

# УЯЗВИМОСТИ микропроцессорных реле защиты

*Проблемы и решения*



**Владимир Гуревич**



«Инфра-Инженерия»

**В.И. ГУРЕВИЧ**

**УЯЗВИМОСТИ  
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ  
РЕЛЕ ЗАЩИТЫ**

**Проблемы и решения**

*Учебно-практическое пособие*

**Инфра-Инженерия  
Москва  
2014**

**УДК 621.316.925(075.8)**

**ББК 31.27-05**

**Г95**

**Гуревич В.И.**

Г 95 Уязвимости микропроцессорных реле защиты: проблемы и решения. - М.: Инфра-Инженерия, 2014. - 256 с.

ISBN 978-5-9729-0077-0

В книге подробно рассмотрены проблемы уязвимости микропроцессорных устройств релейной защиты (МУРЗ) к естественным и преднамеренным деструктивным воздействиям, включающим кибернетические и электромагнитные воздействия. Описаны современные технические средства, с помощью которых могут осуществляться преднамеренные дистанционные деструктивные воздействия на МУРЗ. Рассмотрены как традиционные пассивные (экранированные шкафы, фильтры, кабели, специальные материалы и покрытия) средства защиты, так и новые, основанные на схемотехнических и аппаратных методах.

Книга рассчитана на инженеров, занимающихся разработкой, проектированием и эксплуатацией релейной защиты, а также может быть полезна научным работникам, преподавателям, аспирантам и студентам соответствующих дисциплин средних и высших учебных заведений.

© Гуревич В.И., 2014

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2014

ISBN 978-5-9729-0077-0

## 1. ВОПРОСЫ ФИЛОСОФИИ В РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

### 1.1. Влияет ли релейная защита на производство, передачу и распределение электроэнергии?

*Философия (греч.) – дословно «любовь мудрости», изучает наиболее общие принципы реальности. Википедия определяет философию, как науку, изучающую все. Логика и критический анализ являются столпами философского мышления. Почему бы не применить эти атрибуты философии к анализу ситуации в релейной защите? Оказалось, что такой анализ может привести к парадоксальным выводам.*



Жизнь современного человека тесно связана с использованием сложных и разветвленных систем, таких как сотовая связь, телевидение, радио, электрические системы и т.д. Все эти системы можно представить в виде так называемой «потребительской цепи», состоящей из последовательно соединенных звеньев. Конечным звеном этих цепей, то есть тем звеном, с которым приходится иметь дело потребителю, является некий аппарат (терминал): телефонный аппарат, телевизор, радиоприемник, холодильник, стиральная машина и т.д. Стремление улучшить это последнее звено (только с которым, собственно говоря, и имеет дело конечный потребитель), то есть сделать это звено «золотым», даже если все остальные звенья этой цепи по своему качеству весьма далеки от золота, вполне понятно и вполне оправдано. Особый дизайн телевизора, удобство пользования им, особые функции (например, способность записывать и воспроизводить передачи по расписанию; проигрывать компакт-диски; виртуальное разделение экрана на основной и небольшие вспомогательные, на которых можно отслеживать события на нескольких каналах одновременно и т.д.) придают такому телевизору самостоятельную ценность в глазах потребителя, несмотря на то, что

## 1. Вопросы философии в релейной защите

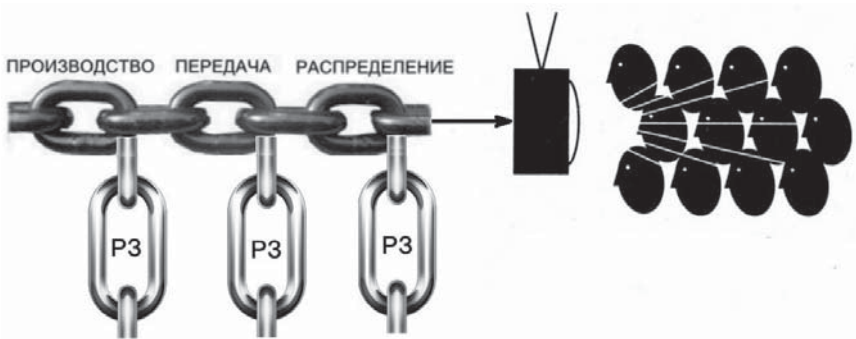
---

он является всего лишь конечным звеном в длинной цепи, называемой телевидением. Совсем не факт, что остальные звенья этой цепи, например, качество самих телевизионных передач или качество трансляции такие же качественные (золотые), как конечное звено. Однако, это не мешает состоятельному потребителю вкладывать средства в приобретение дорогого (золотого) последнего звена и не лишает желаний и стимулов приобретения такого золотого звена у менее состоятельного потребителя. Таким образом, оконечное звено в самых распространенных потребительских цепях обладает особым статусом и к нему предъявляются особые требования и особое внимание, как со стороны потребителей, так и со стороны производителей. С другой стороны, каким бы качественным и «золотым» не было это последнее звено, оно не в состоянии повлиять ни на качество, ни на надежность цепи в целом. Действительно, даже выход из строя телевизора в одной из комнат потребителя никак не влияет на работу телевизора в другой комнате того же потребителя или на телевизоры его соседей.

