

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДНЕЧАСТОТНОГО СЕЛЕКТИВНОГО АЛГОРИТМА ПОИСКА ПОВРЕЖДЕННОГО УЧАСТКА СЕТИ ПРИ ЗАМЫКАНИЯХ НА ЗЕМЛЮ ЧАСТЬ 2. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТРОЙСТВА СЕЛЕКТИВНОГО ПОИСКА**

*Синтез структурных элементов основного критерия работы.* Рассмотрим построение информационных датчиков, работающих на основе анализа разрядно-зарядных частотных составляющих (РСЧС и ЗСЧС). Эти составляющие возникают в начале каждого пробоя ОЗЗ. На рис. 2 показаны сигналы координаты  $Z_{i0}$  в начале пробоя ОЗЗ для поврежденного и неповрежденного участков КНПС. Сигналы состоят из суммы РСЧС, ЗСЧС и сигналов, не связанных с ОЗЗ. ЗСЧС, как более селективная составляющая, выделяется полосовым фильтром с полосой пропускания 0.5-5 кГц. При цифровой реализации фильтра (КИХ-фильтр) появляется возможность свести к минимуму собственные переходные составляющие фильтра, получить необходимую форму АЧХ при линейной ФЧХ. Линейная ФЧХ позволяет качественно формировать селективные НТС «ИФД-СЧС», «АИФД-СЧС», определяющих направленность  $СЧС_{3i0}$ ,  $СЧС_{3i0}$  фазовым и интегральным фазовым детекторами (ФД и ИФД). Фильтры эффективно синтезируются в САПР «MatLab».

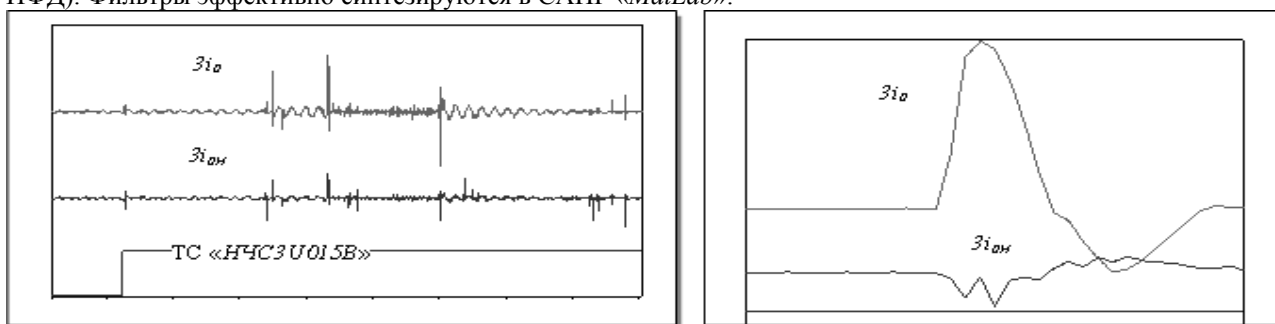


Рис. 2. Сигналы координаты в сети с резонансно заземленной нейтралью при сложном развитии ОЗЗ

Предлагаемые здесь интегральные информационные датчики определяют площадь ЗСЧС и эквивалентны температурным датчикам, если бы они измеряли температуру шунтов на выходе трансформаторов тока  $Z_{i0}$  при их нагреве ЗСЧС. Подсчет площади РСЧС  $Z_{i0}$  каждого из участков КНПС выполняется блоком «J» (см. Рис. 3), который накапливает значения цифровых замеров АЦП. Интегральный ТС « $\Sigma СЧС_{3i0}$ » участвует в контроле структуры переходного процесса абсолютными  $P_{ABC}$  и относительными правилами  $P_{OTN}$ , т.е. в работе синтаксического анализатора и формировании смыслового сигнала  $S_{СИИТ}(t)$ . Интегральные ТС менее подвержены помеховым составляющим по сравнению с неинтегральными, например, ТС « $СЧС_{3i0}$ », применяемыми в известных устройствах СП. ТС « $ИСЧС_{3i0}$ » участвует в формировании интегральных НТС «ИФД-СЧС», «Разрешение по  $\Sigma СЧС_{3i0}$ », сравнивающих площади ЗСЧС участков КНПС и определяющих направленность знаков площадей ЗСЧС. Неинтегральный ТС « $СЧС_{3i0}$ » участвует в формировании НТС, аналогичных селективным интегральным, например, НТС «ФД-СЧС» (на Рис. 3 не показан).

