

ДИАГНОСТИКА ФАЗОВОГО РЕГУЛЯТОРА ДУГОГАСЯЩЕГО РЕАКТОРА

Кобазев В.П., Кошин Б.А., Бакуновская Н.В.

Донецкий государственный технический университет

c12@elf.dgtu.donetsk.ua, kosh@auk.euromb.com

In the article the outcomes of simulation on a computer of phase measuring organs of regulators of ground-fault neutraliser are adduced. On the basis of outcomes of calculation the requirements to the scheme of self-testing are compounded. The functional check of the regulator by repair staff to be executed through the generator of test signals. Its principal diagram is adduced.

В электрических сетях напряжением 6-35 кВ для повышения надежности и безопасности широко применяется компенсация емкостных токов замыкания на землю при помощи плунжерных дугогасящих реакторов (ДР).

В кабельных электрических сетях с большими емкостными токами замыкания на землю в настоящее время для непрерывного поддержания резонансной настройки ДР в большинстве случаев применяются фазовые регуляторы, работающие только в нормальном режиме сети. Несмотря на их простоту и высокую надежность они все же имеют ограниченный ресурс безотказной работы. В условиях эксплуатации неисправность регуляторов обнаруживается лишь в процессе длительного неправильного функционирования системы автоматической компенсации емкостного тока замыкания на землю [1,2].

Таким образом, выход из строя электронных элементов регулятора может привести к появлению расстройки компенсации больше рекомендованной ПТЭ, которые предусматривают эксплуатацию компенсирующих устройств в режиме резонансной настройки или перекомпенсации при соблюдении условия превышения индуктивного тока реактора не более чем на 5 А относительно емкостного тока сети. Кроме того степень расстройки компенсации не должна превышать 5%. Режим недокомпенсации не рекомендуется из-за возможности появления смещения нейтрали больше $0,15 U_{\phi}$.

Известно несколько способов повышения функциональной надежности аппаратуры защиты и автоматики: повышение коэффициентов запаса по току и напряжению основных элементов схемы, повышение их мощности; резервирование элементов или цепей; применение схем с самоконтролем исправности основных цепей [3]. Для устройств релейной защиты и автоматики наиболее перспективным является использование схем самоконтроля. Для определения основных требований к работе схемы самоконтроля исправности регулятора ДР были проведены исследования на ЭВМ ряда схем фазовых детекторов с использованием программы IMDS.

В статье [4], был проведен анализ различных схем фазовых детекторов. Из шести рассмотренных в этой статье схем фазовых детекторов были выбраны три схемы с различной зависимостью сигнала на их выходе от коэффициента демпфирования d : квадратичной, линейной и не зависящей от d . Такими свойствами соответственно обладают детектор с перемножением входных сигналов, цифровой и с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

На рис. 1 приведена схема моделирования детекторов при помощи программы IMDS. По этой схеме выполняется расчет фазовых и суммарных характеристик трех детекторов.

Схема модели состоит из двух частей. Первая часть предназначена для формирования синусоидальных напряжений опорного $U_{оп}$ и смещения нейтрали $3U_0$. Во вторую часть модели входят структурные схемы трех детекторов: блоки 8-10 с перемножением входных напряжений; блоки 14-24 – цифровой; блоки 25-30 с ШИМ преобразованием. Так как блок умножения программы IMDS имеет три входа, то для перемножения двух сигналов на оставшийся свободный вход подается единичный сигнал при помощи задания константы $K=1$ в блоках 8 и 30. Блоки 13 и 12 это тоже схема фазового детектора с перемножением сигналов. Реализуется только его характеристика. Для этого последовательно соединяются блоки 12 и 13. Они обеспечивают вычисление напряжения на выходе детектора по соотношению:

$$U_{\phi Д} = K_{\phi Д} \cdot \sin \varphi$$

где φ - фазовый сдвиг входных напряжений детектора; $K_{\phi Д}$ - коэффициент передачи.

Блок 12 моделирует сглаживающий фильтр. Его динамические свойства реализуются при помощи апериодического звена (АН).

