

Алексей Иванович ШАЛИН

Новосибирский Электротехнический Институт

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА ЭЛЕМЕНТАХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Резюме. Во многих странах в настоящее время находится в эксплуатации значительное количество устройств релейной защиты (УРЗ) и противоаварийной автоматики энергосистем, выполненных на современной полупроводниковой и микроселектронной элементной базе. Их высокая сложность по сравнению с традиционными реле потребовала большого внимания к мероприятиям по повышению надёжности. Весьма эффективен, например, оперативный контроль исправности (ОКИ), который выполняется с помощью встроенных диагностических устройств (ДУ) и выявляет внезапные отказы УРЗ. ОКИ в сочетании с присущей УРЗ, а также искусственно введённой избыточностью, позволяет существенно повысить надёжность релейной защиты и противоаварийной автоматики. Наилучшие результаты даёт ОКИ, сочетающий непрерывный контроль исправности с тестовыми проверками. В работе описаны два таких ДУ, выполненных по методу комбинированной контрольной точки. При этом контролируется не каждый контрольный сигнал сам по себе, а вначале составляются благоприятные для контроля исправности УРЗ комбинации контрольных сигналов и результирующий сигнал (сигнал комбинированной контрольной точки) контролируется. Описанные ДУ защищены авторскими свидетельствами на изобретения и прошли успешную опытную эксплуатацию.

В последнее время в ряде стран появилось в эксплуатации значительное количество устройств релейной защиты (УРЗ) и противоаварийной автоматики энергосистем (РАЗ), выполненных на современной полупроводниковой и микроселектронной элементной базе. Их высокая сложность по сравнению с традиционными реле вызвала большое внимание к мероприятиям по повышению надёжности.

Меры, направленные на повышение надёжности комплектующих элементов УРЗ, обычно не дают требуемого эффекта, т.к. сложность вновь разрабатываемых защит возрастает в целом быстрее, чем растёт надёжность элементов. Поэтому для повышения надёжности УРЗ приходится применять дополнительные мероприятия, главным из которых является оперативный контроль исправности релейной защиты (ОКИ) [1-6]. ОКИ выполняется с помощью встроенных диагностических устройств (ДУ) и направлен в первую очередь на своевременное выявление мгновенных отказов комплектующих элементов УРЗ, которые составляют основную долю в общем числе отказов [6].

В соответствии с [7] УРЗ имеет следующие основные режимы работы: режим дежурства - при отсутствии повреждений в электроэнергетической системе, и режим тревоги - при возникновении повреждений на силовом оборудовании. В режиме дежурства и при повреждениях, не входящих в зону действия защиты, она срабатывать не должна, а при повреждении на защищаемом объекте (30) должна срабатывать в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями. Принято [7] выделять следующие основные виды отказов защиты в функционировании:

- ложные срабатывания в режиме дежурства, характеризуемые параметром потока ложных срабатываний $\omega'_{13}(t)$;
- излишние срабатывания в режиме тревоги (при внешних коротких замыканиях (КЗ), включении в работу генерирующих источников и т.д.), характеризуемые параметром потока излишних срабатываний $\omega'_{из}(t)$;
- отказы в срабатывании при повреждениях на защищаемом объекте, характеризуемые параметром потока отказов в срабатывании $\omega'_{03}(t)$.

Применение ДУ даёт положительный эффект, если при этом становятся более разрежёнными потоками отказов в функционировании защиты, т.е. если выполняется условие:

$$\omega_{13}(t) = W_1 [\omega'_{13}(t)] < \omega'_{13}(t), \quad (1)$$

или

$$\omega_{из}(t) = W_{из} [\omega'_{из}(t)] < \omega'_{из}(t), \quad (2)$$

или

$$\omega_{03}(t) = W_0 [\omega'_{03}(t)] < \omega'_{03}(t), \quad (3)$$

где $\omega_{13}(t)$, $\omega_{из}(t)$, $\omega_{03}(t)$ - соответствующие параметры потоков отказов при начале диагностических устройств; W_1 , $W_{из}$, W_0 - операторы, характеризующие процесс функционирования ДУ в режиме дежурства защиты, при внешних КЗ и внутренних КЗ соответственно.

Вид операторов W_1 , $W_{из}$, W_0 связан не только с принципом действия и конструкцией ДУ, но и со схемой, конструкцией и режимами работы контролируемой защиты, типом и режимами работы защищаемого объекта.

Важным фактором, способствующим выполнению условий (1), (2), (3), является органично присущая системе релейной защиты, а также искусственно введённая избыточность. Системы релейной защиты и противоаварийной автоматики энергосистем имеют следующие наиболее существенные виды избыточности: временную, схемную, функциональную и информационную.

Временная избыточность имеет различные аспекты.