В виду того, что величины РСЧС, ЗСЧС могут быть очень малы или отсутствовать в случаях пробоев изоляции вблизи минимума напряжения поврежденной фазы, для восполнения недостатка информации должны задействоваться другие селективные правила структурных составляющих переходного процесса.

*Разработка структурной и принципиальной схем СЧС-устройства СП.* На структурно-логической схеме СЧС-устройства СП (см. Рис. 3) выпрямитель формирует величины площадей ЗСЧС для разных полувольтных входных сигналов в общий поток измерений. Сумматор « $\Sigma$ » выполнен в виде двунаправленного счетчика, который по тактовым импульсам накапливает отсчеты площадей ЗСЧС  $Z_{i0}$  при наличии НТС «Разрешение по НЧС  $Z_{i0}$ ». В случае отсутствия ОЗЗ (не появился НТС «Разрешение по НЧС  $Z_{i0}$ »), после завершения формирования ЗСЧС, насчитанные значения в « $\Sigma$ » списываются. Таким образом, в течение всего переходного процесса формируется сигнал  $S_{СЧСi0}(t) = \Sigma СЧС_{3i0}$ , пропорциональный площади ЗСЧС  $Z_{i0}$ . Отсчеты сигнала  $S_{СЧСi0}(t)$  каждого из участков КНПС передаются по локальной информационной сети в терминал, где поврежденный участок КНПС определяется по относительному способу обработки информации.

В «Блокирующей части по  $Z_{i0}$ » (см. Рис. 1, 3) формируются ТС «НЧС3U015В», «НЧС3U030В» и НТС «Разрешение по НЧС  $Z_{i0}$ », «Блокировка по огибающей  $Z_{i0}$ ». ТС «НЧС3U015В» формируют элементы (см. Рис. 1) – предварительный ФНЧ1, выпрямитель, а также элементы ВИ-критерия (ПЭЗ, ФШИМ4, ПЭБ). При наличии ОЗЗ величина НЧС  $Z_{i0}$  последовательно превышает пороги 15 В, 30 В за контрольное время  $T_{ОКНО} = 3$  мс. Появление НТС «Разрешение по НЧС  $Z_{i0}$ » запрещает сумматору « $\Sigma$ » списывать результат накопления площади РСЧС  $Z_{i0}$  до окончания переходного процесса в сети. Окончание переходного процесса корректно отслеживается по уменьшению огибающей НЧС  $Z_{i0}$  и прекращению формирования ТС «НЧС3U015В». Одновибратор ОВ331 при

первом появлении ТС «НЧС3U015В» взводится и после последнего появления продолжает формировать НТС «Разрешение по НЧС 3U0» в течение  $T_{OBS3} = 0.7$  с.

При совпадении знаков площадей ЗСЧС  $3i_0$ ,  $3i_0$  формируется ТС «ИФД-СЧС», выполняющий селективное определение поврежденного участка КНПС по абсолютному способу обработки информации. При наличии НТС «Разрешение по НЧС 3U0» (то есть после первого появления ТС «НЧС3U015В») запускается одновибратор ОВ32 на время  $T_{O33} = 1.5$  с. Завершение времени  $T_{O33}$  является моментом принятия решения о формировании НТС «Срабатывание». Синтаксический автомат реализован на ПЛИС и синтезирован в САПР «OrCAD».

