

УДК 621.713.13: 621.313

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

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

ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ СТРУКТУРНО-ИНФОРМАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Показано, что известные устройства и терминалы релейной защиты и автоматики (РЗаА) возможно заменить обобщенной эквивалентной структурной схемой двухходового устройства. Такая упрощающая абстракция позволяет эффективно решать задачи анализа, синтеза, оптимизации, совершенствования, унификации, обучения и др. в области РЗаА. Абстракция помогает оперировать потоками информации во множестве связанных объектов управления и защиты, к которым сводятся участки электрических сетей разных классов напряжений для традиционных и смарт-грид построений. Двухходовое, а в пределе одноходовое устройство, является многопараметрическим обработчиком потока информации и относится к области технического интеллекта. Приводится описание структурно-информационного метода, на основе которого получена предлагаемая абстракция.

Ключевые слова: *смарт-грид, переходный процесс, структурно-лингвистический метод, технический интеллект, балансный дискриминатор, смысловой детектор, эволюция конструктивных решений*

Анализ последних исследований и публикаций. Сочетание ряда факторов - распространение многокритериальных терминалов РЗаА, построение смарт-грид электрических сетей, решение задач РЗаА на конкретных объектах управления и защиты (ОУЗ), показали необходимость оперирования потоками информации на более высоком абстрактном уровне при сохранении имеющейся информации об ОУЗ и РЗаА. ОУЗ в электроэнергетике имеют определенную специфику.

Во-первых, ОУЗ, как правило, работают совместно и связаны между собой энергетически, гальванически и информационно. В этой связи можно выделить отдельный тип ОУЗ - множество связанных ОУЗ (МСОУЗ) [1-3, 15-18]. Поэтому появляется задача эффективного описания МСОУЗ.

Во-вторых, многообразии известных устройств РЗаА. Например, реле мощности РМ, реле частоты РЧ, дифференциальная защита ДЗ, терминалы РЗаА, регуляторы автоматической настройки и др. были реализованы на разной элементной базе (электромеханической, электронной аналоговой и импульсной, программной). В составе одного устройства могут быть задействованы элементы другого устройства или блоки, реализованные на другой элементной базе. Устройства построены на небольшом числе методов реализации алгоритмов устройств РЗаА [1-3, 5-18]. Появляется задача обобщения устройств РЗаА единой эквивалентной структурной схемой (ОЭС).

В-третьих, в виду того, что микропроцессорные устройства и терминалы РЗаА конструктивно реализуются единым блоком, выполняющим алгоритмы управления и контроля МСОУЗ можно говорить о выделении смысла в информационных составляющих на выходе МСОУЗ [1-3, 15-18] на основе анализа переходных процессов (ПП) в МСОУЗ. Для повышения эффективности реализации алгоритмов требуется универсальный метод описания алгоритмов, позволяющий задействовать опыт, накопленный при разработке известных устройств РЗаА, для реализации на часто обновляемой микропроцессорной элементной базе с последующей адаптацией и совершенствованием устройств.

В-четвертых, при синтезе программного обеспечения устройств РЗаА для реализации устройств на микропроцессорной элементной базе задействуются либо алгоритмы, сформированные на прежних этапах технического развития, либо алгоритмы реализуются на основе цифровых отсчетов. Алгоритмы реализуются несколькими методами - математического функционального описания, разностными дискретными преобразованиями, перечня простых функций, технического интеллекта [4]. Поэтому есть возможность дать общее описание устройств РЗаА.

В-пятых, определение дальнейшего шага в развитии устройств РЗаА. Отслеживая развитие устройств можно построить последовательность технического развития устройства, выполняющего определенный алгоритм. В работах [1-3, 15-18] показано, что техническое развитие устройств идет по одинаковому пути - от «простого» к «совершенному».

Постановка проблемы. Пусть будет в качестве структурной схемы обобщенного устройства РЗаА многокритериальное устройство (терминал) РЗаА относительного действия. Устройство выполняет сравнение параметров текущего ПП со множеством пороговых значений ρ . Под устройством относительного действия (например, ДЗ, РМ, РС, фазовые регуляторы, синхронизаторы и др.) будем понимать устройства, сравнивающие информационный сигнал $U1_{BXN}$ с опорным сигналом $U2_{BXM}$, где N , M - количество входов устройства (например, число фаз сети). Устройства абсолютного действия (отсечка, МТЗ, не направленные РТ, РН и др.) в таком случае являются упрощением устройств относительного действия при формальной замене опорного сигнала $U2_{BXM}$ нулевым или единичным значением. Тогда ОЭС-устройство можно эквивалентно представить структурной схемой, состоящей из двух элементов - обобщенного фильтра и обобщенного

© Никифоров А.П., Смирнова М.А., 2013

порогового элемента (рис. 1). Обобщенный фильтр выделяет единую рабочую зону, объединяющий рабочие зоны по каждому критерию срабатывания, в том числе временные фильтры событий. Обобщенное пороговое устройство включает необходимое число порогов, отделяющих разные пороговые зоны, в том числе порог «Нормальный режим работы» МСОУЗ. ОЭС-устройство демодулирует полезную информацию о сути ПП в МСОУЗ, следовательно, может описываться методами, наработанными в области технического интеллекта [4].

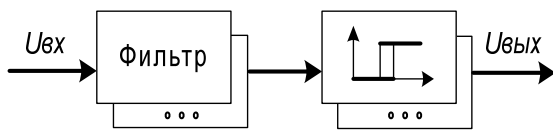


Рисунок 1 – Обобщенная эквивалентная структурная схема устройств РЗиА

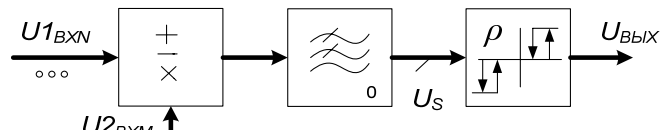


Рисунок 2 – Обобщенная структурная схема ФД

Таким образом, ОЭС-схемой (рис. 1) возможно описать и самые «простые» однокритериальные устройства РЗиА абсолютного действия (например, «Отсечка») и наиболее «сложные» многокритериальные устройства, например, терминалы РЗиА, АСУ ТП со встроенными экспертными системами (ЭКС) [17].

Для доказательства возможности и целесообразности введения ОЭС-структуры РЗиА применим структурно-информационный (SI) метод [1-3, 15-18], позволяющий работать с потоками информации и на основе построения эволюционной линии развития конструктивных решений, выполнить обоснованный шаг в дальнейшем развитии конструкций (в нашем случае устройств РЗиА) и интеллектуальных систем на их основе.