Еще одной характерной особенностью оконечного звена рассмотренных выше потребительских цепей является превалирование требований потребителя к функциональности и дизайну над требованиями к надежности и долговечности. Это обусловлено современными тенденциями, при которых замена одного оконечного звена другим происходит не столько по причине его отказа и выхода из строя, сколько по причине морального старения и появления на рынке новых изделий с расширенными функциями и улучшенным дизайном.

Сравним теперь эту ситуацию с той, что имеет место в релейной защите (РЗ), являющейся важнейшим компонентом потребительской цепи электроснабжения, состоящей из последовательных звеньев, называемых: производство, передача, распределение электроэнергии. Но, где же место звена в этой цепи, называемого релейной защитой? Оказывается, такого последовательного звена в этой цепи просто нет! Действительно, ведь в нормальном режиме работы потребительской цепи электроснабжения релейная защита никакого участия не принимает и на работу этой цепи никак не влияет. РЗ не влияет на количество произведенной электроэнергии, ни на пропускную способность линии электропередач, ни на процесс распреде-

ления электроэнергии. Реле защиты можно даже физически отсоединить от этой цепи электроснабжения и это никак не повлияет на нормальную работу цепи. Что же такое релейная защита и где же ее место в потребительской цепи электроснабжения? В такой цепи чисто визуально можно представить РЗ в виде отдельных вспомогательных звеньев, подвешенных в местах соединения между собой основных звеньев цепи электроснабжения: производства, передачи, распределения электроэнергии, рис. 1.1.



**Рис. 1.1.** Условное представление потребительской цепи электроснабжения, снабженной релейной защитой (РЗ)

Функционально, эти места соединения образованы высоковольтными выключателями, состояние которых определяется релейной защитой. То есть, не являясь последовательным звеном в цепи электроснабжения, РЗ, тем не менее, воздействуя на соединительные элементы между звеньями (выключатели), может разорвать связи между всеми звеньями этой цепи. Это фундаментальное отличие РЗ от остальных звеньев в потребительских цепях.

Но, если РЗ никак не влияет на работу цепи электроснабжения в ее нормальном режиме работы, то, может быть влияет на работу в аварийном режиме работы? Широко распространено убеждение о том, что это влияние заключается в предотвращении аварийных режимов в цепи электроснабжения. Но так ли это? Для ответа на это вопрос нужно сначала понять, что же такое релейная защита и каковы ее функции.

## **1.2. Философские игры с релейной защитой, или Может ли релейная защита быть «упреждающего действия»**

В последнее время в релейной защите (РЗ) возникло множество новомодных тенденций [1.1, 1.2], связанных с возможностями, которые открылись с появлением мощных микропроцессоров и переходом РЗ на микропроцессорную технику. В технической литературе и в докладах на научных конференциях по релейной защите обсуждаются вопросы использования недетерминированной логики в РЗ; релейной защиты упреждающего действия; систем мониторинга электрооборудования, встроенных в микропроцессорные реле защиты и т.д. При этом, рассуждения апологетов этих новомодных тенденций сводятся к тому, что если производительность микропроцессоров современных устройств РЗ возрастает, что позволяет загружать их дополнительными функциями, то эти функции необходимо реализовывать. Более того, из этой необходимости вытекает и якобы и неизбежность дальнейшего развития микропроцессорной РЗ в направлении ее все большего функционального усложнения. Однако, даже с чисто философской точки зрения такие рассуждения в корне ошибочны. В соответствии с [1.3] «необходимость» может быть понята, по крайней мере, двояко:

- а) Положение вещей необходимо, когда его невозможно избежать.*
- б) Положение вещей необходимо, когда его невозможно заменить другим положением вещей, поставить на его место другое положение вещей.*

Совершенно очевидно, что в рассматриваемом случае никакой «необходимости» в таких тенденциях развития РЗ на самом деле не существует. А восприятие неизбежности как природной необходимости (детерминированности) является «следствием неправильного понимания пространства бифуркации как пространства случайных фактов, тогда как на самом деле это пространство виртуальных событий» [1.3].

Применительно к ситуации с релейной защитой речь идет не о каких-то чисто философских или теоретических рассуждениях, а о вполне конкретных разработках специалистов, финансируемых из госбюджета или различных фондов развития науки. Проблемы со-

вершенствования релейной защиты всегда являлись важными и актуальными. Однако, отсутствие в настоящее время четкого, безупречного с технической стороны и логически выверенного определения понятию «реле защиты» приводит к возникновению опасных и непредсказуемых тенденций в ее развитии.

