

Алексей Иванович ШАЛИН
НЭТИ - Новосибирск

ПОСТРОЕНИЕ НАДЕЖНЫХ СХЕМ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ ЭНЕРГОСИСТЕМ НА СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

Резюме. Описаны экономические показатели, оценивающие надёжность схем релейной защиты и противоаварийной автоматики энергосистем. Эти показатели учитывают процесс отказов и восстановлений исправности, особенности системы защиты и автоматики, а также обслуживаемого ими силового объекта и окружающей части электроэнергетической системы. Соответствующие преобразования позволяют получить простой интегральный показатель, в котором свойства системы защиты и автоматики учтены параметрами потоков отказов в выполнении соответствующих функций, а остальные факторы - стоимостными коэффициентами. Предлагается ряд методов обеспечения необходимой надёжности системы, наиболее общим из которых является построение системы защиты и автоматики, адаптирующейся по условиям надёжности, содержащей элементы самодиагностики и различные виды избыточности. Критерием оптимальности на каждом этапе адаптации является минимизация математического ожидания эффекта от ненадёжности, оцениваемого полученным интегральным показателем.

В настоящее время в различных странах мира эксплуатируется значительное количество устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики энергосистем (РЗА), выполненных на современной элементной базе: микросхемах различной степени интеграции, микрокомпьютерах и т. д. При этом иногда возникают значительные трудности в обеспечении необходимой надёжности такого рода устройств.

В настоящей работе рассматривается ряд методов построения надёжных схем РЗА в первую очередь на аналоговых и цифровых микросхемах с применением других элементов полупроводниковой техники, однако, некоторые аспекты исследуемой проблемы относятся и к системам, использующим компьютеры.

Для того, чтобы оптимизировать схемы РЗА по надёжности, необходимо иметь достаточно простые и корректные методы оценки их показателей надёжности. К таким относится метод, описанный в [1], и относящийся в первую очередь к релейной защите, в соответствии с которым математическое

ожидание эффекта от ненадёжности РЗА МН] определяется следующим способом:

$$MН] = K_1 \lambda_{\delta} + \sum_{j=2}^n K_j q_j, \quad (1)$$

где $\lambda_{\delta} = \omega_{\delta}$ - интенсивность (параметр потока) ложных срабатываний защиты в режиме дежурства; q_j - коэффициент неготовности устройства РЗА к выполнению своих функций в j -ом режиме тревоги; n - общее количество режимов тревоги; K_1, K_j - стоимостные коэффициенты, учитывающие степень важности выполнения РЗА соответствующих функций.

Стоимостные коэффициенты K_1, K_j , определяемые, например, в соответствии с [2-4], предназначены для оценки эффекта от различных непопраций, направленных на повышение надёжности РЗА.

В [1] описана инженерная методика расчёта коэффициентов неготовности q_j для различных режимов работы устройства релейной защиты (УРЗ). В соответствии с этой методикой в УРЗ выделяются отдельные каналы срабатывания или несрабатывания, каждый из которых соответствует своему виду заявок на срабатывание или несрабатывание УРЗ соответственно. При отсутствии резервирования внутри канала коэффициент неготовности q_j j -го канала УРЗ в (1) определяется следующим образом:

$$q_j = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (2)$$

где q_i - коэффициент неготовности i -го элемента, входящего в состав j -го канала, n - общее количество элементов в j -ом канале.

В свою очередь

$$q_i = \frac{\lambda_{ij}}{\delta_j (\lambda_{ij} + \mu_j)}, \quad (3)$$

где $\lambda_{ij} = \omega_{ij}$ - интенсивность (параметр потока) повреждений i -го элемента j -го канала УРЗ, способных привести к отказу РЗА в j -ом режиме тревоги (например, при внешних или внутренних коротких замыканиях (КЗ)); μ_j - интенсивность восстановления исправности УРЗ при повреждении рассматриваемого вида; δ_j - коэффициент, учитывающий неслучайность регулярных контролей и нестационарность потока требований j -го вида, определяемый в соответствии с [1].

