 1 – Схема защиты асинхронного двигателя

Чем больше и разнообразнее задействуется информационных составляющих в сигналах координат ОУЗ для выделения информационных составляющих, тем более качественно выполняется определение типа ПП и селективное отделение поврежденного участка ОУЗ от других типов ПП, а также повышается качество дальнейшего уточнения принимаемого решения по мере развития ПП. Иначе говоря, возрастает глубина распознавания сути ПП. Важной особенностью применения СИ-метода является конечное многообразие ТС, НТС, P , смысловых ситуаций в ОУЗ. Исследования показывают, что в энергетике их многообразие невелико и конечно. В работах [3, 4] для ОУЗ КНПС приведены перечни смысловых ситуаций, грамматика G и правила определения P , которые списываются с обобщенного дерева определения устройств селективного поиска (СП), централизованного (ЦСП), терминала КНПС [3, 6]. Моделирование показывает, что количество селективной информации, определяемой СИ-методом при относительном подходе к обработке смысловой информации оказывается гораздо больше, чем у методов, которые контролируют параметрическую информацию, переносимую сигналами ПП. Более эффективное использование имеющейся информации повышает устойчивость работы устройств. Поведение ОУЗ с плохо идентифицируемыми, неповторяемыми смысловыми ситуациями приводит к необходимости введения дополнительных НТС, P для повышения устойчивости работы автоматов ЭкС, причем на разных иерархических уровнях.

Одним из главных свойств и задач СИ-метода является возможность выделения "*Неопределяемой ситуации*". Такой результат отличает СИ-метод от известного метода, по которому составлен рис. 1, и позволяет свести задачу синтеза эффективно работающих автоматов к сокращению случаев выдачи диагностического сообщения "*Неопределяемая ситуация*". Согласно особенностям работы ОУЗ, общее стратегическое правило совершенствования устройств РЗиА можно выразить так – рано или поздно выявленная смысловая ситуация повторится, но устройство должно быть готово работать устойчиво. Моделирование показывает, что для повышения устойчивости работы устройств при определении редко появляющейся смысловой ситуации, следует прежде всего совершенствовать СинА и СемА. Совершенствование элементов морфологического уровня связано с конструктивными ограничениями ОУЗ. Естественно, что в случае отсутствия или недостатка информации на входах устройств возможность выделения "*Неопределяемой ситуации*" сохранится. На случай не устранения возникшей "*Неопределяемой ситуации*", автоматически работающие устройства должны иметь доступный интуитивно понятный графический интерфейс [3, 4] для принятия решения оперативным персоналом. Интерфейс традиционно организуется (рис. 1) на подстанции на основе бланков и табло сообщений с записью в оперативный журнал с дальнейшим разбором причин и следствий оперативных переключений. Такие мероприятия, очевидно, являются следствием интуитивного стремления выявить наличие "*Неопределяемой ситуации*". Формирование смыслового сигнала $S(t)$ позволяет непосредственно контролировать наличие "*Неопределяемой ситуации*", автоматически формировать и выдавать соответствующие диагностические сообщения. Следовательно, указанная возможность смыслового сигнала $S(t)$ и необходимость устранения "*Неопределяемой ситуации*" позволяют переорганизовать СинА и СемА в динамическую ЭкС и реализовать интуитивные стремления практиков в автоматически работающих устройствах.

Синтез автоматов синтаксического уровня. Сквозное проектирование автоматов ЭкС покажем на примере относительно сложной задачи СП, ЦСП поврежденного участка КНПС при ОЗЗ. Конструирование автоматов для новых устройств СП, ЦСП показывает [3, 4, 6], что совершенствование в основном носит характер поэтапного дополнения ТС, НТС, P к обобщенному дереву определения известных устройств СП, ЦСП, терминалов [3, 4, 6] с целью более качественного формирования сигнала $S(t)$. Необходимость дополнения доказательно вытекает из анализа работы автоматов и всей системы АСНОР на реальных аварийных файлах. При этом в САПР реализуется конструктивно и экономически возможное исполнение устройств. Таким образом происходит некоторая оптимизация синтеза автоматов по минимуму структурных элементов (ТС, НТС, P). В работах [3, 4] показывается, что элементы трех иерархических уровней эффективно реализуется в САПР "*Matlab-Simulink-Stateflow*". СинА также реализуем в этом САПР. Блоки *Stateflow*-модели (рис. 2) были составлены на основе обобщенного дерева определения устройств СП [6]. Каждое состояние описывает один режим в работе событийно-управляемой системы "*Stateflow*". Состояние становится активным, если срабатывает условие перехода, приводящее к этому состоянию или если на это состояние установлен переход по умолчанию.