Если, например, защита находится в режиме дежурства и в ней появилась неисправность, но опасная с точки зрения ложных срабатываний, но способная привести к отказу в функционировании в режимах внешних или внутренних КЗ, то между моментом появления неисправности ($t_{н}$ на рис.1) и моментами следующих за этим внешнего КЗ t_1 и внутреннего КЗ t_2 существуют "времена избыточности" $t_{н1}$ и $t_{н2}$. Величинами $t_{н1}$ и $t_{н2}$ являются случайными и варьируются в широких пределах.

Если за соответствующее время $t_{н1}$ удастся провести ремонт защиты и заменить неисправный сменный модуль на исправный, то отказа в функционировании не произойдёт.

Предположим, что в защите установлено тестовое диагностическое устройство с детерминированным периодом проверок, равным $T_{пер}$. Длительность проверки пренебрежимо мала. Если в процессе проверки выявлена неисправность, защита выводится из действия и её отказ в функционировании предотвращается.

В произвольный момент времени в защите возникает неисправность, способная привести к её излишнему срабатыванию. Требуется определить вероятность того, что эта неисправность будет выявлена и устранена до момента возникновения внешнего КЗ.

Принимая поток внешних КЗ простейшим, и учитывая, что время t_0 от момента возникновения неисправности до тестовой проверки равномерно распределено в диапазоне от нуля до $T_{пер}$, получаем следующее выражение для определения искомой вероятности:

$$P_1 = 1 - \int_0^{T_{пер}} P_{КЗ} f(t) dt = 1 - \int_0^{T_{пер}} (1 - e^{-\omega_1 t}) \frac{1}{T_{пер}} dt, \quad (4)$$

Где $P_{КЗ}$ - вероятность возникновения КЗ за время t , $f(t)$ - плотность вероятности распределения времени t_0 .

После соответствующих преобразований 4, получаем:

$$P_1 = \frac{1}{T_{пер} \omega_1} \left[1 - e^{-\omega_1 T_{пер}} \right] \quad (5)$$

Рассмотрим ещё один пример. Предположим, что неисправность в защите практически мгновенно выявляется диагностическим устройством, а затем приходится ждать обслуживания, причём время обслуживания равномерно распределено в пределах от t_1 до t_2 . Требуется определить вероятность того, что обслуживание произойдёт до момента возникновения КЗ и отказ в функционировании защиты будет предотвращён.

Искомая вероятность, определённая аналогично вышесказанному, равна:

$$P_2 = \frac{e^{-\omega_1 t_1}}{(t_2 - t_1) \omega_1} \left[1 - e^{-(t_2 - t_1) \omega_1} \right] \quad (6)$$

Рассчитанные по (5), (6) вероятности P_1 , P_2 определяют частные случаи реализации оператора $W_{к}$ при различных способах диагностирования и обслуживания УРЗ. Выражение (2) в рассматриваемом случае примет вид:

$$\omega_{кв}(t) = (1 - P_1) \omega'_{кв}(t) \quad (7)$$

где P_1 - определённая в соответствии с описанным выше вероятность.

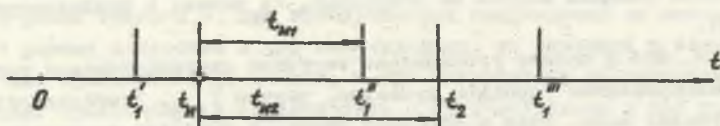


Рис.1 Временная избыточность режимов внешних и внутренних КЗ; $t'_1, t''_1, t'_2, t''_2, t'_3, t''_3$ - моменты внешних КЗ; t_2 - момент внутреннего КЗ; t_H - момент возникновения неисправности; t_{H1}, t_{H2} - времена избыточности

Fig.1 Temporal redundancy of the external and internal short circuits; $t'_1, t''_1, t'_2, t''_2, t'_3, t''_3$ - moments of the external short circuits; t_2 - moment of the internal short circuit, t_H - moment of the fault formation, t_{H1}, t_{H2} - times of the redundancy

Вычисленные в соответствии с (5), (6) вероятности могут относиться не только к излишним срабатываниям УРЗ, но и к отказам в срабатывании при повреждении на защищаемом объекте. При этом под ω_1 следует понимать параметр потока повреждений λ_0 .

Несколько отличен механизм проявления временной избыточности в режиме дежурства (см. рис. 2а, б). На рис. 2 показан суточный график нагрузки защищаемого объекта $S_H = \int(t)$. Если в УРЗ появилась неисправность, которая проявляется при $S_H > S_{гр}$, где $S_{гр}$ - граничный параметр проявления рассматриваемой неисправности, то может возникнуть "время избыточности" t_H , в течение которого возникающая неисправность, опасная с точки зрения ложных срабатываний не проявляется. Если за это время защита будет заблокирована (будет запрещено её действие на отключение λ_0), то ложного срабатывания не произойдёт.