Необходимая надёжность РЗА может быть обеспечена выбором надёжных комплектующих элементов, введением в схему соответствующих видов

избыточности и диагностики [5].

Для тех комплектующих элементов РЗА, повреждения которых выявляются посредством диагностического устройства (ДУ), можно приближённо записать:

$$\mu_j = \mu_{ду} + \mu_{план} + \mu_B = \frac{8760}{T_{\delta j}} + \mu_{план} + \mu_B \quad (4)$$

где время восстановления $T_{\delta j}$, час равно

$$T_{\delta j} = T_{дуj} - T_{оо} - T_{рем}$$

Здесь $T_{дуj}$ - время выявления j -ой неисправности посредством ДУ. Для постоянно действующих ДУ (описанных, например, в [5-6]) время $T_{дуj}$ равно примерно 5-15 секунд. Для периодически действующих ДУ, например, тестовых, математическое ожидание времени $T_{дуj}$ равно половине периода контроля. $T_{оо}$ - время ожидания обслуживания (от момента выдачи сигнала о неисправности РЗА до начала ремонта). $T_{рем}$ - собственно время ремонта; $\mu_{план}$ - интенсивность плановых восстановлений; μ_B - интенсивность восстановлений рассматриваемого устройства РЗА после его отказов в функционировании. Для полупроводниковых устройств РЗА $\mu_{план} = 0,125 - 0,333$ 1/год. μ_B обычно намного меньше $\mu_{ду}$ и $\mu_{план}$, поэтому в последующих расчётах принято $\mu_B = 0$.

Величины в (1), (2), (3), (4) зависят от принципа действия, схемы и конструкции устройства РЗА, вида повреждения и повредившегося комплектующего элемента, принципа действия ДУ и технологии обслуживания РЗА. Например, применительно к таким повреждениям УРЗ, которые способны привести к излишним срабатываниям при внешних КЗ, можно принять $T_{рем} = 0$, если на время ремонта защита блокируется. Если при появлении таких повреждений УРЗ ДУ автоматически действует на блокирование защиты, то $T_{оо} = T_{рем} = 0$ и т. д.

С учётом изложенного, в рассматриваемом случае математическое ожидание эффекта от мероприятия, направленного на повышение надёжности РЗА, определится так:

$$M[\xi] = K_1 \Delta\lambda_{\delta} + \sum_{j=2}^{\infty} K_j \Delta q_j = K_1 \Delta\lambda_{\delta} + \sum_{j=2}^{\infty} K_j \sum_{i=1}^n \delta q_i \quad (5)$$

где $\Delta\lambda_{\delta}$ - уменьшение интенсивности (параметра потока) отказов устройства РЗА в режиме дежурства в результате проведённого мероприятия; Δq_j , Δq_i - изменение коэффициентов неготовности j -го канала РЗА и i -го элемента этого канала соответственно.

Взяв за основу выражения (2), (3), проведя их соответствующие преобразования и отбросив величины, мало влияющие на результаты расчёта, можно показать, что, например, при сравнении двух стратегий диагностики РЗА, величину Δq_j в (5) можно определить следующим образом:

$$\Delta q_j \approx \frac{1}{\delta_j} \left[\frac{\lambda_{j2} - \lambda_{j1}}{\mu_{\text{план}}} + \frac{\lambda_{j1} T_{B1} - \lambda_{j2} T_{B2}}{8760} \right], \quad (6)$$

где λ_{j1} , λ_{j2} - интенсивности отказов рассматриваемых каналов РЗА, выявляемых соответствующими вариантами ДУ; T_{B1} , T_{B2} , час - времена восстановления исправности РЗА при наличии соответствующих ДУ.