Обобщенное описание устройств РЗиА относительного действия. Устройства, применяемые в алгоритмах РЗиА, АСУ ТП в энергетике имеют в основном несколько входов (2 и более). Покажем, что общее структурное описание таких устройств представляет собой балансный детектор (его синонимы - разностный дискриминатор или фазовый детектор ФД) (рис. 2) с общим математическим описанием (1), (2). Входные воздействия $U_{ВХН}$, $U_{ВХМ}$ можно представить в обобщенном виде $U_{ВХ} = A \sin(\alpha)$, $U_{ВХ} = B \sin(\beta)$. (1)

Тогда, согласно правилам тригонометрии, результат сравнения U_S

$$U_S = A \sin(\alpha) + - * B \cos(\beta) = KAB[\sin(\alpha - \beta) * + - \cos(\alpha + \beta)]. \quad (2)$$

Из (2) следует, что сравнение входных сигналов $U_{ВХН}$, $U_{ВХМ}$ можно выполнять любым из математических действий «+», «-», «x». Результат сравнения $U_{ВХ} = U_S$ пропорционален произведению амплитуд A_N , B_M , синусу разностной составляющей фаз входов α , β и коэффициенту пропорциональности K , который зависит от действия сравнения «+», «-», «x». Колебательная составляющая $\cos(\alpha + \beta)$ в (2) не несет в себе информацию о результате сравнения $U_{ВХ}$ и устраняется фильтром перед пороговым элементом ρ (рис. 2). Действие деления (/) применяется для положительных значений $U_{ВХ}$ или косвенно ввиду невозможности деления на нуль. Для корректной работы ФД необходимо, чтобы входы $U_{ВХН}$, $U_{ВХМ}$ были ортогональными (1), (2), тогда выходной сигнал $U_{ФД} = U_S$ (2) будет пропорционален $\sin(\alpha - \beta)$. В виду того, что $\sin \varphi \approx \varphi$ сигнал $U_{ФД}$ в малой зоне пороговых значений $\pm \rho$ будет линейно пропорционален результату сравнения входов $U_{ВХН}$, $U_{ВХМ}$.

Известные в настоящее время структурные схемы ФД различаются в основном их построением и в этом смысле накоплен большой опыт [5-14]. Центральную роль в схемах ФД играет действие (+, -, x) сравнения входных координат $U_{ВХ}$, от технической реализации которой, зависит схемное построение ФД. Наиболее распространенные схемы ФД построены на квадратичных преобразователях, время-импульсной модуляции одного из сомножителей, на логических элементах, а также программно. При реализации алгоритма ФД на любой элементной базе математическое описание (1-3), рис. 1, рис. 2 сохранится.

Формулирование целей статьи. В ряде предыдущих статей [1-3, 15-18] рассматривается единый SI-метод описания алгоритмов устройств управления и защиты МСОУЗ, в которых развивается теоретический базис SI-метода и доказательная база эффективности SI-метода. В этой статье разрабатывается еще один элемент теоретического базиса SI-метода – построение ОЭС-устройств и терминалов РЗиА. Рассматривается совместная работа такого ОЭС-устройства с МСОУЗ в единой интеллектуальной смарт-грид системе автоматического управления.

Методы работы. Рассмотрим SI-метод. Он включает в себя структурно-операторный (SO), структурно-лингвистический (SL), структурно-иерархический этапы (SH). SO-этап [5-8] позволяет преобразовать первичную схему (принципиальная, структурная) исследуемого объекта в логическую структуру преобразования информационных координат, установить взаимосвязь между входными и внутренними информационными координатами и блоками преобразования информационных потоков в объекте исследования. SL-этап [1-3] позволяет преобразовать структурно-операторную схему в дерево (распознавания) смысловых ситуаций в объекте исследования, установить взаимосвязь информационных потоков со структурой и смыслом информации. SH-этап [1-3, 15-18] позволяет преобразовать дерево распознавания смысловых ситуаций одного блока в иерархию деревьев распознавания смысловых ситуаций в объекте исследования, установить взаимосвязь смысловых информационных потоков, формируемых отдельными блоками в единый блок отделения смысловых ситуаций в объекте исследования.

Таким образом, математически строго SI-методом выделяется и контролируется смысл происходящих процессов в объекте исследования. SI-метод позволяет решать различные задачи [1-3, 15-18], связанные с анализом, синтезом и контролем потоков смысловых ситуаций в объекте исследования.

Решение задачи. Описание ФД SI-методом. Рассмотрим наиболее простую и широко известную схему ФД на пассивных элементах (рис.3). Применим SO-этап SI-метода. Преобразуем схему рис. 3 в схему причинно-следственных связей элементов (рис.4). Входная информация этого метода ($E1/2, -E1/2, E2/2, -E2/2$) преобразуется однонаправленным оператором. Основной тип операторов устанавливает связь вход-выходной информации разного типа. Например, $I \rightarrow U, U \rightarrow I, +, -, D=d/dt, 1/D, fD$ – передаточная функция диода. Получающиеся участки схемы ФД с обратными связями преобразуются в математическое описание в виде передаточных функций стандартными действиями, известными в ТАУ.

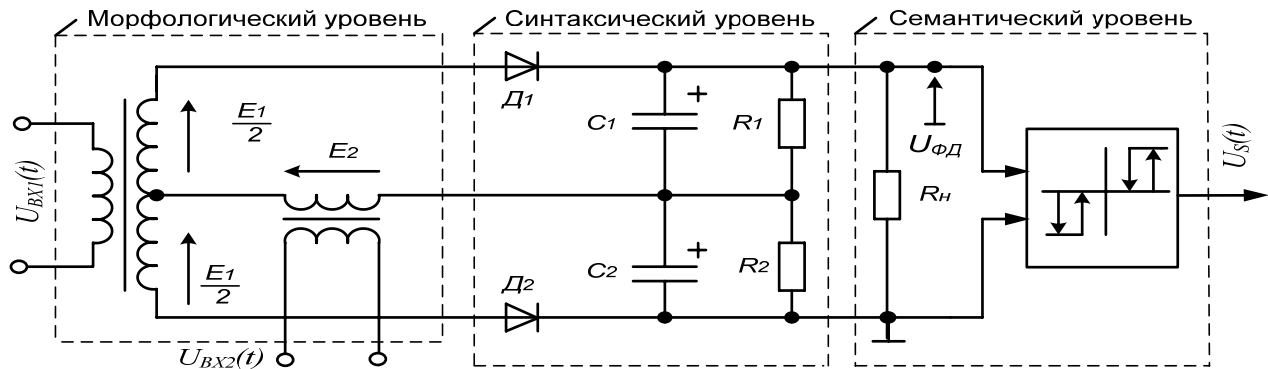


Рисунок 3 – Принципиальная схема балансного детектора, построенного на пассивной элементной базе

SO-этап SI-метода позволяет сохранять имеющуюся информацию в графическом виде и получать математическое описание, для конкретной решаемой задачи среди многообразия возможных задач анализа и синтеза. Так, например, решаемая нами задача - установление связи (передаточной функции) между входными сигналами и смысловыми ситуациями в МСОУЗ.