Первая часть схемы рис.1 формирует гармоническое воздействие на все фазовые детекторы в зависимости от угла φ и степени расстройки ν дугогасящего реактора. Гармоническое воздействие генерируется блоками 1-7. Блок П1 (1) выдает системное время t , которое после усилителей с коэффициентом передачи ω преобразуется в сигнал ωt , где ω - угловая частота сети. Постоянный сдвиг по фазе между опорным напряжением $U_{оп}$ и напряжением смещения нейтрали $3U_0$ на 90 эл. град. необходим для правильной работы фазовых детекторов. Такой сдвиг обеспечивается за счет одновременной подачи сигнала ωt на блок синус S1 и блок косинус С0. На вход блока S1 сигнал ωt поступает через сумматор, где он складывается со значением угла φ . В схеме моделиро-

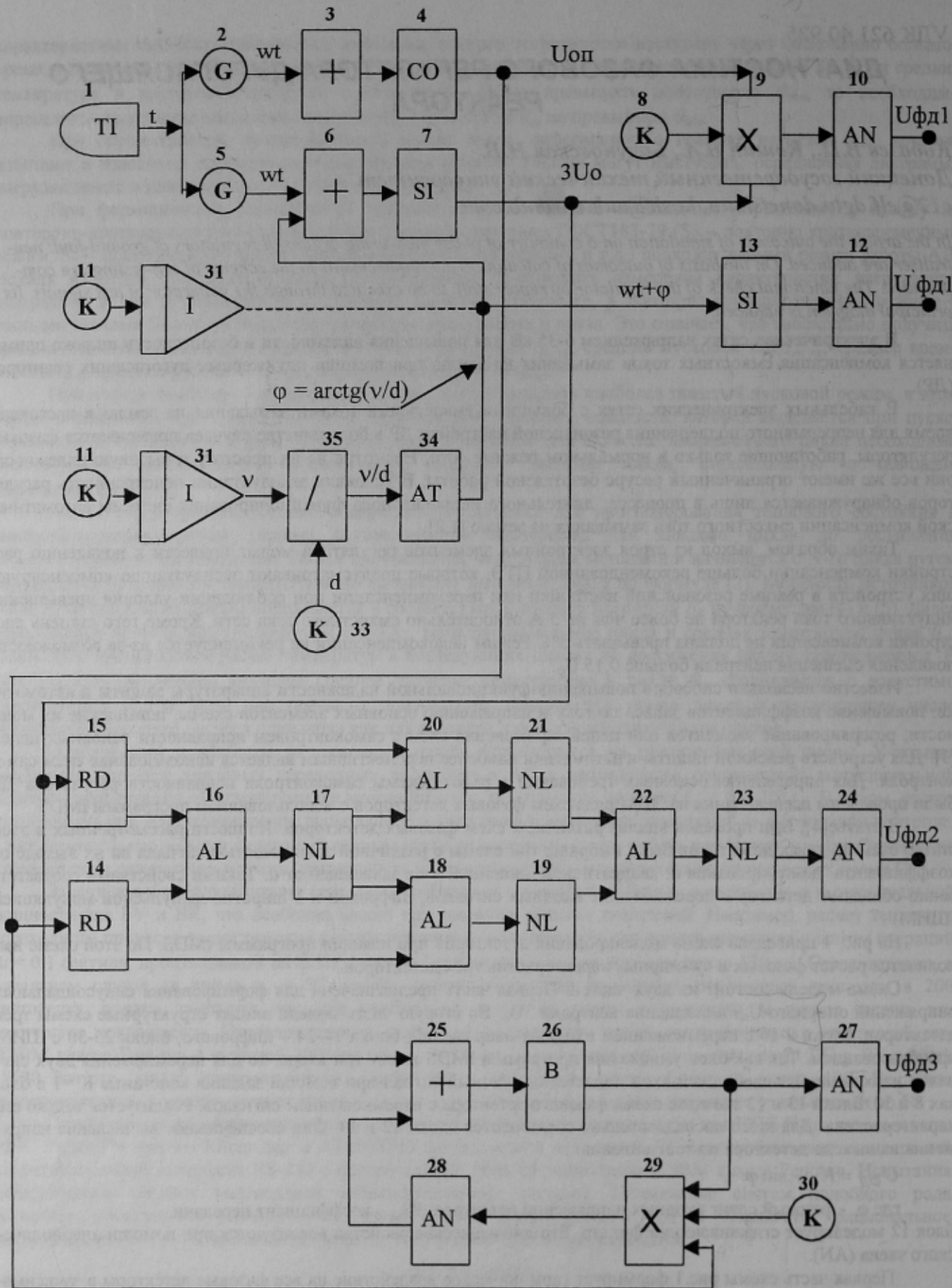


Рисунок 1 – Структурная схема модели фазового детектора

вания предусмотрены два варианта формирования угла φ . Константа K (блок 11) и интегратор (блок 31), соединенные последовательно, обеспечивают линейное изменение от времени угла φ либо расстройки v . Пределы изменения угла устанавливаются от $-\pi/2$ до $\pi/2$. Если подключить выход блока 31 к первому входу делителя (блок 35) и на второй выход подать константу K равную d (блок 33), то на выходе делителя будет формироваться сигнал v/d . При задании блоком (11) величины v значение константы K задается -1 . При расчете характери-

стик интегрирование продолжается до тех пор, пока при некотором значении t расстройка v станет равной $+1$. Блок АТ (34) реализует функцию $\arctg(x)$, поэтому на его выходе сигнал будет определяться соотношением:

$$\varphi = \arctg v / d$$

Следовательно, во втором случае сигнал на выходе детектора $U_{fd}(t)$ будет рассчитываться с учетом нелинейности фазовых характеристик сети и детектора, т.е. выходной сигнал детектора определяется суммарным влиянием двух указанных нелинейностей.