В частности, если в первом случае ДУ отсутствовало, а во втором имеется, то $\lambda_{j1} = 0$, $T_{B1} = \infty$. Тогда из (6) получаем:

$$\Delta q_j \approx \frac{1}{\delta_j} \left[\frac{\lambda_{j2}}{\mu_{\text{план}}} - \frac{\lambda_{j2} T_{B2}}{8760} \right] \approx \frac{\lambda_{j2}}{\delta_j \mu_{\text{план}}} \quad (7)$$

В целом же критерий (5) для простоты можно выразить в следующем виде:

$$M[\Sigma] = \sum_{i=1}^m K_{\text{ст}i} \Delta \lambda_i, \quad (8)$$

где m - общее количество рассматриваемых расчётных составляющих; $K_{\text{ст}i}$ - стоимостные коэффициенты, определяемые в соответствии с описанным, по методикам, изложенным в [2-4]; $\Delta \lambda_i$ принимается равной изменению интенсивности (параметра потока) отказов РЗА в рассматриваемых режимах за счёт проведённого мероприятия, направленного на повышение надёжности.

Приведённые выше расчётные выражения были получены в предположении отсутствия резервирования внутри соответствующих каналов РЗА. В [9-10] описана методика оценки надёжности блоков, узлов и модулей РЗА на стадии разработки с учётом резервирования через интенсивности отказов соответствующих элементов и связей, входящих в их состав. Исследование надёжности РЗА по методике [9-10] даёт исходные данные, определяющие, в частности, построение системы диагностики, место и вид необходимой избыточности и т.д., о чём будет сказано ниже. При этом для соответствующих узлов, блоков или устройства РЗА в целом составляются структурные схемы для расчёта надёжности в выполнении каждой j -ой функции (например, надёжности срабатывания защиты при определённом виде повреждения защищаемого объекта, несрабатывания в режиме дежурства или

в рассматриваемом режиме внешнего короткого замыкания и т. д.). Определяются интенсивности отказов по каждой j -ой функции $\lambda_{\Sigma j}$ в предположении экспоненциального закона отказов для модуля, блока в целом в виде:

$$\lambda_{\Sigma j} = \left[\sum_{r=1}^l \frac{C_r}{\sum_{r=1}^l C_{r,i} \lambda_r} \right]^i, \quad (9)$$

где C_r , $C_{r,i}$ - численные коэффициенты; λ_r - интенсивность отказов r -го комплектующего элемента.

Разработана программа для ЭВМ [11], позволяющая автоматизировать расчёт выражения (9) в общем виде для исследуемых модулей и блоков. По такому выражению могут быть определены коэффициенты влияния α_r , оценивающие степень влияния интенсивности отказов λ_r r -го комплектующего элемента РЗА на $\lambda_{\Sigma j}$:

$$\alpha_r = \frac{\delta \lambda_{\Sigma j}}{\delta \lambda_r}, \quad \text{причём} \quad \lambda_{\Sigma j} = \sum_{r=1}^l \alpha_r \lambda_r, \quad (10)$$

где l - общее количество комплектующих элементов рассматриваемого блока, узла, канала РЗА. Для нерезервированных систем $\alpha_r = 1$, в общем же случае $0 \leq \alpha_r \leq 1$.

Далее определяется показатель опасности отказа \mathcal{E}_r по каждому отказу комплектующих элементов с учётом влияния этого отказа на выполнение устройств РЗА своих функций:

$$\mathcal{E}_r = \sum_{i=1}^m K_{\text{сти}} \alpha_r \lambda_r, \quad (11)$$

Иногда определение величины $K_{\text{сти}}$ может быть связано со значительными трудозатратами, тогда для упрощения может быть использован метод экспертных оценок (например, [12]). Для расчёта коэффициентов α_r целесообразно использовать ЭВМ.

Описанные выше методы оценки показателей надёжности могут быть успешно применены на различных этапах разработки и конструирования устройств РЗА.