Под граничным параметром $S_{гр}$ проявления рассматриваемой неисправности будем понимать, например, такую минимальную нагрузку λ_0 , при которой появившаяся неисправность приведёт к ложному срабатыванию узла, блока, реле или защиты в целом. Исследования показали, что для различных неисправностей граничный параметр $S_{гр}$ лежит в пределах $0 << S_{гр} \leq \infty$. В качестве $S_{гр}$ кроме мощности нагрузки защищаемого объекта могут рассматриваться ток, напряжение и другие параметры, изменение которых может привести к выявлению или невыявлению рассматриваемой неисправности.

Время t_H по рис. 2а обычно бывает небольшим и для получения положительного эффекта от диагностики целесообразно обеспечить автоматическое блокирование защиты в случае появления в ней повреждений, опасных с точки зрения ложных срабатываний. В этом случае вероятность предотвращения ложного срабатывания УРЗ за счёт одновременного выявления диагностическими устройствами соответствующих повреждений определится следующим образом,

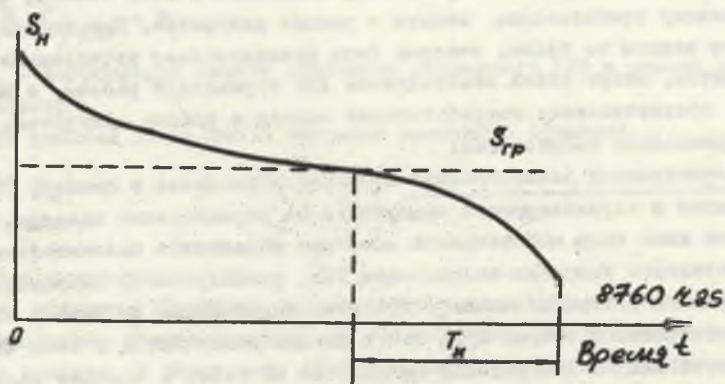
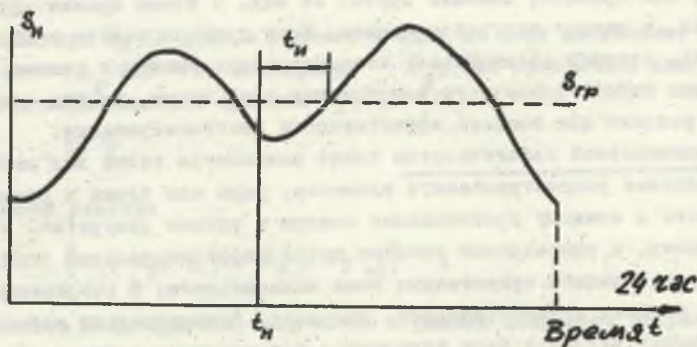


Рис.2а) Временная избыточность в режиме дежурства
Fig.2a) Temporal redundancy in a duty mode

Рис.2 б) Определение временной избыточности
Fig.2b) Determination in the temporal redundancy

На рис.2б показан график $S_N = f(t)$ "по продолжительности". Время T_H , в течение которого в пределах года рассматриваемая неисправность УРЗ не проявляется, характеризует временную избыточность. Вероятность P_3 того, что при наличии автоматической блокировки защиты от ДУ, выявляющего рассматриваемую неисправность, удастся избежать ложного срабатывания ЗО, равна $P_3 = T_H/8760$. Вероятность P_3 также позволяет в соответствии с 7 определить частный случай реализации оператора W_1 из (1).

Степная избыточность чаще используется в релейной защите и противоаварийной автоматике. Резервирование отдельных элементов, узлов, блоков системы РЗА широко применяется как для повышения надежности срабатывания защиты, так и для повышения надежности несрабатывания.

Следует иметь в виду, что введение схемной избыточности, повышая один вид надёжности, как правило, снижает другой её вид. С точки зрения эффективности диагностики, в режиме дежурства защиты. Если удаётся ввести в РЗА такую избыточность, которая обеспечивает несрабатывание защиты в режиме дежурства при появлении любого единичного повреждения в её схеме, то тем самым обеспечиваются условия для высокой эффективности диагностирования.

Под функциональной избыточностью здесь понимается такой вид избыточности, когда повреждение рассматриваемого элемента, узла или блока в принципе не может привести к ложному срабатыванию защиты в режиме дежурства. Это относится, например, к повреждению токовых цепей дифференциальной защиты, если ток срабатывания защиты существенно выше номинального. В современных дифференциальных защитах трансформаторов, например, функционально избыточными в режиме дежурства являются блок торможения в переходных режимах, блок торможения при внешних КЗ и т.д. Повреждения, возникшие в этих блоках, не приводят к ложному срабатыванию защиты в режиме дежурства. При изменении режима работы защиты те блоки, которые были функционально избыточными в режиме дежурства, могут стать необходимыми для нормальной работы, а некоторые из блоков, обеспечивающих несрабатывание защиты в режиме дежурства, могут стать функционально избыточными.