Структурная схема детектора с перемножением состоит из последовательно соединенного умножителя X (9) с апериодическим звеном AN (10). Звено AN выделяет постоянную составляющую результирующего сигнала.

Цифровой детектор (блоки 14+24) выполняет обработку прямоугольных импульсов, формируемых элементами RD 14,15 из положительных полуволн напряжений $3U_0$ и $U_{оп}$. Импульсы поступают на входы трех логических элементов 2И-НЕ (блоки 16+21), составленных из логических блоков И (AL) и НЕ (NL). Звено RD в программе IMDS имеет два порога срабатывания один для отрицательных, а другой для положительных входных сигналов. Порог срабатывания для отрицательных сигналов принят в два раза больше максимально возможной амплитуды напряжений $3U_0$ и $U_{оп}$. В этом случае на выходе звена RD только положительные полуволны напряжений будут при нулевом значении второго порога превращаться в единичные прямоугольные импульсы с длительностью равной длительности полуволны соответствующего напряжения. Четвертый элемент 2И-НЕ (блоки 22,23) установлен на выходе детектора. Он подключен так, что изменение угла φ между напряжениями $3U_0$ и $U_{оп}$ меняет на его выходе соотношение длительностей прямоугольных импульсов и пауз. При $0 < \varphi < 180$ эл. град выходное напряжение детектора меняется в диапазоне $0 \leq U_{fd} \leq 1$. При резонансной настройке ДР угол φ равен 90 эл. град. В этом случае на выходе блока 23 (выход элемента 2И-НЕ) появляются прямоугольные импульсы с одинаковой длительностью импульсов и пауз, что вызывает появление напряжения U_{fd2} равное 0,5. Положительные значения напряжения U_{fd2} могут быть довольно просто преобразованы в разнополярные с необходимым диапазоном изменения. Преобразованное напряжение будет равно нулю при резонансной настройке ДР. Такое преобразование может выполнить схема из сумматора усилителя и отрицательной константы $K = -0.5$.