Ниже объяснено функциональное назначение каждого блока:

а) Блоки *glav*:

glav1 - блок входных данных и сигналов, принятых в «*Simulink*»;

glav2 - осуществляет проверку ОЗЗ на участке ОУЗ и в случае, если замыкание уже было выявлено прекращает работу цикла. Иначе адресует сигналы для проверки их совпадения по фронту;

glav3 - срабатывание фазового детектора (ФД);

glav4 - логическое "ИЛИ" положительной и негативной полувольты $3i0$;

glav5 - логическое "И" сигналов с ФД и ТС "*НЧС3U15B*";

glav6 - совпадение сигналов из блоков *glav5* и *glav6* и накопление смыслового сигнала об этой ситуации;

glav7-glav9 - моделируют работу выдержки времени ОВ32 и также накапливают смысловой сигнал;

glav10 - логическое "И" сигнала *glav6* и "*НЧС 3Uo30B*", появление сигнала, который свидетельствует об ОЗЗ на участке КНПС и запуск выдержки времени ОВ34;

glav11-12 - моделирование выдержки времени ОВЗ4, конечного смыслового сигнала S и адресация конечных сигналов в блок exit.

б) Блоки front1-10 осуществляют проверку совпадения по фронту сигналов $3iо$, $3iо$:

front1-front4 - выявление сигнала положительной полувольты $3iо$;

front6-9 - выявление сигнала отрицательной полувольты $3iо$;

front5 - логическое "И" сигналов $3iо$ положительной полувольты и $3iо$ положительной полувольты;

front9 - логическое "И" сигналов $3iо$ отрицательной полувольты и $3iо$ отрицательной полувольты.

в) Блоки vspom1-vspom7 анализируют смысловый сигнал S , который будет нужен в случае, если ОЗЗ на участке КНПС не будет выявлено:

vspom1 - накопление смыслового сигнала S в случае появления "НЧС 3Uo15B";

vspom2-3 - накопление смыслового сигнала S в случае появления положительной или отрицательной полувольты тока $3Iо$;

vspom4-5 накопление смыслового сигнала S в случае появления положительной или отрицательной полувольты напряжения 3Uo;

vspom6-7 - накопление смыслового сигнала S в случае появления "НЧС3Uo30B" и адресация в главный цикл через блок glav2;

г) Блок exit - связывает все подсистемы программы, возвращает ее на следующий шаг и выдает обработанные сигналы назад в «Simulink».