На начальных этапах разработки, когда предварительно намечена схема устройства, критерий \mathcal{E}_r по (11) позволяет выявить "узкие" с точки зрения надёжности места и наметить пути её повышения. В первую очередь это относится к тем отказам комплектующих элементов и связей устройства.

которые соответствуют максимальные значения \bar{Z} . Для снижения параметра потока таких отказов можно использовать комплектующие элементы с повышенной надёжностью, но этот путь решения проблемы не является универсальным, в частности потому, что сложность разрабатываемых систем обычно растёт быстрее, чем повышается надёжность комплектующих элементов.

Хороший эффект может быть получен при разумной комбинации различных видов избыточности и диагностики. Искусственно введённая и органично присущая РЗА избыточность позволяет разделить во времени момент появления отказа комплектующего элемента или связи и момент возможного отказа в функционировании системы, т.е. приводит к появлению так называемых "времен избыточности", на протяжении которых исправность или работоспособность системы должна быть восстановлена. Идеальным является такой вариант, когда ни одно единичное повреждение комплектующего элемента или связи не способно сразу же привести к отказу в функционировании РЗА, в то же время возникшие повреждения быстро выявляются посредством ДУ и устраняются, не приводя к отказу в функционировании РЗА.

Например, единичные повреждения в УРЗ не должны приводить к ложным срабатываниям защиты в режиме дежурства (а, желательно, — и к излишним срабатываниям при повреждениях вне зоны защиты), возможно быстрее выявляться и устраняться. При этом для достижения максимальной надёжности (минимального математического ожидания эффекта от ненадёжности РЗА по (1)) не обязательно (хотя и желательно) быстро восстанавливать исправность рассматриваемого устройства, что связано с вмешательством обслуживающего персонала и требует определённого времени. Гораздо важнее быстро восстановить работоспособность в основных рабочих режимах и, тем самым, снизить до минимума величину λ_{Σ} и q_j в (1). При наличии в РЗА соответствующей схемной избыточности обычно удаётся при большинстве повреждений восстановить работоспособность в основных режимах функционирования путём соответствующих автоматических переключений в схеме: автоматического ввода в работу резервных модулей и блокирования повреждённых, изменения алгоритма работы устройства и т.д. Для этого диагностические устройства, во-первых, должны быть постоянно действующими (или иметь постоянно действующую часть), тогда удаётся максимально эффективно использовать времена избыточности, а, во-вторых, они должны работать не по принципу дихотомии ("РЗА исправно", "РЗА неисправно"), а быть способными ставить диагнозы с большей глубиной типа "Блок i не способен выполнять j -ую функцию". Соответствующая логическая обработка таких сигналов ДУ позволит выбрать оптимальный алгоритм переключений в схеме повреждённого устройства РЗА. В определённой степени эти требования удовлетворяют описанные в [5-8] диагностические устройства.

Одной из проблем, которые возникают при использовании постоянно действующих ДУ, является проблема контролепригодности, т.е. степени

приспособленности блоков и узлов РЗА к контролю их исправности. ДУ типа [5-8] судят об исправности контролируемых блоков и модулей РЗА в основном по соответствующему образу в пространстве признаков в режиме дежурства, т.е. по совокупности величин сигналов на контрольных точках РЗА в режиме дежурства. Более объективную информацию можно получить в пространстве состояний, где каждому независимому параметру любого комплекующего элемента соответствует своя координата. Однако диагностирование в пространстве состояний требует выведения объекта диагноза из работы и больших трудозатрат, поэтому редко применяется на практике. При отображении же пространства состояний в пространство признаков, в котором обычно ведётся диагностирование, обычно теряется значительное количество ценной информации. Например, если на выходе исправного компаратора в режиме дежурства РЗА имеется предельный по величине отрицательный сигнал, то при некоторых повреждениях напряжение на выходе не изменяется, а компаратор теряет возможность срабатывать. То есть переход из подмножества исправных состояний компаратора в подмножество неисправных в пространстве состояний не приводит к изменению вектора признаков РЗА в пространстве признаков и ДУ не может почувствовать такую неисправность.