Под информационной избыточностью понимается введение в систему РЗА взаимодублирующей и корректирующей информации по параллельным каналам.

Описанные выше виды избыточности помогают обеспечить положительный эффект от оперативного контроля исправности УРЗ, реализуемого, например, с помощью встроенных диагностических устройств, выполненных по методу комбинированной контрольной точки. Суть этого метода заключается в том, что контролируется не каждый контрольный сигнал сам по себе, а вначале составляется благоприятные для контроля исправности комбинации контрольных сигналов и результирующий сигнал (сигнал комбинированной контрольной точки) контролируется [8-12]. Такой подход позволяет существенно упростить схему и конструкцию ДУ, но в некоторых случаях может быть связан с потерей определённого количества информации, в первую очередь относящейся к постепенным, параметрическим отказам, что вполне допустимо в рамках ОКИ [6]. В других случаях при таком подходе удаётся избавиться от ненужной, посторонней информации, а выделить необходимую информацию [12].

На рис.3 приведена схема первого из рассматриваемых ДУ [8,10]. Оно предназначено для контроля исправности логической части РЗА, а также для контроля таких блоков аналоговой части, которые "запускаются" лишь в режиме тревоги, а в режиме дежурства имеют контрольные сигналы в виде неизменяемых по величине напряжений постоянного тока.

На входы ДУ поступают контрольные сигналы которые в совокупности описываются дополненным вектором признаков \bar{X}_* [13]:

$$\bar{X}_* = \{X_1, X_2, \dots, X_N, X_{N+1}\},$$

(8)

где X_1, X_2, \dots, X_N - контрольные сигналы, снимаемые с N контрольных точек УРЗ; $X_{N+1} = 1$.

По виду вектора \bar{X}_* ДУ должно поставить один из двух диагнозов: "УРЗ исправно" - A_p или "УРЗ неисправно" - A_n . Для постановки диагноза формируется дискриминантная функция $f(\bar{X}_*)$ [13]:

$$f(\bar{X}_*) = \bar{K} \cdot \bar{X}_* \quad (9)$$

где K - весовой вектор:

$$\bar{K} = \{K_1, K_2, \dots, K_N, K_{N+1}\} \quad (10)$$

Весовой вектор K выбирается так, чтобы в режиме дежурства исправной защиты выполнялось равенство:

$$\bar{K} \bar{X}_{* \text{ баз}} = 0, \quad (11)$$

где $\bar{X}_{* \text{ баз}}$ - дополненный вектор признаков исправного УРЗ в режиме дежурства (базовый вектор).

Решающее условие ДУ по рис.3 выглядит следующим образом:

$$\text{при } \left. \begin{array}{l} |\bar{K} \bar{X}_*| > \varepsilon \\ \text{иначе} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \bar{X}_* \in A_n, \\ \bar{X}_* \in A_p, \end{array} \quad (12)$$

где ε - порог чувствительности.

Решающее условие (12) может нарушаться в режиме тревоги исправного УРЗ, поэтому необходимо ввести задержку на срабатывание ДУ, превышающую возможное время тревоги. В результате получаем следующее решающее правило:

$$C = F \left\{ \left| \sum X_i \psi_i + \psi_{\text{комп}} \right| > \psi_{\text{гр}} \right\} D^t \quad (13)$$

где $\sum K_i \psi_i + \psi_{\text{комп}} = f(\bar{X}_*) = \bar{K} \bar{X}_*$ - значение дискриминантной функции по (9). Дополненный вектор признаков $\bar{X}_*(8)$ включает в себя в виде элементов X_1, X_2, \dots, X_N напряжения на контрольных точках контролируемого модуля УРЗ $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N$; первые N элементов весового вектора $\bar{K} (K_1, K_2, \dots, K_N)$ реализуются резисторами $R'_1 - R'_N$, а $N+1$ -ый элемент, обеспечивающий выполнение условия (II), реализуется неизменным $\psi_{\text{комп}}$, снимаемым с резисторов R_4, R_{16} . Напряжение $\psi_{\text{гр}}$ представляет собой реализацию порога чувствительности ε . Выражение $F\{\dots\}$ равно единице, если выполняется условие в скобках и равно нулю в противном случае. Оператор временной задержки D^t обеспечивает задержку в срабатывании ДУ на время t , равное например, 5-10 секундам для отстройки от режима тревоги контролируемого УРЗ. Сигнал о неисправности контролируемого модуля УРЗ в соответствии с (13) выдается (C=1) в том случае, если выражение $F\{\dots\}$ равно единице в течение времени не меньше времени задержки t .