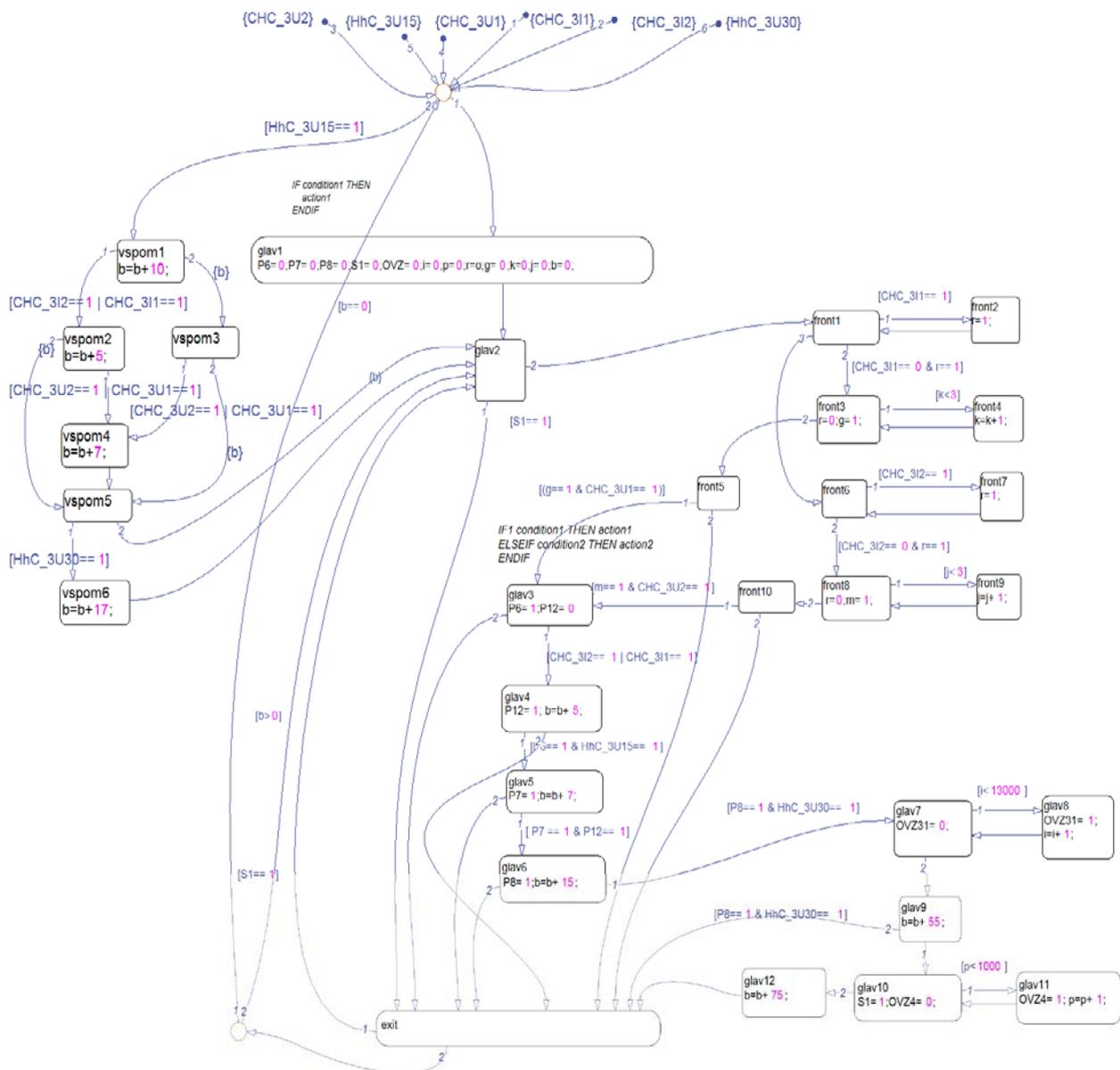


Рисунок 2 - SF-диаграмма реализации синтаксического автомата устройств СП

На рис. 4 приведен результат моделирования работы Сина системы АСНОР КНПС для смысловых ситуаций "Пробой ОЗЗ", а также сигналы $S(t)$ двух устройств СП в качестве примера работы Сина [3].

Совершенствование Сина, СемА проиллюстрируем на смысловой ситуации "Уменьшение НЧЗУо ниже порога" (рис. 4). При синтезе автоматов в «сложных» смысловых ситуациях особое внимание уделяется участкам ПП в «пропуском» информации. Под «пропуском» информации будем понимать временное отсутствие сигналов в течение ПП в ОУЗ не характерное для ОУЗ. В нашем примере это уменьшение величины НЧЗ 3Io меньше порога 15 В (отсутствие ТС "НЧЗУо15В"). В данном случае причина понижения 3Io известна и связана с естественным восстановлением напряжения поврежденной фазы. Идентификация причины развития ПП в КНПС при других видах уменьшения 3Io затруднена. Это относится и к некоторым другим смысловым ситуациям.