Структурная схема ШИМ детектора состоит из двух последовательных цепей: сумматор + (25), знаковая функция В (26), внешний фильтр AN (27) с постоянной времени T_2 и умножителя X (29), внутреннего фильтра AN (28) с постоянной времени T_1 . Входы умножителя X подключены к выходам блока В (26) и СО (4), а выход внутреннего фильтра к сумматору (блок 25). ШИМ детектор выполняет широтно-импульсную обработку напряжения смещения нейтрали. В режиме резонансной настройки дугогасящего реактора на выходе блока В присутствуют прямоугольные разнополярные импульсы одинаковой амплитуды и длительности. Эти импульсы сдвинуты на 90 эл. град. По отношению к опорному напряжению, поэтому выходной сигнал цепи обратной связи (блоки 28 и 29) и детектора будет нулевым. При расстройке реактора на выходе внутреннего фильтра в зависимости от ее характера (Некомпенсация или перекомпенсация) будет появляться положительное или отрицательное постоянное напряжение. В сумматоре 25 оно алгебраически складывается с напряжением смещения нейтрали. И результате на выходе блока В при одинаковой амплитуде сигнала изменяется соотношение разнополярных импульсов. В итоге на выходе внешнего фильтра 27 будет положительное или отрицательное напряжение, соответствующее характеру расстройки реактора.

Переходный процесс на ЭВМ рассчитывался при помощи жесткого устойчивого метода интегрирования – неявного метода Эйлера. Интегрирование выполнялось с постоянным шагом 10^{-4} с.

Сравнительный анализ результатов расчета фазовых характеристик детекторов показал, что детектор с перемножением входных сигналов имеет нелинейную зависимость $U_{fd}(\varphi)$, а цифровой и ШИМ детекторы – линейную. Расчеты характеристик детекторов с учетом фазовой характеристики сети были выполнены для минимального и максимального значения коэффициента успокоения сети d соответственно 0,03 и 0,1. Анализ этих фазовых характеристик показал, что детекторы имеют разную зависимость наклона характеристики от d : наклон характеристики ШИМ детектора практически не зависит от d , а цифровой имеет существенно меньшую зависимость от d , чем у детектора с перемножением входных сигналов. На характеристику ШИМ детектора значение d не оказывает влияния при одинаковых постоянных времени его фильтров, равных 0,1 с. Следует также отметить, что приведенный анализ является предварительной (качественной) оценкой влияния d на работу автоматической системы регулирования дугогасящего реактора. Полная оценка может быть получена в результате моделирования с введением в структурную схему рис.1 исполнительного устройства регулятора и объекта управления.

В процессе эксплуатации регулятора возможны отказы различных элементов детектора, неисправности трансформатора напряжения, нарушение целостности входных цепей и т.п. Для анализа работы детекторов в структурных схемах каждого детектора входы поочередно отключались от источников напряжения $U_{оп}$ и $3U_0$, а неисправности и отказы элементов схемы моделировались нулевыми или единичными сигналами на входах соответствующих блоков.

Исследования на ЭВМ выявили следующее. Детектор с перемножением сигналов и ШИМ детектор воспринимают отсутствие одного из входных напряжений, как резонансную настройку ДР. Отказы элементов цифрового детектора вызывали исчезновение на выходе измерительной части (блок 23) прямоугольных им-

пульсов. Моделирование неисправности умножителя ШИМ детектора и других его элементов показало, что на его выходе появляется ложный сигнал о расстройке ДР. Таким образом, для своевременного обнаружения неисправности и блокирования неправильно работающего регулятора его нужно оснащать непрерывно работающей системой самоконтроля.

Многолетний опыт внедрения и обслуживания устройств компенсации и результаты анализа на ЭВМ различных типов фазовых детекторов позволяет сформулировать требования к схеме самоконтроля. Схема должна: осуществлять оценку работы измерительного органа, выявлять наличие на выходе регулятора сигнала о расстройке ДР по истечении заданной выдержки времени, проверять прохождение сигнала с выхода пороговых элементов, формирующих зону нечувствительности регулятора на вход исполнительного органа, блокировать регулятор при неправильном функционировании и осуществлять индикацию вида неисправности, передавать аварийный сигнал дежурному по подстанции или диспетчеру ПЭС, выполнять автоматический возврат схемы самоконтроля в исходное состояние после устранения причины, вызвавшей ее срабатывание.