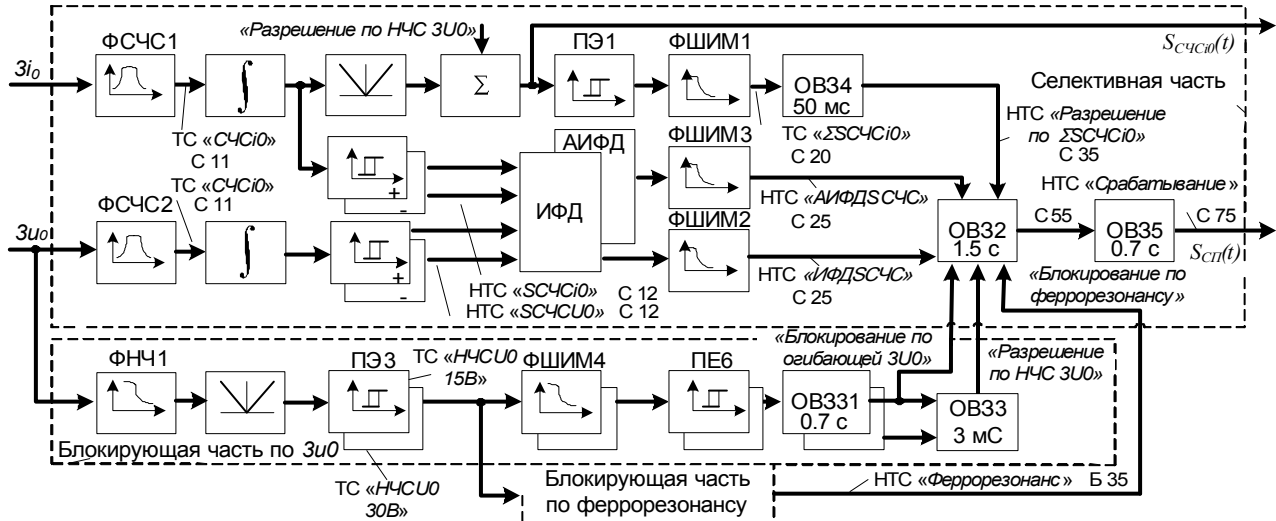


Рис. 3. Структурно-логическая схема синтезированного СЧС-устройства СП

В работе [2] показана недостаточность абсолютного подхода к обработке информации в задаче повышения устойчивости работы устройств СП и необходимость применения относительного подхода. Для комплексного решения задачи предлагается [2] формировать каждым устройством СП три смысловых сигнала  $S_{СП}(t)$ ,  $S_{СЧСi}(t)$ ,  $S_{ВЧСФД}(t)$ , которые можно сравнивать между собой (каждый  $S(t)$  отдельно) относительными правилами  $P_{ОТН}$ . Результатом относительного подхода является смысловой сигнал  $S_{СЕМ}(t) = \langle \text{За-против} \rangle$ , который формируется и контролируется в терминале КНПС как баланс между ТС, НТС «За» и «Против» [2, 3]. НТС «Срабатывание», как и другие НТС (рис. 3) участвует в формировании смыслового сигнала  $S_{СЕМ}(t)$  как НТС с наибольшим весовым коэффициентом  $k$ . Терминал возвращает в устройство СП поврежденного участка КНПС более селективный НТС «Срабатывание от терминала». В случае отказа локальной информационной сети устройство СП будет работать по абсолютному способу обработки информации.

Среди правил относительного поиска  $P_{ОТН}$  поврежденного участка КНПС можно выделить следующие.

1.  $P_{ОТН}$  сравнения значений сигналов  $S_{СП}(t)$  участков КНПС. Правило оказывается необходимым в случаях возникновения сложных смысловых ситуаций: а) при одинаковых уровнях сигналов  $S_{СП}(t)$  нескольких участков КНПС; б) когда НЧС  $3i_0$  при ОЗЗ не достигает величин порогов 15 В, 30 В (абсолютный селективный критерий заблокирован); в) для определения процессов, не соответствующих ОЗЗ.

2.  $P_{ОТН}$  определения по наибольшей площади ЗСЧС  $3i_0$ . В каждом устройстве СП формируется сигнал  $S_{СЧСi}(t) = \Sigma СЧС 3i_0$ . От каждого пробы ОЗЗ переходного процесса в КНПС сигнал  $S_{СЧСi}(t)$  накапливается и до момента принятия решения ( $T_{O33} = 1.5$  с) как правило, удается определить «фаворита» на отключение по наибольшей величине сигнала  $S_{СЧСi}(t)$ . Правило позволяет отделить сходные уровни  $S_{СП}(t)$  в случае развития переходного процесса в КНПС или заместить основное селективное  $P$  при отсутствии ЗСЧС в начале процесса.