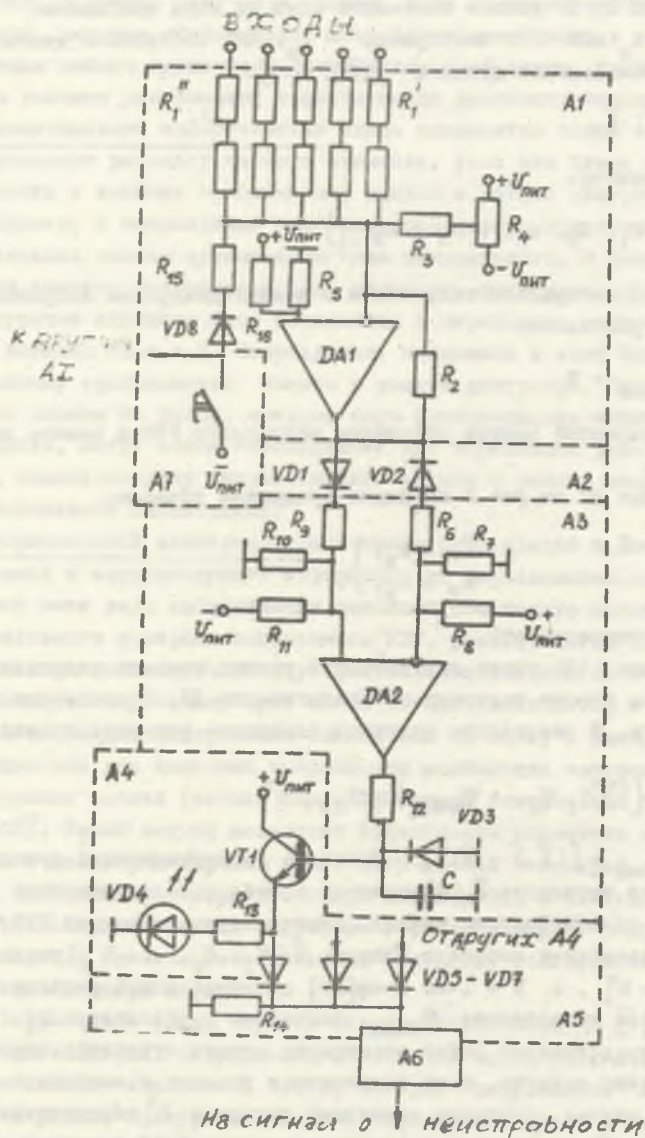


Рис.3 Схема диагностического устройства
Fig.3 Diagnostic device circuit

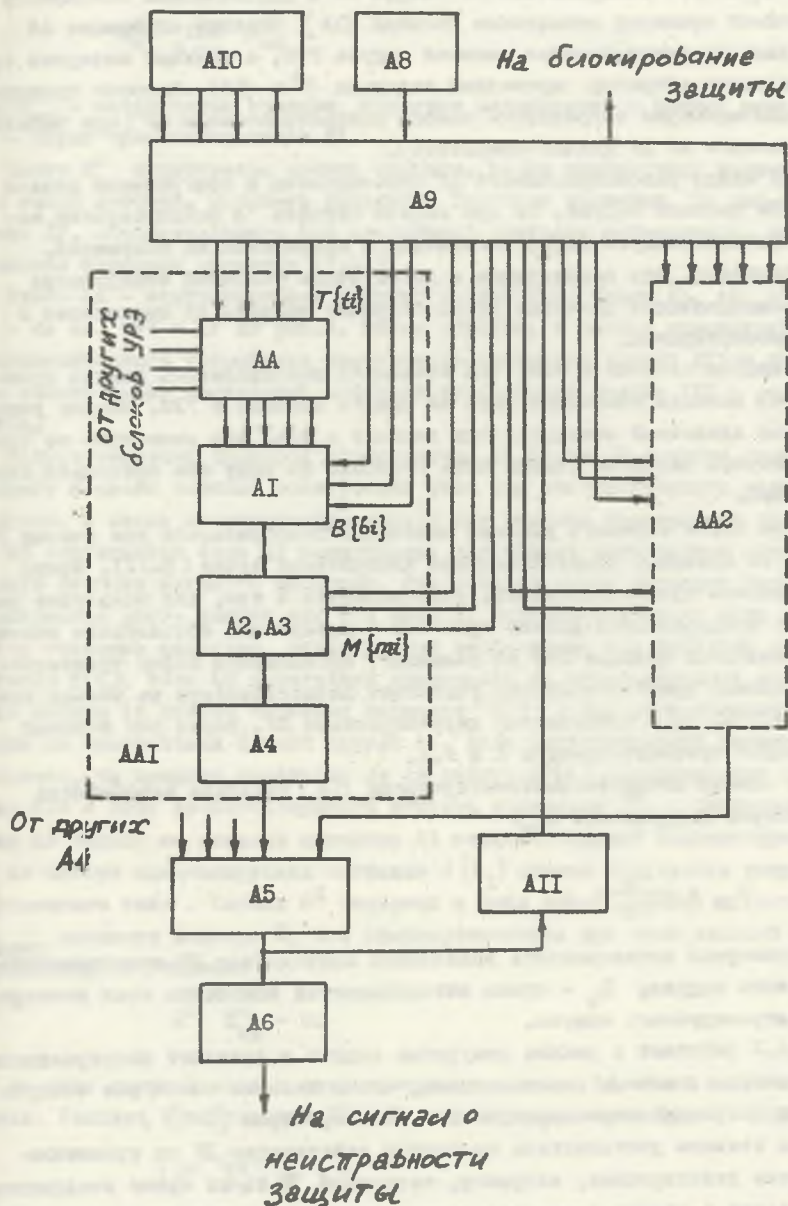


Рис.4 Схема диагностического устройства
 Fig.4 Diagnostic device circuit

Входной сумматор А1 на рис.3 реализует на своём выходе дискриминантную функцию $f(\bar{X}_k)$ по (9), выпрямительная сборка А2 и двухходовый компаратор А3 обеспечивают проверку выполнения условий (12). Элемент индикации А4 позволяет выявить повредившийся сменный модуль УРЗ, а элемент выдержки времени А6 реализует оператор временной задержки D^2 в (13). Элемент проверки А7 служит для проверки исправности самого рассматриваемого ДУ (при нажатии кнопки в элементе А7 ДУ должно сработать).

Поскольку входы рассматриваемого ДУ присоединены к контрольным точкам лишь на одном сменном модуле, то при выдаче сигнала о неисправности защиты, повреждённый модуль легко выявляется и заменяется на исправный.

В [14] показано, что необходимым и достаточным условием обнаружения одиночной неисправности является удовлетворение условия её проявления и условия транспортировки.

Первое условие состоит в том, что возникшая неисправность должна проявляться, т.е. вызвать изменение хотя бы одного сигнала в УРЗ. Второе условие выявления одиночной неисправности состоит в том, что вызванные её проявлением значения сигналов должны быть переданы на одну или несколько контрольных точек.

В качестве более широкого условия выявления неисправности при помощи ДУ, выполненных по принципу комбинированной контрольной точки (8-12), можно выдвинуть условие чувствительности, заключающееся в том, что появление рассматриваемой неисправности должно привести к увеличению абсолютного значения дискриминантной функции (9) на величину, превышающую порог чувствительности ϵ . Условие чувствительности учитывает характеристики не только контролируемого УРЗ, но и собственные характеристики ДУ, такие как весовой вектор K , порог чувствительности ϵ и т.д.