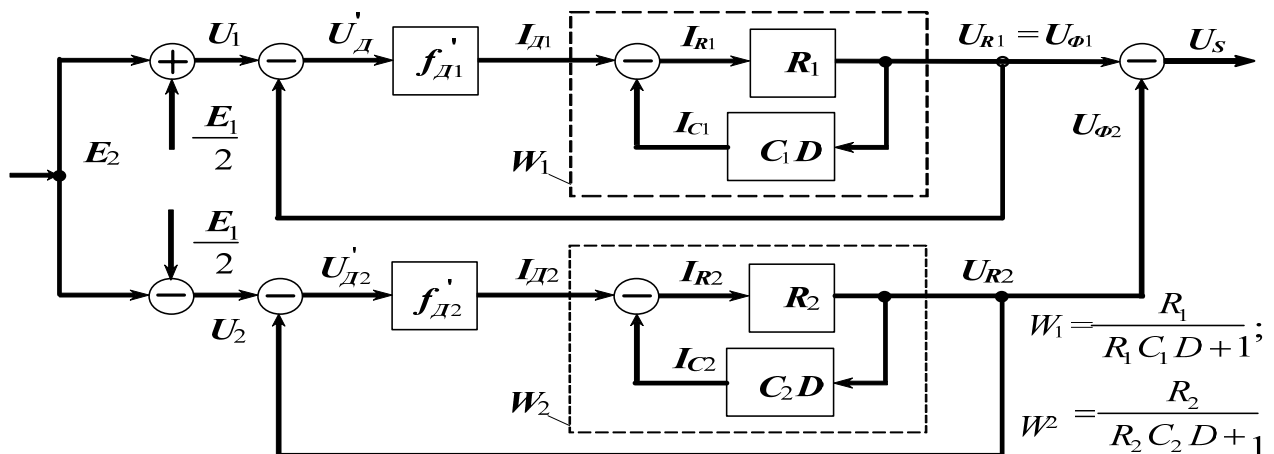


Рисунок 4 – Структурно-логическая схема балансного детектора, построенного на пассивной элементной базе

Применим SL-этап SI-метода к описанию ФД. Положим в основу иерархической линии устройств РЗиА устройство относительного действия ФД (рис. 3, 4). Разделим элементы структурно-операторной модели (рис.4) по направлению общего информационного потока внутри ФД на три иерархически подчиненные части – морфологический, синтаксический, семантический уровни (рис. 3, 4). Согласно SL-этапу SI-метода входная информация ($E1/2, -E1/2, E2/2, -E2/2$) преобразуется в терминальные символы (ТС) на морфологическом уровне распознавания. В ТС входят все элементы устройства ФД, выделяющие нужную информацию (блоки гальванической развязки, делители, фильтры и др.). ТС могут иметь порог распознавания (рис. 1), отделяющий помехи от полезной информации. При наличии информации на входе устройства, например, « $E1/2$ » срабатывает соответствующий ТС, при отсутствии « $E1/2$ » или не качественном распознавании ТС не срабатывает. Совокупность ТС образуют морфологический уровень распознавания последовательного информационного потока, который реализуется морфологическим автоматом (МорФА). На более высоком иерархическом уровне распознавания (синтаксическом) проверяется правильность последовательности появления ТС в цепочках ТС (словах) согласно правилам P .

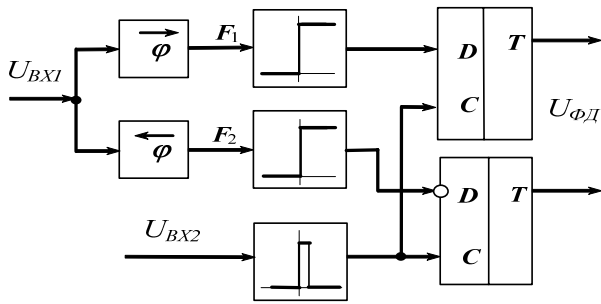


Рисунок 5 - Пример структурной схемы ФД, построенного на импульсной элементной базе

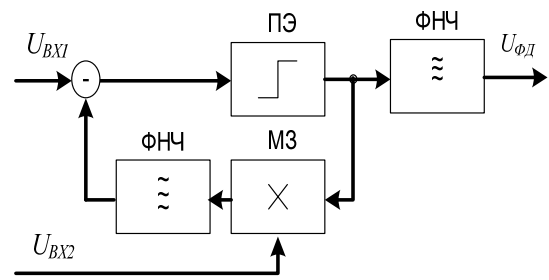


Рисунок 6 – Пример структурной схемы ФД, построенного на ШИМ элементной базе

Составим обобщенное дерево распознавания входного потока информации ФД (рис.7). Для этого объединим деревья распознавания известных типов ФД (рис. 1, 5, 6, [1-3, 5-18]), полученных аналогично рис. 3, 4.