Так, например, в сенсационной статье [1.4] авторы приписывают релейной защите совершенно новое, просто фантастическое свойство:

*«возможность запоминать информацию и использовать ее... для формирования аргументированного заключения... о будущем состоянии контролируемого объекта».*

В статье отмечается, что традиционная релейная защита, существующая сегодня, никуда не годится, так как она: **«приводит к необходимости выполнения экстренных операций по локализации повреждений, что неизбежно создает нежелательные возмущения для энергосистемы».** Еще одна сенсация: оказывается, прямое предназначение релейной защиты: защищать от аварийных режимов энергосистему путем **«выполнения экстренных операций»** – это есть **«нежелательное воздействие на энергосистему».**

Но если **«выполнения экстренных операций»** при возникновении аварийного режима – это нежелательное действие релейной защиты, то каково же тогда, по мнению авторов, желательное действие? Оказывается, речь идет о предлагаемой авторами **«концепции создания средств релейной защиты, обладающих упреждающими функциями».** Что означает выражение «упреждающие функции» применительно к релейной защите? Вариант ответа на этот вопрос только один, а именно, что она, релейная защита, будет срабатывать до наступления аварийного режима для того, чтобы не создавать **«нежелательного воздействия на энергосистему».** Иными словами, релейная защита в соответствии с философией авторов должна теперь реагировать не на сам аварийный режим, а лишь на опасность возникновения этого аварийного режима, предсказанного самой релейной защитой!

Приведенное далее объяснение показывает, что авторы имеют в виду постоянный мониторинг состояния электрооборудова-



ния и автоматическое прогнозирование на этой основе его состояния. Следует отметить, что это действительно весьма перспективное и бурно развивающееся направление. Сегодня на рынке представлено огромное количество всевозможных специализированных микропроцессорных устройств для непрерывного мониторинга параметров электроэнергетического оборудования: сопротивления изоляции, тангенса угла диэлектрических потерь, частичных разрядов в изоляции, количества растворенных газов в трансформаторном масле, тока утечки высоковольтных оксидноцинковых разрядников и т.д., и т.п. Все это хорошо известные и весьма перспективные приборы и устройства, пользующиеся большим интересом и вниманием энергетиков. Но какое отношение все это имеет к релейной защите? Ведь назначением релейной защиты является именно защита от аварийных режимов, а в вовсе не мониторинг количества серы, растворенной в трансформаторном масле! Даже если представить себе чисто фантастическую картину при которой, кому-то пришла в голову странная мысль «скрестить коня и трепетную лань» (то есть придать реле защиты функции мониторинга состояния электрооборудования), то даже и в этом, чисто гипотетическом случае, остается совершенно не понятным, каким образом должен измениться алгоритм работы релейной защиты, то есть ее реакция на событие, если, например, ток утечки разрядника на линии 330 кВ стал увеличиваться и приближаться к критическому значению. Что в этом случае должна делать релейная защита? По мнению авторов публикации, релейная защита должна теперь реагировать не на сам аварийный режим, а лишь на опасность возникновения этого аварийного режима, предсказанного электронным оракулом, то есть, вместо тревожного сигнала, выдаваемого сегодня системой мониторинга, релейная защита должна просто взять и отключить ЛЭП или, что еще хуже, трансформатор, от которого питается несколько ЛЭП? Это авторы и называют «упреждающим действием релейной защиты». Трудно согласиться с такой концепцией, поскольку сегодня такое «упреждающее» действие релейной защиты называется НЕПРАВИЛЬНЫМ ДЕЙСТВИЕМ релейной защиты.

В статье [1.5] рассматривается та же самая идея релейной защиты «упреждающего действия», но теперь применительно к электро-

двигателям и предлагается новый критерий обнаружения механических дефектов в электроприводах, основанный на выявлении дополнительных частот в токе питания двигателей с последующим упреждающим отключением электродвигателя “поврежденного” привода. При этом, в статье содержится, целый ряд спорных утверждений. Остановимся лишь на одном из них, связанном с темой данного рассмотрения.

Используемый в статье [1.5] термин «защита упреждающего действия», противоречит определению «защита», приведенному самим же автором в статье: «*В идеале система релейной защиты должна обеспечивать мгновенное отделение **поврежденного элемента** от исправной части электроэнергетической системы*», то есть назначением релейной защиты, по определению самого автора, является отделение именно **поврежденного элемента**, а не элемента, который может быть поврежден когда-нибудь в будущем. И это правильно, поскольку выявление тенденций изменения параметров электрооборудования и их анализ до сих пор не являлся задачей релейной защиты. Как уже было отмечено выше, это прерогатива систем мониторинга электрооборудования. Между этими системами и релейной защитой имеется одна очень существенная разница: системы мониторинга не отключают электрооборудование, а лишь выдают обслуживающему персоналу информацию о возникновении потенциальной проблемы. В большинстве случаев лишь человек может оценить целесообразность отключения электрооборудования с учетом важности контролируемого параметра, степени развития нежелательной тенденции и скорости ее развития, выбрать наиболее удобный момент для вывода из эксплуатации этого электрооборудования. Попытка автора [1.4,1.5] придать релейной защите несвойственные ей функции мониторинга электрооборудования ни к чему хорошему не приведет, так как неоправданное отключение важного электрооборудования в совершенно неподходящее с точки зрения технологического процесса время, когда такое мгновенное отключение вовсе не является обязательным, может привести лишь к значительному экономическому ущербу. Поэтому не только актуальность создания релейной защиты «упреждающего действия» но и само понятие «релейной защиты упреждающего действия» являются весьма сомнительными.