Одной из оценок качества диагностирования (14) является коэффициент полноты проверки исправности $K_{\text{ип}}$:

$$K_{\text{ип}} = \frac{\lambda_k}{\lambda_0},$$

где λ_k — суммарная интенсивность выявляемых посредством ДУ неисправностей контролируемого модуля; λ_0 — сумма интенсивностей появления всех неисправностей контролируемого модуля.

ДУ по рис.3 работает в режиме дежурства защиты и выявляет неисправности через 5-10 секунд после их возникновения, что в десятки тысяч раз быстрее по сравнению с традиционным периодом тестовых проверок [1-3]. Это является большим достоинством постоянно действующих ДУ по сравнению с периодически действующими, например, тестовыми. В то же время коэффициент полноты проверок в режиме дежурства даже при идеальных характеристиках ДУ по рис.3 может быть существенно ниже единицы, поскольку для многих неисправностей стандартных схем УРЗ в режиме дежурства не выполняются условия проявления неисправности и её транспортировки. Контролепригодность схем УРЗ с рассматриваемой точки зрения можно охарактеризовать коэффициентом

K_x^K контролепригодности в режиме дежурства:

$$K_x^K = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} K_{\text{шт}}^K,$$

где $K_{\text{шт}}^K$ - коэффициент полноты проверки исправности в режиме дежурства; ε - порог чувствительности ДУ.

Часто K_x^K существенно меньше единицы. Тогда необходимой полноты проверки можно достичь, например используя тестовые проверки. На рис.4 приведена схема ДУ, обеспечивающего как постоянный контроль исправности, так и периодические тестовые проверки [9,11].