Расширить информационные возможности пространства признаков можно, введя дополнительно к постоянному контролю исправности тестовые проверки. При каждой такой проверке изменяется алгоритм отображения соответствующих образов из пространства состояний в пространство признаков, что позволяет выявить большее количество неисправностей. Однако время выявления неисправности РЗА при тестовых проверках на несколько порядков больше, чем при постоянном контроле исправности. Значительно больше оказываются величины q_1 по (3), q_2 по (2) и MNI по (1) т.е. надёжность РЗА снижается.

Другим способом решения этой проблемы является повышение контролепригодности, т.е. разработка и использование таких схем компараторов, логических и других типовых элементов РЗА, сигналы на контрольных точках которых обладали бы большей информативностью и позволяли бы выявлять большее количество неисправностей в пространстве признаков режима дежурства. Проведённые исследования позволяют сделать вывод о том, что такие разработки вполне возможны и достаточно эффективны.

Таким образом, повышение контролепригодности узлов и блоков РЗА и использование встроенных ДУ увеличивает степень информированности системы о своём внутреннем состоянии и даёт возможность построения адаптирующихся по условию надёжности систем РЗА.

В исходном режиме дежурства исправной системы РЗА её структура и алгоритм действия выбираются таким образом, чтобы при выполнении своих основных функций имела минимальное математическое ожидание эффекта от ненадёжности MNI по (1). При появлении повреждения в схеме РЗА величина MNI скачком увеличивается. ДУ выявляют место и характер повреждения. Полученная информация автоматически обрабатывается и производятся такие

переключения, которые приводят структуру и алгоритм действия системы в оптимальное в сложившихся условиях состояние, т.е. величина МСН снова снижается, хотя может и не достичь предыдущего значения. Спустя некоторое время обслуживающий персонал восстанавливает исправность системы РЗА и всё начинается с начала.

Ещё одной задачей, которую необходимо решить, является обеспечение высокой надёжности самих ДУ, встраиваемых в устройства РЗА. Поскольку ДУ строятся практически из тех же элементов, что и диагностируемый объект, то их надёжность может в принципе быть соизмерима с надёжностью РЗА. А это, в свою очередь, приводит к значительной опасности неправильных действий диагностических устройств.

Опыт разработки и эксплуатации ДУ по [5-8] показывает, что количество их комплектующих элементов обычно не превышает 15-20% от соответствующего количества элементов, входящих в контролируемый модуль РЗА, что же обеспечивает сравнительно редкий их выход из строя.

При анализе надёжности ДУ большое значение имеет характер их выходного воздействия. Если диагностическое устройство выдаёт только сигнал о неисправности РЗА, то цена его ложного срабатывания (ложной тревоги) обычно невелика и равна затратам на разовое обслуживание соответствующего комплекта РЗА и стоимости заменяемого модуля. При этом конструкция устройства РЗА должна допускать замену повреждённой платы, сменного модуля без вывода защищаемого объекта из работы. Если же ДУ, срабатывая, производит какие-либо автоматические переключения в схеме РЗА, то цена его ложного срабатывания может быть гораздо выше.

Если предварительно структура РЗА оптимизировалась по надёжности и обеспечивалось минимальное значение величины МСН, то соответствующие переключения приводят к отклонению структуры от оптимальной, т.е. увеличению величины МСН на значение Δ МСН, которое и будет в данном случае представлять цену ложной тревоги.

Аналогично можно оценить цену пропуска дефекта, т.е. отказа ДУ в срабатывании при появлении в РЗА неисправности. Поскольку, как отмечалось выше, при появлении неисправности величина МСН возрастает и автоматические (или неавтоматические) переключения должны её уменьшить на Δ МСН, то цена пропуска дефекта равна "упущенной прибыли", то есть Δ МСН.