В случае отсутствия ПП через заданную выдержку времени $T_{\text{ОВЗЗ}}=0.7\text{с}$ устройство СП разблокируется. Неправильное разблокирование устройств СП при дальнейшем развитии ПП будет приводить к новому (селективному или неселективному) взведению устройства СП и возможному неправильному формированию сигнала $S(t)$ и выбору фаворита на отключение.

Один из известных способов повышения устойчивости работы автоматов состоит в «правильном» выборе значения $T_{\text{ОВЗЗ}}$ разблокирования устройств после окончания ПП в ОУЗ. Время $T_{\text{ОВЗЗ}}=0.7\text{с}$ выбрано, исходя из анализа большинства случаев «пропуска» в аварийных файлах. Другой способ повышения устойчивости, приемлемый для системы АСНОР, заключается в автоматическом изменении значения $T_{\text{ОВЗЗ}}$ в зависимости от изменения смысловой ситуации при развитии ПП [1-3]. Для этого НТС "Блокировка по НЧЗУо15В" формируется по наличию не только ТС "НЧЗУо15В", но и по наличию ТС "СЧС-, НЧС - 3Io", то есть при работе ЭкС терминала по наличию структурных изменений смысловых сигналов $S(t)$ (разумеется, после первоначального появления ТС "НЧЗУо15В"). Таким образом, значение времени $T_{\text{ОВЗЗ}}$ будет изменяемым, например от $T_{\text{ОВЗЗ}}=0.7\text{с}$, в зависимости от изменения смысловой ситуации при развитии ПП. В случае "сложного" поведения КНПС, когда ТС "НЧЗУо15В" отсутствует при наличии других ТС, через стандартное время $T_{\text{ОЗЗ}}=8\text{с}$ будет выдано диагностическое сообщение и сигнал для привлечения оперативного персонала, как это предписано ПТЭ.

Синтез семантических автоматов. При синтезе автоматов ЭкС рассматриваются в основном "сложные" смысловые ситуации. Многие задачи повышения устойчивости работы устройств можно эффективно решать только на уровне ЦСП (относительные критерии) в рамках системы АСНОР, как следствие необходимости восполнения недостатка или отсутствия смысловой информации в ПП. Это обосновывает необходимость задействования терминала для реализации ЭкС. Терминал принадлежит к более высокому иерархическому уровню по сравнению с индивидуально работающими устройствами СП. При этом соблюдается одно из применяемых в настоящей работе стратегических правил конструирования: "сложность" устройств должна соотноситься со "сложностью" решаемой задачи [4, 5].

В задачу синтеза входят: а) выбор и синтез информационных датчиков системы, которые качественно представляют информационные составляющие и конечный результат (изменения $S(t)$); б) оптимальный выбор минимального количества структурных элементов при максимальной их эффективности; в) формирование диагностических сообщений.

Синтез СемА динамической ЭкС выполняется в САПР на основе результатов моделирования предыдущих иерархических уровней (морфологического, синтаксического [4]) при подаче на вход сигналов обучающей выборки реальных аварийных высокочастотных файлов [3, 4]. В обучающую выборку входят файлы всех "сложных" ПП, а также несколько классических типов развития ОЗЗ. Аварийные файлы разных ОУЗ накапливаются регистраторами до внедрения устройств в эксплуатацию и в процессе работы в качестве дополнения обучающей и контрольной выборки, что дает возможность адаптировать устройства под конкретные условия работы, а также продолжать совершенствование автоматов.

Синтез семантических автоматов (СемА) выполняется на примере подсистемы ЦСП поврежденного участка КНПС при ОЗЗ. СемА конструктивно находится в терминале "Т-КНПС-1" системы АСНОР КНПС. В [3] приведено обобщенное дерево определения устройств ЦСП, которое является основой для синтеза ЭкС терминала. Анализируются смысловые сигналы, поступившие с синтаксического уровня обработки сигналов от каждого участка ОУЗ. Выходом Stateflow-модели каждого устройства СП (рис. 2) есть смысловой сигнал $S(t)$, который становится входной информацией для ЭкС терминала. Выходом синтезируемой динамической ЭкС [5] является очередь фаворитов на отключение, а также заполненный шаблон диагностического сообщения. Очередь формируется из сигналов на отключение участков ОУЗ в зависимости от величины их сигналов $S(t)$ и времени первого превышения сигналом $S(t)$ порогового значения.