Здесь АА - контролируемый сменный модуль УРЗ. Блоки А1, А2, А3, А4, А5, А6 - те же, что в ДУ по рис.3. Таким образом, в состав рассматриваемого диагностического устройства практически полностью входит ДУ по рис.3 которое обеспечивает постоянный контроль исправности модуля УРЗ в режиме дежурства.

Запуск тестовых проверок производится от блока А8 запуска проверки, содержащего в своём составе электронные часы для автоматического периодического запуска, а также электрическую кнопку для запуска проверки от руки. От блока А8 запускается блок А9 коммутации, содержащий электронную схему, выполняющую функции часового индикатора. При этом на время проверки блокируется проверяемая часть защиты или вся защита. Запускается также блок А10 - генератор тестовых сигналов, генерирующий необходимые для тестовой проверки сигналы $T\{t_j\}$. Блок А9 поочерёдно пропускает на контролируемый сменный модуль защиты АА наборы тестовых сигналов $T^K\{t_j\}$. При этом изменяются напряжения на контрольных точках модуля АА. Если контролируемый сменный модуль исправен, то каждому выданному на АА набору $T^K\{t_j\}$ соответствует своя реакция УРЗ в виде соответствующего вектора признаков \bar{Y}_*^K . Одновременно с этим А9 выдаёт на входной сумматор А1 соответствующий компенсирующий сигнал V^K из набора компенсирующих сигналов $V\{b_1\}$ обычно это просто напряжение постоянного тока. Сигнал V^K содержит в себе такую добавку к составляющей $V_{\text{комп}}$ весового вектора \bar{K} , что сформировавшийся при этом весовой вектор \bar{K}^K удовлетворяет условию:

$$\bar{K}^K \bar{Y}_*^K = 0. \quad (14)$$

За счёт погрешностей и разрегулировки условие 14 может выполняться не точно. Условие срабатывания ДУ в К-ом режиме проверки будет следующим:

$$\|\bar{K}^K \bar{Y}_*^K\| > \varepsilon^K, \quad (15)$$

где \bar{Y}_*^K - реальный вектор признаков, характеризующий контролируемый сменный модуль УРЗ на К-ом этапе проверки; ε^K - порог чувствительности ДУ на К-ом этапе проверки, сформированный при помощи выдаваемого с блока А9 сигнала наименьшей чувствительности V^K из набора $M\{b_1\}$.

Если диагностируемый сменный модуль УРЗ неисправен, то в соответствии с (15) срабатывает блок А3 и через А4, А5 выдает сигнал на двустабильный триггерный элемент А11, который останавливает блок А9 и выдает сигнал о неисправности защиты. Поврежденный сменный модуль выявляется по свечению светодиода в блоке А4.

После проверки исправности сменного модуля УРЗ, расположенного на первой плате АА1, проводится проверка платы АА2 и т.д. Если это возможно, целесообразно проверку нескольких сменных модулей проводить одновременно, это уменьшит время проверки и, вместо с этим, время выведения проверяемой защиты из работы.

Описанные выше диагностические устройства прошли лабораторные исследования и успешную опытную эксплуатацию они защищены авторскими свидетельствами на изобретения. На основе реферата можно определить следующие выводы:

1. Одним из наиболее эффективных методов повышения надёжности сложных устройств релейной защиты на элементах вычислительной техники является оперативный контроль исправности посредством встроенных диагностических устройств.

2. Необходимым условием, обеспечивающим высокую эффективность встроенных ДУ, является разумное использование присущей релейной защите и искусственно введённой избыточности, в первую в плане неабатывания в режиме дежурства.

3. Метод комбинированной контрольной точки позволяет упростить оперативный контроль исправности релейной защиты и автоматики энергосистем в плане внезапных отказов.

4. Разработанные в рамках метода комбинированной контрольной точки диагностические устройства позволяют контролировать исправность как логической части, так и некоторых блоков аналоговой части релейной защиты и автоматики энергосистем.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кимура, Окамура, Андоу, Митани: Устройства автоматического контроля, встроенный в релейную защиту. Релейная защита и автоматика. Переводы и обзоры докладов международной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ-79-80). Москва. Энергоатомиздат, 1982 с.109-116.
- [2] Ягуши, Оура, Тсубои, Андоу: Опыт эксплуатации и оценка надёжности систем защиты со встроенными средствами автоматического тестирования и контроля. Влияние электроустановок на окружающую среду. Релейная защита. Переводы докладов международной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ-84). Москва. Энергоатомиздат, 1986. с. 177-185.
- [3] Vngrad, H.: Protection of highenergy networks and stations By new protection devices with supervising, automatic testing. SPSO-81. Sekucity of power system operation. Group II - Systems monitoring, protection and control. Wroclaw 1981. s.330-334.
- [4] Schalín, A.: Probleme der Echöhung der Zuverlässigkeit der Relaischutzinrichtungen im Grundlagenforschungsstadium. Elektrik, 1979. nr 4, s.194-196.