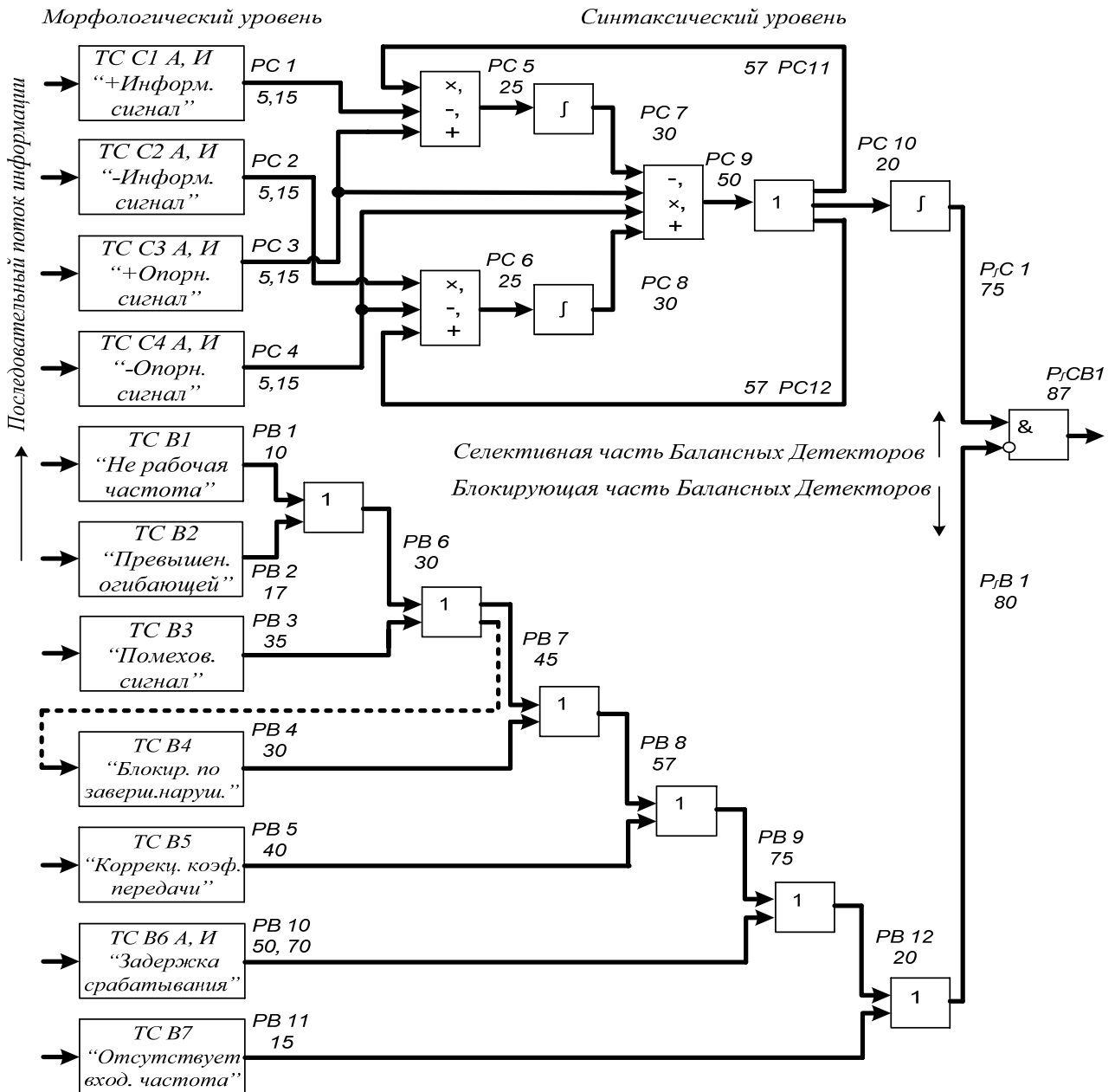


Рисунок 7 – Обобщенное дерево распознавания балансных детекторов «За-Против»

Правила P являются нетерминальными символами (НТС). НТС формируются конечным набором $(f_+, f_-, f_*, f_{\&}, f_{i_1}, f_i)$ функций f . Форма записи правил $PN \rightarrow f_m(A, B)$, где в качестве A, B могут быть ТС, НТС. Совокупность

правил PN образуют синтаксический автомат (Сина) распознавания, который выдает один или несколько ответов $P_S N$ (корневых символов) о наличии в потоке входной информации цепочек ТС в случае, если ТС и P известны Сина (согласно имеющемуся перечню правил PN , где N – число правил).

Вся имеющаяся информация в Сина задействуется на иерархически более высоком семантическом уровне распознавания. Семантическим автоматом (Сема) выдается корневое правило P_S . Появление P_S показывает наличие интересующего ответа в потоке входной информации (рис. 7). Это позволяет распознавать смысл ПП в сложных помеховых смысловых ситуациях, когда отсутствуют или не правильно формируются ТС. Перечень ТС, НТС, правил P и ответов $P_S N$ формируют математическое описание устройств – грамматику G .

Грамматика G обобщенной схемы балансных детекторов ФД можно представить следующим описанием $G \rightarrow (TCCNA, TCCNI, TCBN, TCBNI, PCN, PBN, P_S CN, P_S BN, P_S CBN);$ (3)

Правила селективности $PCN, N=1, 2, \dots$

$$\begin{aligned} PC1 &\rightarrow f_{=,1}(TCC1); & PC2 &\rightarrow f_{=,1}(TCC2); & PC3 &\rightarrow f_{=,1}(TCC3); & PC4 &\rightarrow f_{=,1}(TCC4); \\ PC5 &\rightarrow f_{\times,+,-}(PC1, PC3) & \text{или} & & PC5 &\rightarrow f_{\times,+,-}(PC1, PC11); \\ PC6 &\rightarrow f_{\times,+,-}(PC2, PC4) & \text{или} & & PC6 &\rightarrow f_{\times,+,-}(PC2, PC12); \\ PC7 &\rightarrow f_j(PC5); & PC8 &\rightarrow f_j(PC6); & PC9 &\rightarrow f_{+,-}(PC7, PC8); \\ PC10 &\rightarrow f_j(PC9); & PC11 &\rightarrow f_j(PC9); & PC12 &\rightarrow f_j(PC9); \end{aligned}$$

Правила блокировки $PBM, M=1, 2, \dots$

$$\begin{aligned} PB1 &\rightarrow f_j(TCB1); & PB2 &\rightarrow f_j(TCB2); & PB3 &\rightarrow f_j(TCB3); & PB4 &\rightarrow f_j(TCB4); \\ PB5 &\rightarrow f_j(TCB5); & PB6 &\rightarrow f_j(PB1, PB2); & PB7 &\rightarrow f_j(PB6, PB3); & PB8 &\rightarrow f_j(PB7, PB4); \\ PB9 &\rightarrow f_j(PB8, PB5); & PB10 &\rightarrow f_j(TCB6); & PB11 &\rightarrow f_j(TCB7); & PB12 &\rightarrow f_j(PB9, PB10); \end{aligned}$$

Корневые правила P_S $P_S C1 \rightarrow f_j(PC10);$ $P_S B1 \rightarrow f_j(PB11, PB12);$ $P_S C B1 \rightarrow f_{\&}(P_S C1, P_S B1).$

Согласно SL-этапу SI-метода, все правила P разделяются на две группы «За», «Против» выдачи результата P_S или селективности и блокировки. Каждому правилу P вводится свой весовой коэффициент K согласно вкладу правила P в общий смысловой выход P_S (рис. 7-9). Таким образом, формируется смысловой ФД или смарт-детектор (рис. 10).

Поскольку входная информация ФД изменяется последовательно во времени, то SI-метод позволяет работать с динамическим потоком информации, в том числе с ПП в МСОУЗ. Сравнивая выходной смысловой сигнал $S(t)$ смыслового ФД (рис. 1, 7) с множеством порогов ρ (рис. 1, 9) можно определять множество смысловых ситуаций во входной информации, в том числе и «Неопределяемая ситуация», «Отсутствие информации».