На рис. 3 приведен пример модели ЦСП, разработанной для двух участков ОУЗ, которая может быть расширена в зависимости от числа участков ОУЗ.

Блок "work" запускается и работает до выявления ОЗЗ на одном из участков ОУЗ. В блоках "KZ1" и "KZ2" реализовано сравнение сигналов участков ОУЗ по относительному и абсолютному критериям, а также их сравнение с пороговым значением. Как только одно из правил станет истинным, будет выдано диагностическое сообщение о состоянии участков ОУЗ и рекомендации по выводу в ремонт поврежденного участка. Таким же образом выполняется выбор и заполнение изменяемых мест в шаблоне диагностических сообщений. Восприятие информации заполненного шаблона оперативным персоналом осуществляется естественным образом, т.е. по смыслу.

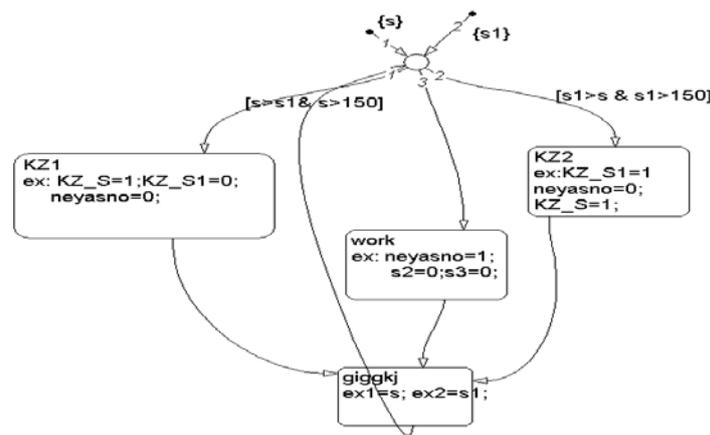
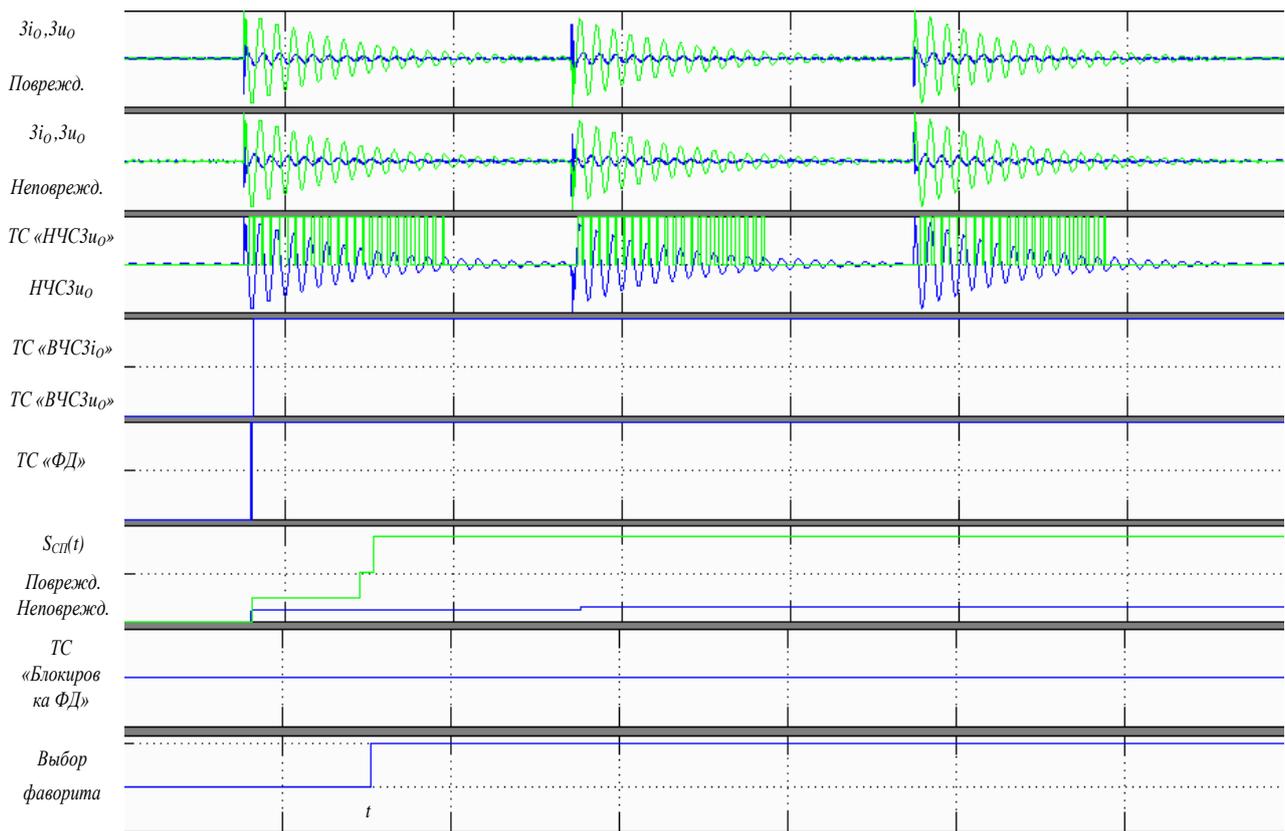