Как можно видеть из рассмотренных выше примеров, манипуляции с терминологией не так безобидны, как может показаться, и ведут к появлению опасных тенденций в релейной защите [1.1, 1.2]. С целью предотвращения искусственных манипуляций с терминами и необоснованных тенденций в развитии релейной защиты, как следствия этих манипуляций, необходимо уточнить определение базовых понятий «реле защиты» и «релейная защита».

### 1.3. Что такое «реле защиты» и «релейная защита»?

Если попросить десяток специалистов-релейщиков сформулировать эти понятия, то получим десять разных ответов. Почему? Да потому, что сегодня просто не существует достаточно четких и безупречных с технической точки зрения определений этим понятиям.

Обратимся к технической литературе, при этом сразу же отметим, что так называемые «реле защиты прямого действия», контакты которого напрямую включены в защищаемую цепь, мы рассматривать не будем. По нашему мнению, эти устройства следует классифицировать, не как реле защиты, а как разновидность автоматических выключателей, так как они находятся гораздо ближе к автоматическим выключателям, чем к реле защиты и по конструкции, и по принципу действия, и по назначению [1.6].

Рассмотрим вначале монографии классиков релейной защиты и современных авторов, см. табл. 1.1.

**Табл. 1.1.** Определения термину «релейная защита» классиков релейной защиты и современных авторов

|        |  |   |
|--------|--|---|
| [Г1.1] | Костров М.Ф. Соловьев И.И. Федосеев А.М. Основы техники релейной защиты. Под общ. ред. А. М. Федосеева.-М-Л. ОГИЗ Госэнергоиздат, 1944. – 436 с. | <i>Основное назначение релейной защиты сводится к <b>автоматическому отсоединению поврежденного элемента</b> от остальной неповрежденной части системы с помощью выключателей</i> |
|--------|--|---|

|        |  |  |
|--------|--|--|
| [Т1.2] | Гельфанд Я. С. Релейная защита распределительных систем: Учеб. для вузов – М.: Энергоатомиздат, 1987, 368 с.                     | <i>Основным назначением релейной защиты</i> является <b>автоматическое отключение поврежденного элемента</b> (как правило, при КЗ) от остальной, неповрежденной части системы при помощи выключателей.   |
| [Т1.3] | Федосеев А. М., Федосеев М. А. Релейная защита электроэнергетических систем: Учеб. для вузов – М.: Энергоатомиздат, 1992, 528 с. | <i>Дополнительным назначением релейной защиты</i> является необходимость ее реагирования на опасные ненормальные режимы работы элементов системы. В зависимости от их вида и условий эксплуатации установки (например, наличия или отсутствия постоянного дежурного персонала) защита действует на сигнал или отключение выключателей тех элементов, оставлять которые на некоторое время в работе нежелательно или даже недопустимо, так как это может привести к возникновению повреждения или аварии. |
| [Т1.4] | Андреев В.А., Фабрикант В.Л. Релейная защита распределительных электрических сетей, М.: Высшая школа, 1965, 484 с.               |  |
| [Т1.5] | Беркович М. А. и др. Основы техники релейной защиты. – М.: Энергоатомиздат, 1984, 376 с.   | Для <b>определения места повреждения и подачи сигнала на отключение</b> соответствующих выключателей устанавливается специальная автоматическая аппаратура. Это и есть релейная защита, действующая на отключение  |
| [Т1.6] | Гловацкий В. Г., Пономарев И. В. Современные средства релейной защиты и автоматизации электросетей. – Энергомашвин, 2004         |  |

## 1. Вопросы философии в релейной защите

|         |  |   |
|---------|--|---|
| [Т1.7]  | Кафедра «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» (РЗА) Казанского энергетического ин-та<br><a href="http://relay-protection.ru/content/view/65/8/">http://relay-protection.ru/content/view/65/8/</a> | <i>Основным назначением релейной защиты является <b>выявление места возникновения повреждения и быстрое автоматическое отключение</b> с помощью выключателей поврежденного оборудования или участка сети от остальной неповрежденной части.</i> |
| [Т1.8]  | Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем. Курс лекций. Ч. 1. Релейная защита электрических систем. Сост.: Ю. А. Ершов, А. В. Малеев, О. П. Халезина. Красноярск: СФУ, 2007, 178 с.                     | <i>Дополнительным назначением релейной защиты является выявление нарушений нормальных режимов работы оборудования и подача предупредительных сигналов обслуживающему персоналу или отключение оборудования с выдержкой времени.</i>             |
| [Т1.9]  | Копьев В. Н. Релейная защита: принципы выполнения и применения: Учеб. пособие. – Томск, Изд. ЭЛТИ ТПУб, 2006, 143 с.   |   |
| [Т1.10] | Интернет сайты:<br><a href="http://esis-kgeu.ru/relprot/452-relprot">http://esis-kgeu.ru/relprot/452-relprot</a>   |   |
| [Т1.11] | <a href="http://rzdoro.narod.ru/kir_2_1.htm">http://rzdoro.narod.ru/kir_2_1.htm</a>  |   |