3.  $P_{ОТН}$  контроля достижения сигналом  $S_{СП}(t)$  наибольшим значением абсолютного порога срабатывания. При появлении ОЗЗ (по факту появления ТС «НЧС3U015В») сигнал  $S_{СП}(t)$  поврежденного участка КНПС начинает накапливаться интенсивнее по сравнению с  $S_{СП}(t)$  неповрежденных участков КНПС.  $P_{ОТН}$  позволяет выбрать «фаворита» на отключение по наименьшему времени появления максимальной величины сигнала  $S_{СП}(t)$ . При выполнении  $P_{ОТН}$  формируется НТС «MaxSCIP», который относится к селективным правилам  $P_{СЕЛ}$  и с большим весовым коэффициентом  $k$  участвует в группе правил  $P_{ЗА}$ .

4. Доопределение сути переходного процесса. При неустойчивом развитии ОЗЗ возможны смысловые ситуации: а) перевыбор «фаворита» на отключение; б) селективное отключение нескольких участков КНПС; в) подтверждение правильности невыдачи сигнала на отключение при неопределяемой ситуации. Наличие правил  $P_{ДОП}$ , позволяющих корректно выполнять действия в сложных ситуациях, повышает устойчивость работы устройств СП. Рассмотрим подробнее эти смысловые ситуации.

Стихийное поведение места повреждения изоляции, а также самовосстановление изоляции приводят к тому, что величина смыслового сигнала  $S_{СЕМ}(t)$  поврежденного участка КНПС до момента принятия решения ( $T_{O33} = 1.5$  с) может уменьшиться. В то же время места с ослабленным уровнем изоляции других участков КНПС

(например, от повышения напряжения на неповрежденных фазах сети) может привести к пробое изоляции, в том числе через большое переходное сопротивление. В результате уровни  $S_{СП}(t)$  этих участков увеличатся.

Правила  $P_{ДОП}$  имеют меньшие весовые коэффициенты  $k$  по сравнению с правилами  $P_{СП}$ , так как для первого пробоя ОЗЗ начальные составляющие сигналов входных координат минимальны по величине, как следствие,  $P_{СП}$  менее подвержены искажениям.  $P_{ДОП}$  конструктивно находятся в устройстве СП и в терминале. Исправление уровня сигнала  $S_{СП}(t)$  происходит следующим образом. При появлении в начале ОЗЗ НТС «ИФД-СЧС» на поврежденном участке (НТС «ИФД-СЧС» на неповрежденных участках) и после появления ТС «НЧСЗУ015В» фиксируется семантическим автоматом устройства СП появление ТС, НТС. Таким образом, закладывается приоритет в определении «фаворита» по первому пробое изоляции. Для дальнейшего контроля или определения смысловой ситуации синтаксический автомат задействует правила  $P_{ДОП}$ , которые продолжают контролировать изменения уровней сигналов  $S_{СП}(t)$  до момента принятия решения. Например, при трехкратном срабатывании НТС «ИФД-СЧС» на неповрежденных участках КНПС выдается НТС «Исправление по ИФД-СЧС» с весовым коэффициентом  $k$ , сравнимым, но меньшим  $k$  селективного НТС «ИФД-СЧС». И наоборот, если на поврежденном участке КНПС после ОЗЗ автомат синтаксиса трехкратно сформировал альтернативным ФД НТС «ИФД-СЧС», то дополнительно формируется НТС «Исправление по ИФД-СЧС».