Рисунок 3 - Модель семантического автомата ЦСП, реализованная в пакете «Stateflow»

Результаты моделирования семантического уровня. Результаты моделирования работы СемА синтезированной динамической ЭкС приведены на рис. 4. Анализ результатов моделирования показывает правильность формирования очереди фаворитов на отключение. Через заданное контрольное время $T_{O33}=1.5$ с динамическая ЭкС выдает селективный сигнал "Отключение участка". Следует отметить, что важный показатель моделирования - время моделирования - оказалось во много раз меньше, чем при моделировании в других САПР. При увеличении правил P в Stateflow-моделях общее время расчетов принципиально не увеличивается. Таким образом, применение САПР "Matlab-Simulink-Stateflow" позволяет эффективно решать задачу синтеза и оптимизации ЭкС системы АСНОР КНПС.



Примечание. Редко следующие пробои при ОЗЗ Правильная работа фазового детектора ФД в Сина. Правильная выдача сигналов $S_{СП}(t)$ для поврежденного и неповрежденного участков КНПС. В момент времени t принимается решение в СемА об отключении поврежденного участка КНПС.

Рисунок 4 - Моделирование работы семантического автомата ЦСП

Создание программного кода. Конечная задача сквозного проектирования предполагает способность генерировать программный код, конструкторскую документацию и др. В САПР "Matlab" генерация программного кода может быть выполнена из любой блок-диаграммы "Simulink". Она реализуется с помощью мастерской реального времени "RTW" - инструментального средства разработки программного обеспечения,

которая работает в масштабе реального времени: датчиков, контроллеров, систем автоматического управления и регулирования и так далее. Подсистема САПР "Stateflow Coder" предназначена для генерации Си-, VHDL-программ из диаграмм "Stateflow".

Для дальнейшей разработки МК устройства необходимо осуществить перенесение Си-, VHDL-программ в конкретную объектную среду конкретного семейства МК и ПЛИС.

Выводы.

1. На примере устройств СП и централизованного СП разработана динамическая ЭКС в САПР "Matlab-Simulink-Stateflow". Эта ЭКС позволяет повысить устойчивость работы устройств СП в сложных смысловых ситуациях, а также обеспечивает независимость от изменений режима и конфигурации сети. Результаты моделирования показали эффективность получаемых ЭКС по времени разработки, быстродействию модели, качеству получаемых результатов.

2. Простота графической разработки в САПР "Matlab-Simulink-Stateflow" с автоматическим формированием результата в виде рабочих программ для МК и ПЛИС на языках Си и VHDL позволяют выполнять совершенствование, модификацию, адаптацию синтезированных ЭКС при дальнейшем появлении смысловых ситуаций, которые могут привести к неустойчивости в работе устройств СП.