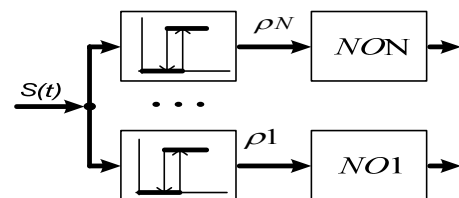
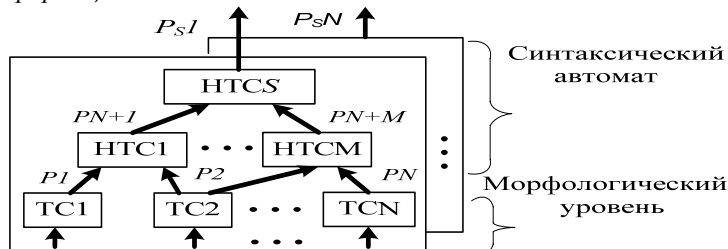


Рисунок 8 – Дерево определения (синтаксический автомат) смысловой ситуации

Рисунок 9 – Структурно-логическая схема части системы РЗ, принимающая решения

Применим SH-этап SI-метода к описанию ФД. Входной информацией этапа являются выходы P_S дерева распознавания обобщенного дерева определения (рис. 7). Задачей этапа является построение семантического уровня распознавания входного информационного потока. Для повышения качества распознавания и сокращения случаев выдачи смысловых ситуаций «Неопределяемая смысловая ситуация» задействуется вся имеющаяся информация в Сина [16-18]. Рассматривается весь МСОУЗ, как общее информационное поле (рис. 8). Вся имеющаяся информация может находиться в разных устройствах, контролируемых МСОУЗ и объединенных локальной информационной сетью. Таким образом, все информационное поле объединяется в общую иерархическую структуру (рис. 8, 10).

Смысловые сигналы $S(t)$ отдельных устройств или иерархической цепочки нескольких объединенных устройств преобразуется многопороговыми элементами ρ в дополнительные НТС (рис. 9). Такие НТС являются входной информацией для Сема более высокого иерархического уровня, которые могут находиться в других устройствах. Совокупность Сема общего информационного поля образуют единый смысловой сигнал $S_{SEM}(t)$.

По отношению к смысловому сигналу $S(t)$ строится система автоматической стабилизации нормального режима (АСНОР) [1-3, 15-18]. Систему АСНОР управления по смыслу можно представить (рис. 10) разностным элементом сопорным сигналом «Задатчик», смарт-детектором ФД типа «За-Против» с выходным информационным сигналом $S_{SMART}(t)$, многопороговым элементом ρ , фильтром результата (в общем случае экспертной системой ЭкС) и результирующим выходом «диспетчера» системы $S_{ДИСП}(t)$.

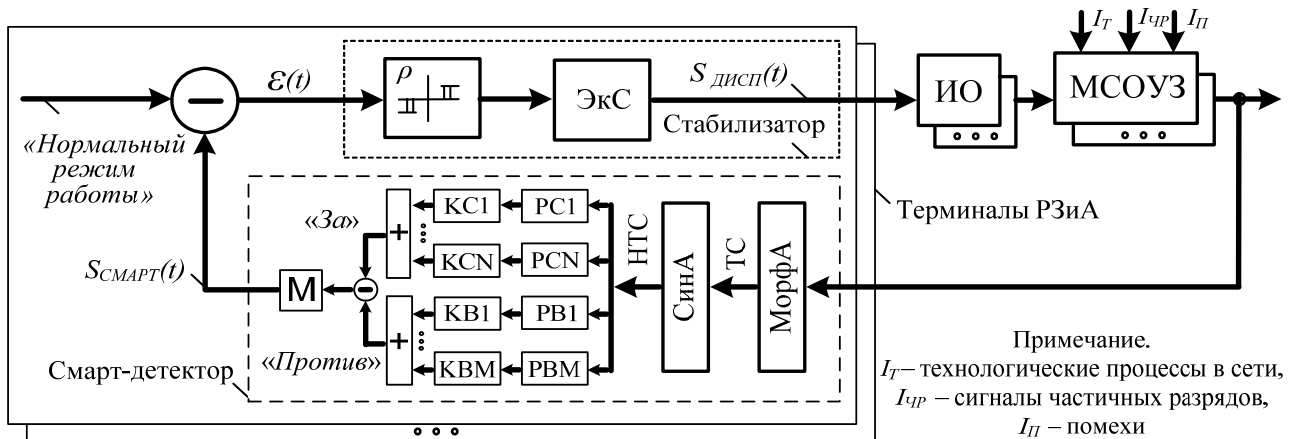


Рисунок 10 – Система АСНОР работы МСОУЗ по информационным составляющим

Моделирование работы. Ряд статей [7, 8] посвящен типизации как предварительному этапу унификации бесперебойных систем ФАПЧ. В этих работах определены типовые Ψ -структуры ФД ($\Psi=A, B, G, D, E$) и типовые способы их обеспечения информационными координатами, а также предложен и развит математический аппарат анализа качественных и количественных показателей ФД, позволяющий выполнить сравнительный анализ Ψ -структур ФД по различным критериям унификации автокомпенсаторов и на этой основе предложить лучшую Ψ -структуру ФД, способную стать в отрасли основой для создания унифицированного ряда высококачественных автокомпенсаторов. Именно отличия в управлениях характеризуют Ψ -структуры ФД. В этой статье продолжим перечень Ψ -структур устройств РЗиА.

Кратко охарактеризуем различия в Ψ -структурах ФД.

А-структура ФД. Простейшая структура (рис. 3, 4), заимствованная из радиотехники, широко распространенная наряду с *И-*, *Н-структурами* ФД. Состоит из последовательного соединения перемножителя гармонических сигналов и фильтра нулевой составляющей результата перемножения.

Б-структура ФД. На информационный вход блока перемножения добавлено релейное звено.

В-структура ФД. Релейное звено имеется в обоих (информационном и опорном) каналах формирования сигналов для блока перемножения (рис. 5).

Г-структура ФД. Релейные звенья в каналах формирования сигналов отсутствуют, но осуществляется регулирование чувствительности выходного сигнала пропорционально амплитуде информационного сигнала.

Д-структура ФД. Релейное звено имеется в обоих каналах и дополнительно осуществляется регулирование чувствительности ФД.

Е-структура ФД. Фазовый детектор (рис. 6) включен в обратную связь релейного звена, находящегося в канале информационного сигнала. Релейное звено в канале опорного сигнала принципиально исключено.

Ж-структура ФД. Состоит из нескольких модификаций, выполненные на механической (*Ж1*-) элементной базе и статические или программные (*Ж2*-). Описания других структур можно найти в [1-3, 14-18].