- [5] Шалин А.И., Сарапулов Г.А.: Повышение надёжности функционирования защит на базе микроэлектронных элементов Międzynarodowe sympozjum - Systemy elektroenergetyczne: eksploatacja i rozwój. Vol.II Wrocław 1985. s.279-282.
- [6] Лысцова Л.А., Поляков В.Е. Федотов В.П. Оперативный контроль устройств релейной защиты электрических систем. Электричество, 1986. № 2. с. 50-55.
- [7] Федосеев А.М.: Релейная защита электро-энергетических систем. Релейная защита сетей. Москва. Энергоатомиздат. 1984. с.520
- [8] А.с. 1001279 (СССР). Устройство для дифференциальной защиты и узел контроля исправности съёмных кассет защиты. А.И. Шалин, Г.А. Сарапулов, С.М. Моисеев. БИ, 1983, № 8
- [9] А.с. 1046718 (СССР). Устройство для контроля исправности релейной защиты (его варианты). А.И.Шалин, А.А. Шатохин, С.М.Моисеев. БИ, 1983, № 37
- [10] Шалин А.И., Сарапулов Г.А. Устройство постоянного контроля исправности полупроводниковых реле защиты. Изв. вузов. Электромеханика, 1984, № 2, с. 106-109
- [11] Шалин А.И. Сарапулов Г.А. Диагностическое устройство для полупроводниковой релейной защиты. Изв. вузов. Энергетика, 1988 № 1
- [12] Шалин А.И. Сарапулов Г.А.: О выборе принципов исполнения встроенных устройств диагностики релейной защиты. Изв. вузов. Электромеханика, 1988, № 5, с. 83-88
- [13] Биргер И.А.: Техническая диагностика. Москва, "Машиностроение", 1978, с. 240
- [14] Под ред. П.П. Царкоменко: Москва, "Энергия", 1976, с.464

Recenzent: prof. dr hab. inż. Jan Popczyk

Wpłynęło do Redakcji dnia 14 listopada 1988 r.

METODY PODWYŻSZANIA NIEZAWODNOŚCI ZŁOŻONYCH URZĄDZEŃ AUTOMATYKI ZABEZPIECZENIOWEJ OPARTYCH NA TECHNICIE CYFROWEJ

S t r e s z c z e n i e

W wielu krajach w obecnym czasie w eksploatacji znajduje się znaczna liczba urządzeń automatyki zabezpieczeniowej (UAZ) pracujących w automatyce zabezpieczeniowej systemów energetycznych bazujących na układach półprzewodnikowych i układach scalonych. Wysoka złożoność tych układów w porównaniu z tradycyjnym przekaźnikiem zwróciła uwagę na kwestię podwyższenia ich niezawodności. Bardzo efektywny, na przykład, jest system operatywnej kontroli uszkodzeń (SOKU), który zbudowany jest na podstawie wewnętrznych układów diagnozujących (UD) symulujących uszkodzenie UAZ. SOKU w połączeniu z danym UAZ pozwala rzeczywiście zwiększyć niezawodność automatyki zabezpieczeniowej i automatyki łączącej ciągłą kontrolę uszkodzeń z testami prób. W pracy opisano dwa układy diagnozujące działające wg metody kombinacji punktu kontrolnego.

Przy czym nie każdy sygnał kontrolujący sprawdza sam siebie, a głównie tworzy się, efektywne dla kontroli uszkodzeń UAZ, kombinacje sygnałów kontrolnych, przez co sygnał wynikowy (sygnał kombinacji punktu kontrolnego) ulega kontroli. Opisane układy są chronione świadectwami autorskimi i przeszły pomyślnie etap próbnej eksploatacji.

METHODS OF INCREASING THE RELIABILITY OF COMPLEX DEVICES OF ANTI-FAILURE AUTOMATICS BASED ON DIGITAL-CIRCUIT ENGINEERING

S u m m a r y

In many countries, many anti-failure automatics devices (AFAD) working in the power systems based on semiconductors and integrated elements are in use nowadays. The high complexity of these systems (devices) as compared with a traditional relay has drawn attention to the question of increasing their reliability. For example, the failure control system (FCS) constructed on the base of built-in diagnostic circuits (DC) that simulate the failures of AFAD is very effective. The FCS in combination with a given AFAD really allows to increase reliability of the anti-failure automatics and emergency systems automatics. The best results have been obtained by using the FCS system which combines continuous control of failures with test checking. Two diagnostic circuits operating according to the checking point combination method have been described in the paper. In this case not every control signal is being checked by itself failure control system FCS are formed and the output signal (checking point combination signal) is controlled in this way. The above described system have passed service tests successfully and all rights for them are reserved.