5. Семантическим автоматом терминала при появлении НТС «ОВЗ1» формируется последовательность «фаворитов» на отключение правилами  $P_{АБС}$ ,  $P_{ОТН}$  по максимальному достигнутому уровню сигнала  $S_{СЕМ}(t)$ . В случае, когда выполнены  $P_{АБС}$ , но не выполнены  $P_{ОТН}$  (не удастся отличить сигналы  $S_{СЕМ}(t)$ ), то «фаворитом» назначается первый по времени превышения  $S_{СЕМ}(t)$  абсолютного порога. Если разрешено в конфигурации системы поочередное автоматическое отключение (поиск) нескольких участков (до трех), то выполняется их отключение по таким правилам  $P_{ДОП}$ . Если  $P_{АБС}$  не выполнено, а выполнено  $P_{ОТН}$ , то также выполняется отключение «фаворитов» поочередно. Если не выполнено ни  $P_{АБС}$ , ни  $P_{ОТН}$  (смысловая ситуация считается «Неопределяемой»), то возможно отключение «фаворитов» по максимальному уровню сигнала  $S_{СЕМ}(t)$  или в произвольной очередности. Иначе, при запрете автоматического поиска поврежденного участка КНПС, выдается диагностическое сообщение «Неопределяемая ситуация» и привлекается оперативный персонал (выдается сигнал в цепи сигнализации). Синтез семантического автомата выполняется в «MatLab-Stateflow».

#### Выводы

1. В системе АСНОР КНПС весовые коэффициенты  $k$  СЧС-критериев имеют наибольшее значение в виду их наибольшей селективности. Тем не менее, как и для других критериев селективности, СЧС-критерии имеют случаи отказов в работе – повреждения изоляции механического характера при малых величинах напряжения поврежденной фазы, постепенное развитие пробоя ОЗЗ, пробое изоляции через большое переходное сопротивление, перекосы нейтрали при сложных технологических процессах у потребителей, плохой пуск ЭД, процессы не связанные с ОЗЗ и др. В таких случаях задействуются другие критерии работы устройств СП.

2. Абсолютные правила селективности и блокировки не в полной мере решают задачу повышения устойчивости работы устройств СП. Ведущая роль отдается [2, 3] относительному подходу к обработке смысловой информации, а также правилам доопределения информации. Это приводит к необходимости разработки и практического применения нового устройства – терминала «Т-КНПС-1» [3], который может быть совместим с автоматом резонансной настройки КНПС. Терминал выполняет анализ данных, непрерывно поставляющихся отдельными устройствами СП (в том числе и в нормальном режиме). Для контроля входных сигналов устройств СП и накопления аварийных файлов переходных процессов в сети устройство СП совмещено с аварийным высокочастотным цифровым регистратором (устройство «ВЦР-СП») [2].

3. В работе [2] показано, что «сложность» схемы устройства должна соответствовать «сложности» решаемой им задачи. Исходя из структурно-информационного метода, схема (см. рис. 3) является минимальной и необходимой для обеспечения устойчивости работы СЧС-устройства СП. Параметры схемы позволяют работать не только при дуговом ОЗЗ, но и при различных сложных смысловых ситуациях. Конструктивно синтаксический автомат и автомат доопределения реализованы на ПЛИС. Результаты испытаний образцов устройства показывают эффективность структурно-информационного метода синтеза. Для дальнейшего совершенствования схемы возможно задействовать дополнительные ТС, НТС,  $P$ ,  $S$  согласно методу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сивокобыленко В.Ф., Лебедев В.К., Никифоров А.П., Журавлев И.В. Совершенствование низкочастотного селективного алгоритма поиска поврежденного участка сети при замыканиях на землю // Научн. труды Кременч. Нац. Техн. Универ. Серия: «Электроэнергетика», вып. 4(63).- Кременчуг, 2010.- С.105-110.

2. Никифоров А.П. Анализ и синтез устройств защиты на основе построения иерархической линии «от простого к совершенному» структурно-лингвистическим методом // Научные труды Дон. Нац. Техн. Универ. Серия: «Электроэнергетика», вып. 9(158).- Донецк: «ДонНТУ», 2009.- С.169-174.

3. Никифоров А. П. Теорема о наличии смыслового сигнала в системах релейной защиты // Материалы 10 научно-технической конференции «Проблемы современной электротехники 2010». - Киев, 2010.- С. 100-105.

4. Никифоров А. П. Совершенствование аппарата селективной сигнализации типа ПЗЗМ с использованием высокочастотных перезарядов фазных емкостей при однофазных замыканиях в сетях 6-35 кВ // Доклады конференции «РЗиА энергосистем – 2004», павильон «Электрификация» ВВЦ.- Москва, 2004.- С. 205-208.