Выполним сравнительный анализ известных ФД аналогично [1-3, 15-18]. Применим SH-этап SI-метода к описанию ФД. Для сравнения ФД между собой заполним табл.1 и подсчитаем коэффициент эффективности Ψ -структур $K_{\Psi\Phi} = K_{\Psi\text{устройство}} / K_{\Psi\text{обобщенное}}$. Значения весовых коэффициентов K см. на рис. 7. Значения суммарного весового коэффициента $K_{\Sigma} = \sum K_i$ количества правил P_{Σ} приведены в табл.1.

Из описания ФД (1-3) и результатов, приведенных в табл.1, можно сделать ряд практических выводов.

1. Ψ -структуры устройств РЗиА имеют разную эффективность, возрастающую по диагонали табл.1 в направлении *А-Я*. Некоторые Ψ -структуры оказываются не «сбалансированы» в сторону большей селективности, другие – в сторону блокировки, если рассматривать критерий «сбалансированности» устройств РЗиА «Несрабатывание или излишнее срабатывание соответствуют неправильной работе устройств».

2. Известные многоходовые устройства РЗиА вне зависимости от основы реализации (электромеханические, статические, электронные, импульсные, программные) имеют общее математическое и структурное описание (рис. 1-10), (1-3). Эти описания можно применять для анализа и синтеза микропроцессорных устройств и систем, а также для учебного процесса.

3. При создании первых устройств РЗиА с ФД предпочтение отдавалось фазочувствительным схемам, выходной сигнал $S(t)$ которых пропорционален фазовому углу $\varphi(t)$ между информационным и опорным входными сигналами. При этом формирование управления $S(t)$ не контролировалось из-за сложности теоретического анализа нелинейных преобразований в ФД, а оценка функционирования системы АСНОР осуществлялась экспериментальным путем. В итоге оказывается, например, что реле РМ выполнялось на основе действия «+», реле РС на основе действия «-» и так далее.

Таблица 1 – Сравнительный анализ балансных детекторов или Ψ -структур устройств РЗиА

	Селективность															
	232	242	252	267	272	282	287	292	322	342	352	362	402	496	516	
Блокировка	97	A1		A2					H1	Ж1						
	144		B1		И	B2		Б			Л					
	227						A3				Ж2					
	234															
	264					Д					Г					
	297												З			
	317											H2				
	329															
	441														E1	
	449															
	461					К										
	611													М	E2	Я

Примечание к табл. 1

A1 – «ФД-Перемен. (Радио)», $P_{\Sigma}=8, K_{\Sigma}=329, K_{\text{эф}}=0.29$;

A2 – «Механич. РМ, РС», $P_{\Sigma}=9, K_{\Sigma}=349, K_{\text{эф}}=0.31$;

A3 – «Стат. Прог. РМ, РС», $P_{\Sigma}=11, K_{\Sigma}=509, K_{\text{эф}}=0.45$;

Б – «РАНК2» [11], $P_{\Sigma}=13, K_{\Sigma}=431, K_{\text{эф}}=0.38$;

B1 – «РАНК-К, МИРК» [10], $P_{\Sigma}=8, K_{\Sigma}=386, K_{\text{эф}}=0.34$;

B2 – «РАНК-ВбезФикс» [9], $P_{\Sigma}=10, K_{\Sigma}=416, K_{\text{эф}}=0.54$;

Г – «РАНК-Вкор. усил.» [12], $P_{\Sigma}=16, K_{\Sigma}=606, K_{\text{эф}}=0.61$;

Д – «БАРК» [13], $P_{\Sigma}=12, K_{\Sigma}=536, K_{\text{эф}}=0.47$;

E1 – «ВАРК101М» [6, 7], $P_{\Sigma}=23, K_{\Sigma}=937, K_{\text{эф}}=0.83$;

E2 – «ВАРК101С» [7, 8], $P_{\Sigma}=27, K_{\Sigma}=1107, K_{\text{эф}}=0.98$;

Ж1 – «Механич. РТ, РН, РТЗ», $P_{\Sigma}=9, K_{\Sigma}=419, K_{\text{эф}}=0.36$;

Ж2 – «Стат. Пр. ОдноВх. РЗ», $P_{\Sigma}=11, K_{\Sigma}=549, K_{\text{эф}}=0.49$;

З – «Мех. ДЗТ, РТгенерат.», $P_{\Sigma}=17, K_{\Sigma}=659, K_{\text{эф}}=0.58$;

И – «ФД-Балансн. (Радио)», $P_{\Sigma}=13, K_{\Sigma}=411, K_{\text{эф}}=0.36$;

К – «ПЗЗМ1М» [1-3], $P_{\Sigma}=18, K_{\Sigma}=728, K_{\text{эф}}=0.65$;

Л – «РАНК-ВсФиксат.» [12], $P_{\Sigma}=13, K_{\Sigma}=486, K_{\text{эф}}=0.43$;

М – «НЧС-РЗ» [14], $P_{\Sigma}=25, K_{\Sigma}=1013, K_{\text{эф}}=0.9$;

H1 – «Механич. РЧ (Радио)», $P_{\Sigma}=10, K_{\Sigma}=399, K_{\text{эф}}=0.35$;

H2 – «Стат. Програм. РЧ», $P_{\Sigma}=14, K_{\Sigma}=669, K_{\text{эф}}=0.59$;

Я – «Обобщен., СПВЦР» [1, 18], $P_{\Sigma}=27, K_{\Sigma}=1127, K_{\text{эф}}=1$.

4. Балансный ФД можно применять в устройствах в качестве интеллектуального детектора смысла, выполняющего определение конечного результата (логического, смыслового). Известный термин «Чувствительность» формируется на морфологическом уровне распознавания, термин «Избирательность» формируется на синтаксическом и семантическом уровнях балансом «Селективность-Блокировка» или «За-Против» выдачи конечного результата. При формировании выходного сигнала $S(t)$ одновременное появление правил блокировки не будет, значения $S(t)$ будут находиться в положительной области значений.

5. При частотах входов α, β , стремящихся к нулевым значениям, описание ФД (рис. 1), (1-3) можно применять для описания устройств систем автоматического управления, стабилизации, функциональной диагностики и др.

Выводы. 1. Предложена и обоснована замена структурных схем устройств и терминалов РЗиА обобщенной эквивалентной структурной схемой ОЭС – балансным смарт-детектором. Замена позволяет эффективно выполнять этапы анализа, синтеза, совершенствования и др. при построении интеллектуальных управляющих систем, в том числе и РЗиА.

2. Согласно разрабатываемому SI-методу составлено обобщенное дерево распознавания известных схем балансных детекторов. Составлена грамматика, приведен перечень правил «За-Против» выдачи результата. Грамматика позволяет проводить исследования в области качества работы известных и разрабатываемых устройств и систем РЗиА.