Оценив таким образом стоимость ненадёжности самих ДУ, можно сделать вывод о необходимой степени их надёжности. Реальные же показатели надёжности легко получить, зная структуру ДУ и статистику отказов его элементов.

Пути повышения надёжности ДУ в принципе те же, что и для системы РЗА в целом: отказ от применения ненадёжных компонент, введение параллельных каналов обработки информации с последующим сопоставлением полученных результатов (т.е. частичной или полной самопроверкой), периодическая проверка исправности ДУ вручную (от кнопки) или автоматически - по команде

электрических часов.

Очевидно, что эффективность описанных выше мероприятий, направленных на повышение надёжности системы релейной защиты и противоаварийной автоматики энергосистем, в большой степени зависит от того, насколько широки возможности автоматического изменения структуры этой системы и алгоритма её действия. Эффективность максимальна, если при каждом повреждении в схеме имеется реальная возможность такого воздействия на структуру и алгоритм, которые приводит систему в оптимальное в смысле надёжности состояние в данных условиях. И чем меньше возможность гибкого изменения структуры и алгоритма действия системы, тем ниже эффективность.

Вывод

1. Описанный в работе интегральный показатель надёжности, в котором свойства системы защиты и противоаварийной автоматики учтены параметрами потоков отказов в выполнении соответствующих функций, а остальные факторы - стоимостными коэффициентами, позволяет сравнить эффективность различных мероприятий, направленных на повышение надёжности.

2. Наиболее совершенным способом обеспечения необходимой надёжности системы релейной защиты и противоаварийной автоматики является построение системы, адаптирующейся по условиям надёжности, содержащей элементы самодиагностики и различные виды избыточности.

3. Необходимыми условиями эффективного функционирования такой системы являются достаточно высокая контролепригодность её элементов, наличие встроенных диагностических устройств с малым временем обнаружения возникшей неисправности, наличие времени избыточности по наиболее опасным видам повреждений, самопроверка диагностических устройств и возможность гибкого изменения структуры и алгоритма работы системы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Смирнов Э.П.: Инженерная методика расчёта надёжности устройств релейной защиты электрических систем энергетики. Надёжность и качество (приложение к журналу "Стандарты и качество"), 1984, No 2, с. 44-49.
- [2] Шалин А.И., Сарапулов Г.А., Исследование требований к дифференциальной защите трансформаторов и автотрансформаторов. Известия АН СССР, Энергетика и транспорт, 1988, No 5, с. 52-59.
- [3] Шалин А.И., Сарапулов Г.А.: Исследование требований к релейной защите и автоматике энергосистем (W2-7). Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej Nr 81. Systemy elektroenergetyczne - eksploatacja i rozwój. II. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 1988. s. 100.