Диагностика регулятора может осуществляться непрерывно блоком самоконтроля и блокировки или по мере необходимости ремонтным персоналом при помощи генератора тестовых сигналов. Схема генератора приведена на рис. 2.

Генератор состоит из питающего трансформатора, кнопок SB1..SB4 и резисторно-конденсаторного моста R1, C1 R2.,C2. Трансформатор имеет две вторичных обмотки для питания цепей формирования опорного напряжения $U_{оп}$ и напряжения смещения нейтрали $3U_0$. При помощи кнопок формируются сигналы: "Резонанс", "Перекомпенсация", "Недокомпенсация", "Нет $3U_0$ ", "Режим ОЗНЗ".

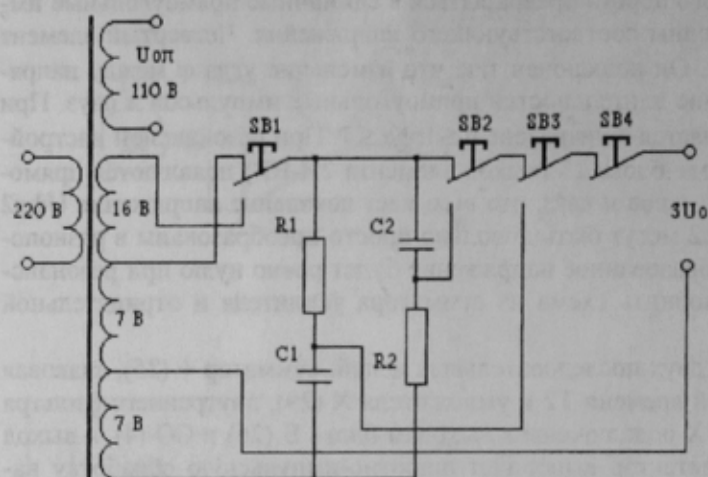


Рисунок 2 – Схема генератора тестовых сигналов

но возможную зону нечувствительности регулятора по условию устойчивости. Удержание нажатой более 2 минут кнопки SB2 или SB3 моделирует режим, когда регулятор не может настроить ДР в резонанс из-за неисправности регулятора или дугогасящий реактор не может обеспечить необходимый ток, при этом реактор находится в положении минимального или максимального тока.

Нажатие на кнопку SB4 создает аварийную ситуацию, когда на выходе регулятора исчезает напряжение смещения нейтрали, т.е. нет $3U_0$. Такие случаи возможны при неисправности трансформатора напряжения или при обрыве в проводах, соединяющих регулятор с этим трансформатором

Последняя проверка выполняется при помощи кнопки SB1. Кнопка подает на вход регулятора напряжение смещения нейтрали равное 30 вольт. При таком напряжении на подстанции срабатывает сигнализация о замыкании на землю, а в регуляторе пороговый элемент блокирует работу регулятора. Блокировка регулятора снимается автоматически после устранения ОЗНЗ.

Формирователь тестовых сигналов может встраиваться в регулятор или выполняться в виде отдельного устройства для контроля работоспособности или настройки нескольких регуляторов.

Применение генератора тестовых сигналов позволит обеспечить своевременное обнаружение и устранение неисправности регулятора. В результате будут исключены длительные расстройки компенсации связанные с его неправильным функционированием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. – М.: Энергия, 1971. – 152 с.
2. Назаров В.В. Режимы нейтрали и автоматизация сетей напряжением 6-35 кВ: Учебное пособие. – Киев: УМК ВО, 1988. – 92 с.
3. Ягудаев В.М., Шишкин Н.Ф., Назаров В.В. Защита от электропоражения в горной промышленности. – М.: Недра, 1982. – 152 с.
4. Обабков В.К., Никифоров А.П. Исследование вопросов точности систем компенсации емкостных токов в симметричных сетях с плунжерным дугогасящим реактором // Промэнергетика, 1996. - №5. - С. 22-30.