3. Построена иерархическая линия развития конструктивных решений дискриминаторов от «простого» к «совершенному». Линия позволяет выполнять качественные и количественные оценки эффективности устройств и рассчитывать показатели разрабатываемых устройств. В основу линии положено устройство относительного действия – балансный дискриминатор или фазовый детектор. Тогда устройства РЗиА абсолютного действия являются упрощением ОЭС-устройства. Наиболее совершенным оказывается предлагаемый в статье смарт-детектор «За-Против».

4. Рассматривается совместная работа ОЭС-устройства с МСОУЗ в единой интеллектуальной смарт-грид системе автоматического управления. Приведен пример построения структурной схемы смарт-системы управления в области смарт-грид электросетей.

5. Результаты работы являются еще одним шагом в развитии SI-метода метода и показывают его эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров А.П. Применение структурно-лингвистического и иерархического методов для выбора между «простыми» и «совершенными» устройствами / А.П. Никифоров // Научные труды Кременчугского НТУ. Серия: «Электроэнергетика», вып. 4/2010(63).-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 / А. П. Никифоров // Наукові праці Донецького НТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика», вип. 9 (158). - Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2009.- С. 166-169.
3. Никифоров А.П. Применение структурно-лингвистического метода для задач, связанных с исследованиями, совершенствованием и преподаванием релейной защиты энергообъектов/ А. П. Никифоров // Наукові праці Донецького НТУ. Серія: Електротехніка і енергетика, вип. 8(140): Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ». - 2008. - С. 236-241.
4. Ту Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес – М.: Мир, 1978. - 411 с.
5. Обабков В.К. Структурно-операторное описание процессов в задачах моделирования дуговых замыканий на землю / В.К. Обабков // Электричество.-1986.-№8. - С. 16-20.
6. Обабков В.К. Исследование вопросов точности систем компенсации емкостных токов в симметричных сетях с плунжерным дугогасящим реактором / В.К. Обабков, А. П. Никифоров // Промышленная энергетика.-1996.-№5.- С.22-30.
7. Обабков В.К. Точность автоподстройки частоты свободных колебаний в симметричных сетях с компенсированной нейтралью/ В.К. Обабков, А. П. Никифоров // Электричество. - 1996. - №12. С. 8-16.
8. Никифоров А.П. Поиск пригодных для унификации способов и устройств автоматического управления процессами компенсации емкостных токов в кабельных системах электроснабжения / А. П. Никифоров // Энергетика и электрификация. - 1999.- №5. С. 29-32.
9. Степанчук Д.Н. Автоматическая настройка плунжерных дугогасящих катушек в кабельных сетях 6-10 кВ/Д.Н.Степанчук, В.Ф.Солдатов, В.П.Кухта, Ю.Г.Глухов// Электрические станции, 1976,-№ 10. С. 68-72.
10. Кобазев В.П. Самоконтроль исправности автоматического регулятора настройки дугогасящего реактора /Кобазев В.П. // Энергетика и электрификация. - 1995. - №4. – С.40-43.
11. Трухан А.П. Инструкция по наладке, эксплуатации и ремонту регулятора РАНК-2 для настройки дугогасящих реакторов/А.П.Трухан, А.М. Михайлов -Киев: Ин-т электродинамики АН УССР, 1976. - 40 с.
12. Солдатов, В.Ф. Регулятор автоматической настройки дугогасящего реактора в кабельных сетях с компенсацией потенциала поврежденной фазы / В.Ф. Солдатов, В.П. Кобазев, Г.И. Никольский и др. // Электрические станции. — 1988.-№6, С. 65-69.
13. Петров О.А. Система настройки дугогасящих реакторов по максимуму напряжения смещения нейтрали /О.А.Петров, А.М.Ершов, В.И. Гиря // Электрические станции – 1978. – № 2.
14. Сивокобыленко В.Ф. Совершенствование низкочастотного селективного алгоритма поиска поврежденного участка сети при замыканиях на землю /В.Ф.Сивокобыленко, В.К.Лебедев, А.П.Никифоров, И.В. Журавлев // Научн. труды Кременчугского НТУ. Серия: «Электроэнергетика», вып. 4(63). Часть 1 - Кременчуг, 2010.- С.105-110.
15. Никифоров А. П. Теорема о наличии смыслового сигнала в системах релейной защиты / А.П. Никифоров // Научно-производственный журнал «Техническая электродинамика» и Материалы 10 научно-технической конференции «Проблемы современной электротехники 2010». Часть 2. НАН Украины. Институт электродинамики. - Киев, 2010. - С. 73-76.
16. Никифоров А.П. Определение поврежденного участка объекта защиты и управления в условиях неопределенности /А.П.Никифоров, П.Р. Никифоров // Материалы 17 международной конференции «Автоматика-2010». Харьковский нац. университет радиоэлектроники. Харьков, 2010.- С. 170-172.
17. Никифоров А.П. Сквозное проектирование экспертных систем терминалов РЗиА на основе многоядерных микроконтроллеров /А.П.Никифоров, М.А. Смирнова // Наукові праці Донецького НТУ. Серія: Електротехніка і енергетика, випуск 11(186): Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ». - 2011. - С. 284-290.
18. Никифоров А.П. Моделирование устройств в САПР сквозного проектирования на основе структурно-лингвистического метода / А.П. Никифоров // Материалы международной научной конференции «Моделирование 2010». Том 2. – НАН Украины. Институт проблем моделирования им. Г.Е. Пухова. – Киев, 2010. - С. 298-307.

REFERENCES

1. Nikiforov A.P. Application of structural-linguistic and hierarchical methods to select between "simple" and "perfect" devices // Nauchnie trudi Kremenchutskij NTU: «Elektroenergetika», № 4/2010(63), Kremenchug, 2010.- p. 19-23.
2. Nikiforov A.P. Analysis and synthesis of protective devices on the basis of constructing a hierarchical line "from simple to perfect" by structural-linguistic method // Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu: «Elektrotekhnika i energetuka», № 9 (158): Donetsk, DVNZ «DonNTU», 2009.- p. 166-169.