|         |  |  |
|---------|--|--|
| [T1.12] | Чернобровов Н. В. Релейная защита. Учеб. пособие. М: Энергия, 1974, 680 с.   | <p>При возникновении повреждений защита <b>выявляет и отключает от системы поврежденный участок</b>, воздействуя на специальные силовые выключатели, предназначенные для размыкания токов повреждения.</p> <p>При возникновении ненормальных режимов защита выявляет их и в зависимости от характера нарушения <b>производит операции, необходимые для восстановления нормального режима</b>, или подает сигнал дежурному персоналу.</p> |
| [T1.13] | Titarenko M., Noskov-Dukelsky I. Protective Relaying in Electric Power Systems. – Foreign Languages Publishing House, Moscow, 368 p. | The name protective relaying applies to arrangement of devices set up in schemes capable of <b>response to the appearance of fault or disturbance in normal operating conditions in any section of the electric system and of automatically acting on disconnecting apparatus</b> or an alarm device.  |
| [T1.14] | Davies T. Protection of Industrial Power Systems. Newnes, Oxford, 1996, 231 p.   | The function of a protection scheme is to ensure the maximum continuity of supply. This is done by <b>determining the location of a fault and disconnecting</b> the minimum amount of equipment necessary to clear it.   |
| [T1.15] | Blackburn J. L., Domin T. J. Protective Relaying. Principles and Applications. CRC Press, Boca Raton, 2007, 633 p.                   | The fundamental objective of system protection is to provide <b>isolation of a problem area in the power system</b> quickly, such that as much as possible of the rest of power system is left to continue service.  |

В публикациях [Т1.1-Т1.5, Т1.16] основным назначением релейной защиты предлагается считать автоматическое отсоединение (отключение) поврежденного элемента от остальной неповрежденной части системы с помощью выключателя. Но, поскольку именно выключатель обеспечивает отсоединение (отключение) поврежденного элемента от остальной неповрежденной части системы, то из этого определения следует, что выключатель и есть релейная защита. Уточняющее слово «автоматическое» не добавляет четкости в это определение, а лишь запутывает ситуацию, поскольку уводит в смежную область автоматических выключателей, имеющих свою собственную структуру, терминологию и область применения.

Что касается так называемого «*дополнительного*» назначения релейной защиты, заключающегося в реагировании на ненормальные режимы работы элементов системы и выдачи сигнала, то это назначение никак не сочетается с базовым словом «защита» в термине «релейная защита». Действительно, кого и от чего защищает световой или звуковой сигнал? То, что реле защиты помимо своей основной функции – «защиты» **может** выполнять еще и вспомогательные функции, еще не свидетельствует о том, что оно **должно** выполнять эти функции (см. выше). То есть, если можно использовать большое количество светодиодов на передней панели микропроцессорного устройства релейной защиты (МУРЗ) в качестве, например, индикатора срабатываний различных реле на подстанции, или использовать МУРЗ в качестве преобразователя входных световых логических сигналов в выходные электрические, то это еще не означает, что такие функции должны быть записаны в определение терминов «реле защиты» или «релейная защита».

«**Определение места повреждения**» [Т1.6, Т1.15] как основная функция релейной защиты вообще не выдерживает критики, поскольку ни одно реле защиты не способно «*определять место повреждения*». Использование словосочетания «**выявление места**» в [Т1.7 – Т1.12] вместо «**определения места**» несколько не улучшает ситуацию. Для выявления (определения) мест повреждения на линиях электропередач или в трансформаторах (генераторах) существуют специальные приборы, не имеющие отношения к релейной защите.

Из определения [Т1.13] согласно которому релейная защита воздействует на «специальные силовые выключатели», следует, что

«специальные силовые выключатели» и релейная защита – это два разных понятия и эти «специальные силовые выключатели» не входят в понятие релейной защиты, тем не менее, именно релейная защита, по определению, «выявляет и **отключает** от системы поврежденный участок». Понятно, что это некорректное определение, поскольку релейная защита без выключателя не может отключить поврежденный участок. Кроме того, в [Т1.13] дано некорректное определение действий релейной защиты при ненормальных режимах. По-видимому, это произошло из-за отсутствия четкого разделения между аварийными и ненормальными режимами. Между тем, это разные режимы и реакция на них релейной защиты должна быть разной. Таким же недостатком страдает и определение, данное в [Т1.14].

Обратимся к стандартам и нормативным документам. Возможно, там удастся найти более точное и адекватное определение термина «релейная защита», табл. 1.2.