3. В САПР синтезированы синтаксический и семантический автоматы устройств двухканальных "У-СП-201", четырехканальных "У-СП-401" и терминала "Т-КНПС-1". Морфологический и семантический уровни в устройстве СП реализованы на двух ядрах МК, а синтаксический уровень - на ядре ПЛИС. Аварийные файлы фиксируются встроенными высокочастотными аварийными регистраторами в устройствах "У-СП" и "Т-КНПС". Устройства позволяют передавать аварийные файлы через флеш-носитель, локальную CAN-сеть, Ethernet. Проверка работы синтезированных автоматов на сигналах реальных аварийных файлов показывает устойчивость работы автоматов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Никифоров А. П. Применение структурно-лингвистического и иерархического методов для выбора между «простыми» и «совершенными» устройствами управления и защиты / Никифоров А. П. // Научные труды Крм. Нац. Техн. Универ. Серия: «Электроэнергетика». – Вып. 4(63). – Ч. 2 – Кременчуг, 2010. – С.19-23.

2. Никифоров А.П. Анализ и синтез устройств защиты на основе построения иерархической линии «от простого к совершенному» структурно-лингвистическим методом / Никифоров А.П. // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика". – Вип. 9 (158). – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2009. – С. 166-169.

3. Никифоров А.П. Моделирование устройств в САПР сквозного проектирования на основе структурно-лингвистического метода / Никифоров А.П. // Материалы международной научной конференции «Моделирование 2010». Том 2. – К.: НАН Украины. Институт проблем моделирования им. Г.Е. Пухова, 2010. – С. 298-307.

4. Никифоров А.П. Сквозное проектирование в САПР автоматов экспертных систем устройств РЗиА / Никифоров А.П., Смирнова М.А. // 36. науч. раб. ДонНТУ. Серия: "Электроэнергетика и электротехника" – Вып. 10 (180). – Донецк: ДонНТУ, 2011. – С. 127-132.

5. Никифоров А.П. Теорема о наличии смыслового сигнала в системах релейной защиты / Никифоров А.П. // Научно-производственный журнал «Техническая электродинамика» и Материалы 10 научно-технической конференции «Проблемы современной электротехники 2010». – Часть 2. – К.: НАН Украины. Институт электродинамики, 2010. – С. 73-76.

6. Никифоров А.П. Применение структурно-лингвистического метода для задач, связанных с исследованиями, совершенствованием и преподаванием релейной защиты энергообъектов / Никифоров А.П. // Наукові праці Донецького нац. тех. університету. Серія: Електротехніка і енергетика. – Вип. 8(140) – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ». – 2008. – С. 236-241.

Надійшла до редколегії 01.04.2011

Рецензент: І.П.Заболотний

А. П. НИКИФОРОВ, М. О. СМІРНОВА
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»

A. NIKIFOROV, M. SMIRNOVA
State Institution of Higher Education
«Donetsk National Technical University»

Наскрізне проектування експертних систем терміналів РЗіА на основі багатоядерних мікроконтролерів. Запропоновано структурно-інформаційний метод вдосконалення пристроїв і терміналів РЗіА. Метод заснований на контролі потоку смислової інформації автоматами динамічної експертної системи. Метод дає впорядковану, оптимізовану і ефективну побудову багатоядерних мікроелектронних пристроїв.

Термінал релейного захисту та автоматики, багатоядерний мікроконтролер, експертна система, система автоматизованого проектування, моделювання, замикання на землю.

Through Design of Relay Protection and Automation Terminals Expert Systems Based on Multi-Core Microcontrollers. The structural-information method to improve devices and terminals of relay protection and automatics is proposed. The method is based on controlling the flow of semantic information by automatic of dynamic expert system. The method gives an orderly, efficient and optimized construction of multicore microelectronic devices.

Terminal of relay protection and automation, multi-core microcontroller, expert system, computer-aided design, modeling, ground fault.