3. Nikiforov A.P. Application of structural-linguistic method to problems related to research, teaching and improvement of relay protection of energy facilities // Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu: "Elektrotekhnika i energetika", № 8(140): Donetsk, DVNZ «DonNTU», 2008. - p. 236-241.
4. Tu Dg., R. Honsales. Principles of Pattern Recognition - Moskow.: Mir, 1978. - 411 p.
5. Obabkov V.K. Structure-operator description of the processes for modeling arc fault to earth // Elektrichestvo.- № 8, 1986. p. 16-20.
6. Obabkov V.K., Nikiforov A.P. Study of the questions of accuracy of capacitive current compensation systems in symmetric networks with plunger Peterson coils // Promishlennaja energetika, № 5, 1996, p.22-30.
7. Obabkov V.K., Nikiforov A.P. The accuracy of automatic frequency control of free oscillations in symmetric networks with compensated neutral // Elektrichestvo, № 12, 1996, p. 8-16.
8. Nikiforov A.P. Search of suitable methods for the unification and automatic control of processes of compensation of capacitive currents in the power cable systems // Energetika I elektrifikatsija. - 1999.- №5. p. 29-32.
9. Stepanchuk D.N., Soldatov V.F., Kukhta V.P., Glukhov Y.G. Automatic tuning of plunger Peterson coils in cable networks 6-10 kV. // Elektricheskie stantsii, № 10, 1976, p. 68-72.
10. Kobazev V.P. Self-monitoring of serviceability of automatic adjuster of arc suppression coil // Energetika I elektrifikatsija. № 4, 1995, - C.40-43.
11. Trukhan A.P., Mikhajlov A.M. Instructions for adjustment, operation and repair of the regulator RANK-2 to adjust the arc suppression reactors.-Kiev: Institut elektrodinamiki AN USSR, 1976. - 40 p.
12. Soldatov V.F., Kobazev V.P., Nikolskiy G.I. и др. The controller of automatic adjustment of the arc suppression coil in the cable networks with compensation of the potential of the damaged phase // Elektricheskie stantsii, № 6, 1988, p. 65-69.
13. The controller of automatic adjustment of the plunger Peterson coils RANPR. Technical description and user's manual. Chuvash State University by I.M.Ulyanov.
14. Sivokobylenko V.F., Lebedev V.K., Nikiforov A.P., Zhuravlev I.V. Improving low-frequency selective algorithm of search of damaged area of network at ground fault // Nauchnie trudi Kremenchutskij NTU: «Elektroenergetika», № 4(63), part 1, Kremenchug, 2010. p.105-110.
15. Nikiforov A.P. Theorem on the availability of semantic signal in relay protection systems // Nauchno-proizvodstvennij zhurnal «Tekhnicheskaja elektrodinamika» I Materiali 10 nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Problemi sovremennoj elektrotekhniki 2010». Part 2. NAN of Ukraine. Institut elektrodinamiki, Kiev, 2010, p. 73-76.
16. Nikiforov A.P., Nikiforov P.R. Determination of the damaged area of the protection and control object under uncertainty // 17 mezhdunarodnaja konferentsija «Avtomatika-2010». Kharkov NU of radio-electronics. Kharkov, 2010, p. 170-172.
17. Nikiforov A.P., Smirnova M.A. Through Design of Relay Protection and Automation Terminals Expert Systems Based on Multi-Core Microcontrollers. // Naukovi pratsi Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu: "Elektrotekhnika i energetika", № 11(186): Donetsk, DVNZ «DonNTU», 2011, p. 284-290.
18. Nikiforov A.P. Modeling of devices in CAD-based through design on the base of structural-linguistic method // «Modelling 2010». Vol. 2, NAN of Ukraine. Kiev, 2010, p. 298-307.

Надійшла до редакції 03.03.2013

Рецензент: В.Ф. Сивокобиленко

А. П. НИКИФОРОВ, М.О. СМІРНОВА

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»

Опис пристроїв релейного захисту і автоматики структурно-інформаційним методом. Показано, що відомі пристрої та термінали РЗіА можливо замінити узагальненою еквівалентною структурною схемою двохвходового пристрою. Така абстракція, що спрощує, дозволяє ефективно вирішувати задачі аналізу, синтезу, оптимізації, вдосконалення, уніфікації, навчання та інші в області РЗіА. Абстракція допомагає оперувати потоками інформації в безлічі пов'язаних об'єктів управління і захисту, до яких зводяться ділянки електричних мереж різних класів напруг для традиційних і смарт-грид побудов. Двохвходовий, а в межі одновходовий пристрій, є багатопараметричним обробником потоку інформації і відноситься до області технічного інтелекту. Наводиться опис структурно-інформаційного методу, на основі якого отримано пропонувану абстракція.

Ключові слова: *смарт-грид, перехідний процес, структурно-лінгвістичний метод, технічний інтелект, балансний дискримінатор, смисловий детектор, еволюція конструктивних рішень.*

A. P. NIKIFOROV, M.A. SMIRNOVA

State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Description of Relay Protection and Automatics Devices Based on Structural Information Method. Combination of many factors: expansions of multi-criteria terminals of Relay Protection and Automatics (RPA), building smart-grid electrical networks, problems of RPA solving for specific objects of control and protection (OCP) showed the necessity to operate by the information flows to a higher abstract level with reservation about OCP and RPA in the description. OCP groups in power industry usually work together and are connected energetically, galvanically and

informationally. In this regard, there is possibility to allocate a separate type of OCP – array of associated OCP (AAOCP). It is shown in the paper that the well-known devices and terminals of RPA can be replaced by a generalized equivalent structural circuit (GEC) of two-input device. GEC device consists of two elements: generalized filter and threshold unit. This simplifying abstraction gives possibility to effectively solve problems of the analysis, synthesis, optimization, development, standardization, training, etc. of RPA. Abstraction helps to operate with the information flows in AAOCP where the parts of electrical networks of various voltage classes of traditional and smart grid constructions are thrown together. Two-terminal, and in the limit one-terminal GEC-device, is a multi-parameter processor of the information flow and relates to the field of technical intellect. A structure-information (SI) method is described in the paper. On the basis of this method the proposed abstraction is obtained. A theoretical basis of SI method and evidence of its effectiveness are developed. SI method involves structural-operator, structural-linguistic and structural-hierarchical methods. SI-method is universal and can perform various tasks related to the analysis, synthesis and control of the flow of sense situations in the research object. In this paper one more element of SI method's theoretical basis, rationale of use of GEC device, is developed. According to SI method, a generalized tree, for recognition of known schemes the balanced discriminators and detectors, is made. Grammar, a list of rules "Yes-No" are compiled. Grammar allows the study the quality of the well-known devices, the devices under development and RPA systems. The hierarchical line of solutions design of discriminators from "simple" to "perfect" is built. The line enables to perform qualitative and quantitative evaluations of the effectiveness of RPA devices and count indicators of developed RPA devices. Relative action device, balanced discriminator or phase detector (PD), is in the basis of the evolution line of RPA devices. In this case absolute action device of RPA are simplification of GEC device. The proposed in the article smart detector "Yes-No" turns the most perfect". Joint-work of GEC device and AAOCP in the unified intellectual smart grid automatic control system is discussed. The examples of structural circuits of smart control systems in the smart-grid electric networks are presented.

Key words: *smart grid, transition, structural linguistic method, technical intellect, balanced discriminator detector sense, the evolution of design solutions.*