**Табл. 1.2.** Определения термина «релейная защита» в стандартах и нормативных документах

|        |   |   |
|--------|---|---|
| [T2.1] | IEC 60050. International Electrotechnical Vocabulary Power system protection / General terms – <b>48-11-01 protection</b>         | the provisions for <b>detecting faults or other abnormal conditions in a power system, for enabling fault clearance, for terminating abnormal conditions,</b> and for initiating signals or indications.  |
| [T2.2] | IEC 60050. International Electrotechnical Vocabulary Power system protection / General terms – <b>448-11-04 protection system</b> | an arrangement of <b>one or more protection equipments, and other devices intended to perform one or more specified protection functions</b><br><b>NOTE 1</b> – A protection system includes one or more protection equipments, <b>instrument transformer(s)</b> , wiring, <b>tripping circuit(s)</b> , auxiliary supply(s) and, where provided, communication system(s). Depending upon the principle(s) of the protection system, it may include one end or all ends of the protected section and, possibly, automatic reclosing equipment.<br><b>NOTE 2</b> – The circuit-breaker(s) are excluded. |



## 1. Вопросы философии в релейной защите

|        |   |   |
|--------|---|---|
| [T2.3] | Стандарт Организации. Релейная защита и автоматика, противоаварийная автоматика. Организация взаимодействия служб релейной защиты и автоматики в ЕЭС России, 2007 | Система релейной защиты – совокупность устройств релейной защиты на одном или нескольких энергообъектах, обеспечивающая выполнение функций отключения поврежденных ЛЭП, оборудования энергосистемы с заданными параметрами: селективности, скорости действия, чувствительности, надежности, степени резервирования (ближнего и дальнего).   |
| [T2.4] | Protective Relaying Philosophy and Design Standards. – PJM Relay Subcommittee, 2003   | A protection system is defined as those components used collectively to <b>detect</b> defective power system elements or conditions of an abnormal or dangerous nature, to <b>initiate</b> the appropriate control circuit action, and to <b>isolate</b> the appropriate system components.   |
| [T2.5] | IEEE Std C37.100-1992 IEEE Standard Definitions for Power Switchgear <b>relay system</b>  | An assembly that usually <b>consists of measuring units</b> , relay logic, communications interfaces, computer interfaces, and necessary power supplies.  |
| [T2.6] | СО 34.35.302-2006 Инструкция по организации и производству работ в устройствах релейной защиты и электроавтоматики электростанций и подстанций                    | К устройствам РЗА, на которые распространяется действие настоящей Инструкции, относятся низковольтные комплектные устройства (панели, шкафы, блоки, ящики, пульта) и связанные с ними вспомогательные (вторичные) цепи (оперативного напряжения, сигнализации, управления коммутационными аппаратами, <b>связи со вторичными обмотками измерительных трансформаторов тока и напряжения и т.п.</b> ), предназначенные для управления электрооборудованием электрических станций, подстанций и линий электропередачи, для релейной защиты и электроавтоматики (включая автоматику регулирования и противоаварийную, как локальную, так и системную), для сигнализации неисправностей этого оборудования, и для взаимодействия с автоматизированными системами управления (АСУ). |

Уязвимости микропроцессорной релейной защиты

|        |   |   |
|--------|---|---|
| [Т2.7] | СО 34.35.502-2005 Инструкция для оперативного персонала по обслуживанию устройств релейной защиты и электроавтоматики энергетических систем   | В состав устройств РЗА входят, в том числе, противоаварийная автоматика, системы автоматического регулирования электрических режимов силового электрооборудования электростанций и подстанций, приборы определения мест повреждения (ОМП), автоматические осциллографы и регистраторы аварийных событий, вторичные цепи и <b>системы питания устройств РЗА.</b>   |
| [Т2.8] | РД 153-34.0-35.617-2001 Правила технического обслуживания устройств релейной защиты, электроавтоматики, дистанционного управления и сигнализации электростанций и подстанций 110-750 кВ | Все устройства РЗА, включая вторичные цепи, <b>измерительные трансформаторы и элементы приводов коммутационных аппаратов</b> , относящиеся к устройствам РЗА, должны периодически подвергаться техническому обслуживанию.   |
| [Т2.9] | РД 34.35.516-89 Инструкция по учету и оценке работы релейной защиты и автоматики электрической части энергосистем   | К РЗА, помимо соответствующей аппаратуры (независимо от принципов ее использования), относятся: переключательные устройства (накладки, ключи и т. п.), испытательные блоки, ряды зажимов, <b>цепи питания оперативным током</b> с предохранителями (автоматами), конденсаторы для питания оперативных цепей с их зарядными устройствами, <b>вторичные цепи измерительных трансформаторов тока и напряжения</b> или заменявших их устройств, <b>электромагниты управления выключателями</b> , короткозамыкателями, отделителями, <b>электромагниты отключения</b> и промежуточные контакторы включения масляных выключателей, вспомогательные трансформаторы и автотрансформаторы тока и напряжения, трансформаторы, проводки и контрольные кабели, соединяющие все перечисленное выше, соединительные провода продольных дифференциальных защит линий и устройств передачи импульсов РЗА с объекта на объект. |