- [4] Шалин А.И.: Оценка надёжности при разработке и проектировании устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики. Prace Naukowe Instytutu Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej Nr 56. Seria: Konferencje 15. Wrocław 1981. s. 313-318.
- [5] Шалин А.И.: Принципы оперативного контроля исправности релейной защиты и автоматики энергосистем / Известия АН СССР. Энергетика и транспорт, 1989, No 5. с. 28-38.
- [6] Шалин А.И., Сарапулов Г.А.: Устройство постоянного контроля исправности полупроводникового реле защиты / Известия вузов. Электромеханика, 1984, No II. с. 106-109.
- [7] Шалин А.И., Сарапулов Г.А.: Диагностическое устройство для полупроводниковой релейной защиты / Известия вузов. Энергетика, 1988, No I. с. 51-54.
- [8] Шалин А.И., Сарапулов Г.А.: О выборе принципов исполнения встроенных устройств диагностики релейной защиты / Известия вузов. Электромеханика, 1988, No 5. с. 83-88.
- [9] Schalin. A.: Probleme der Erhöhung der Zuverlässigkeit der Relaischutzeinrichtungen im Grundlagen forschungsstadium / Elektrische 1979, N 4. s. 194-197.
- [10] Шалин А.И., Сарапулов Г.А.: Структурный анализ надёжности устройств релейной защиты / Materiały III Międzynarodowej Konferencji Naukowej "Aktualne problemy automatyki w energetyce". Vol. II. Gliwice. Politechnika Śląska 1979. s. 402-417.
- [11] Шалин А.И., Сарапулов Г.А., Плесская В.И.: Логико-аналитический метод расчёта надёжности устройств релейной защиты / Режимы и АСУ электроэнергетических систем. Межвузовский сборник научных трудов. Новосибирск, НЭТИ 1981. с. 166-178.
- [12] Багинский Л.В., Сарапулова Л.И., Шалин А.И.: Использование метода экспертных оценок для оптимизации устройств дифференциальных защит трансформаторов / Режимы и релейная защита энергетических систем. Западно-Сибирское книжное издательство. Новосибирск 1973. с. 64-72.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Antoni Bogucki

Wpłynęło do redakcji dnia 10 grudnia 1989 r.

**BUDOWA NIEZAWODNYCH UKŁADÓW AUTOMATYKI ZABEZPIECZENIOWEJ
I PRZECIWKŁÓCENIOWEJ (PRZECIWAWAREJNEJ) SYSTEMÓW ELEKTROENERGETYCZNYCH
NA WSPÓŁCZESNEJ BAZIE KONSTRUKCYJNEJ**

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

W pracy opisano wskaźniki ekonomiczne oceniające niezawodność układów automatyki zabezpieczeniowej i przeciwzakłócenkowej (przeciwaawaryjnej) systemów elektroenergetycznych. Wskaźniki te uwzględniają proces awarii i wystąpienia niesprawności, właściwości systemów automatyki zabezpieczeniowej, a także właściwości obiektu energetycznego i otaczającej go części systemu elektroenergetycznego. Odpowiednie przekształcenia pozwalają otrzymać prosty, integralny wskaźnik, w którym właściwości systemu automatyki zabezpieczeniowej uwzględniają parametry ciągów awarii poprzez przyporządkowanie im odpowiednich funkcji, a pozostałe współczynniki są współczynnikami kosztów. Proponuje się szereg metod zapewniających niezbędną niezawodność systemu, z których najbardziej ogólną jest metoda budowy systemów automatyki zabezpieczeniowej, adaptujących się do występujących warunków, zawierających elementy autodiagnostyki i różne rodzaje przekroczeń. Przyjęto kryterium optymalności, które na każdym etapie adaptacji jest minimum z wartości różnicy efektu i niezawodności ocenianej wg zaprezentowanego w pracy integralnego wskaźnika.

**THE CONSTRUCTION OF THE RELAY PROTECTION RELIABLE SCHEMES
AND ANTI-FAILURE AUTOMATIC EQUIPMENT OF POWER SYSTEMS
ON MODERN DESIGN BASIS**

S u m m a r y

The economic indices estimating the reliability of the relay protection schemes and anti-failure automatic equipment of power systems are presented in the paper. These indices take into account the process of failure and recovery of service ability, the characteristic properties of relay protection and anti-failure automatic equipment, and also the particularities of the power installation and the surrounding power elements it attends. Respectable transformations allow to obtain the simple integral index in which the failure rates in performing corresponding functions consider the relay protection and anti-failure automatic equipment properties and other factors are taken into account by cost coefficients. A number of methods ensuring necessary reliability of the system are described here. The most perfect of them is a design of the relay protection and anti-failure automatic equipment that can be adapted

on reliability conditions, since it contains self-diagnostic elements and different kinds of redundancy. The criterion of optimality at every stage of adaptation is the minimization of the mathematical expectation of the unreliability effect, which is accounted by the integral index described above.