## 1. Вопросы философии в релейной защите

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | ВЧ аппаратуру каналов РЗА (элементы настройки заградителей, фильтры присоединений, ВЧ кабель, разделительные фильтры, приемопередатчик и др.), а также другие вспомогательные элементы, относящиеся к РЗА. |
|--|--|--|

С сожалением приходится констатировать, что и нормативные документы страдают все теми же недостатками. Так, например, в [Т2.1] не делается разницы между повреждением (**fault**) и ненормальным режимом (**abnormal conditions**). В [Т2.2] дано весьма «оригинальное» определение, которое можно перевести примерно так: «один или более защитных устройств или другие устройства, предназначенные для выполнения одной или более защитных функций», которое не выдерживает никакой критики, поскольку не дает вообще никакого объяснения тому, что же такое релейная защита. Не лучше сформулировано определение и в [Т2.3]: «**Система релейной защиты – совокупность устройств релейной защиты**»... Не правда ли, после такого определения всем стало ясно и понятно, что такое релейная защита? То же относится и к определению функции релейной защиты, определенной, как «**обеспечивающей выполнение функций отключения поврежденных ЛЭП, оборудования энергосистемы...**». Из этого определения следует, что функция релейной защиты – это отключение заранее выявленных (кем-то или чем-то) «поврежденных ЛЭП, оборудования энергосистемы». В других документах, цитаты из которых приведены в таблице 2, релейная защита определяется не по назначению, а по совокупности входящих в нее компонентов, но и при этом нет соответствия между различными документами. Так, например, [Т2.2, Т2.5] исключают из состава релейной защиты выключатели. При этом не учитывается, что в таком случае релейная защита будет не в состоянии выполнить отключение поврежденного электрооборудования – функцию релейной защиты, определенную как основная в источниках табл. 1. Введение в состав релейной защиты электромагнитов управления выключателями [Т2.9] не решает проблемы, так как поврежденное электрооборудование отклю-

чает не отключающая катушка, а контактная система выключателя, снабженная соответствующим приводом. Аналогичная ситуация и с измерительными трансформаторами тока и напряжения. Если в [Т2.8] они входят в состав системы релейной защиты полностью, то в [Т2.6, Т2.9] только их вторичные цепи (связи со вторичными обмотками), которые сами по себе, в отрыве от всех остальных частей, не могут обеспечить функционирование релейной защиты.

Что касается включения в состав релейной защиты приборов отыскания мест повреждений, осциллографов и регистраторов аварийных режимов [Т2.7], то эти устройства вообще не имеют никакого отношения к выполнению основных функций релейной защиты.

Аналогично рассмотрим определения, данные термину «реле защиты», табл. 1.3.

**Табл. 1.3.** Определения термину «реле защиты» в технической литературе

|        |  |  |
|--------|--|--|
| [Т3.1] | Алексеев В. С., Варганов Г. П., Панфилов Б. И. и др. Реле защиты. М.: Энергия, 1976, 464 с.  | Электрическое реле, применяемое в устройствах защиты элементов электрических установок, носит название реле защиты   |
| [Т3.2] | Фабрикант В. Л., Глухов В. П., Паперно Л. Б. Элементы устройств релейной защиты и автоматики энергосистем и их проектирование. Учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1968, 484 с. | Задача каждого устройства релейной защиты и автоматики энергосистем заключается в преобразовании <b>входных импульсов</b> , зависящих от состояния электрической схемы, в выходные. Выходные импульсы либо воздействуют на те или иные элементы системы, либо вызывают сигнал (звуковой или световой), либо отсутствует. |
| [Т3.3] | Ступель Ф. А. Электромеханические реле. Основы теории, проектирования и расчета. Учеб. пособие. Харьков. Изд-во Харьковского университета, 1956.                             | Реле – прибор, настроенный на определенный режим работы механизма, агрегата или установки. Реле действует при определенных стадиях режима и действие его передается силовому аппарату.   |

## 1. Вопросы философии в релейной защите

|        |  |  |
|--------|--|--|
| [Т3.4] | Sleva A. F. Protective Relay Principles. – CRC Press, Boca raton, 2009, 368 p. | Protective relays are devices specifically designed to <b>detect abnormal power system conditions and to initiate appropriate power system changes</b> . Protective relays are classified according to input quantities, operating principles, performance characteristics, and technology – electromechanical, solid state, or microprocessor based.<br>The function of most protective relays is to <b>initiate circuit breaker opening</b> . Protective relays are only part of the protection and control scheme needed to properly <b>detect and isolate abnormal system conditions</b> |
|--------|--|--|

Определение, данное в [Т3.1] трактует «реле защиты» слишком широко, включая в его состав промежуточные электромагнитные реле, не являющиеся реле защиты. В [Т3.2] речь идет о каких-то «входных импульсах», тогда как на самом деле в реле защиты основными входными величинами являются аналоговые величины (токи и напряжения), а не импульсные сигналы. Определение, данное в [Т3.4] выглядело бы вполне приемлемым, если бы не указание на «ненормальный» режим вместо правильного в данном контексте «аварийного». Кроме того, выражение «инициация **соответствующих** изменений энергосистемы» – слишком обтекаема, не конкретна и не точна (что такое «соответствующих изменений»? Соответствующих чему?).

Такие же неточные и нечеткие определения «реле защиты» дают и стандарты, табл. 1.4.

**Табл. 1.4.** Определения термина «**реле защиты**» в стандартах

|        |  |  |
|--------|--|--|
| [Т4.1] | IEC 60050. International Electrotechnical Vocabulary Measuring relays / Terms relating to relay types<br><b>447-01-14 protection relay</b> | measuring relay which detects faults or other abnormal conditions in a power system or of a power equipment<br>NOTE – A protection relay is a constituent of a protection equipment. |
|--------|--|--|

|        |   |   |
|--------|---|---|
| [Т4.2] | IEC 60050. International Electrotechnical Vocabulary Measuring relays / Terms relating to relay types<br><b>447-01-02 measuring relay</b>                         | electrical relay intended to operate when its characteristic quantity, under specified accuracy, attains its operate value  |
| [Т4.3] | <i>ГОСТ 16022-83. Реле электрические. Термины и определения</i><br><b>2. Измерительное электрическое реле</b>   | Электрическое реле, предназначенное для срабатывания с определенной точностью при заданном значении или значениях характеристической величины   |
| [Т4.4] | Стандарт Организации. Релейная защита и автоматика, противоаварийная автоматика. Организация взаимодействия служб релейной защиты и автоматики в ЕЭС России, 2007 | Устройства релейной защиты – устройства, <b>предназначенные для автоматического отключения</b> поврежденной ЛЭП, оборудования (как правило, при КЗ) от остальной, неповрежденной части энергосистемы при помощи выключателей, а также для действия на сигнал или отключение ЛЭП, оборудования в случаях опасных ненормальных режимов их работы. |
| [Т4.5] | Glossary of Terms for Electric Utility Personnel<br>American Power Dispatchers Association. A Common Terminology Among Personnel within the Electric Industry     | Protective Relay – a relay whose function is to <b>detect</b> defective line or apparatus or other power system conditions of an abnormal or dangerous nature <b>and to initiate appropriate control circuit action.</b>  |
| [Т4.6] | IEEE Std C37.100-1992<br>IEEE Standard Definitions for Power Switchgear<br><b>protective relay</b>  |   |

## 1. Вопросы философии в релейной защите

Так, например, в [Т4.1] указывается, что реле защиты – это измерительные реле, которые выявляют аварийные или ненормальные режимы. Здесь для определения термина («реле защиты») вводится новый термин («измерительное реле»), который в свою очередь требует определения. Довольно странный и нелогичный прием: объяснять один неопределенный термин другим, таким же неопределенным. Кроме того, указание на функцию измерительного реле, как «выявление аварийных и ненормальных режимов» явно неверно, так как это всего лишь часть функции реле защиты: одного лишь «выявления» явно недостаточно для реализации функции релейной защиты. В источниках [Т4.2 и Т4.3] определение термину «реле защиты» подменяется описанием условий срабатывания измерительного реле. Определение, приведенное в [Т4.4] приписывающее устройствам релейной защиты **«автоматическое отключение поврежденной ЛЭП, оборудования...»** не выдерживает критики, поскольку отдельные «устройства релейной защиты» (например, те же реле защиты) не могут самостоятельно отключить поврежденную ЛЭП. Сделать это может только система релейной защиты, образованная совокупностью многих устройств.

**Табл. 1.5.** Особые определения и требования к релейной защите

|        |   |   |
|--------|---|---|
| [Т5.1] | Blackburn J. L., Domin T. J. Protective Relaying. Principles and Applications. Third Edition. CRC Press, Boca Raton, 2007, 633 p. | a) The protective relays act only after abnormal or intolerable condition has occurred<br><br><b>The term “protection” does not indicate or imply that the protection equipment can prevent trouble, such as faults and equipment failures</b><br><br>Dependability indicates the ability of the protection system to perform correctly when required, whereas security is its ability to avoid unnecessary operation |
|--------|---|---|

# СОДЕРЖАНИЕ

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Предисловие .....</b>   | <b>3</b>  |
| <b>Глава I. Вопросы философии в релейной защите .....</b>  | <b>6</b>  |
| 1.1. Влияет ли релейная защита на производство, передачу и распределение электроэнергии? .....                 | 6         |
| 1.2. Философские игры с релейной защитой или может ли релейная защита быть "упреждающего действия" ....        | 9         |
| 1.3. Что такое "реле защиты" и "релейная защита"? .....  | 13        |
| 1.4. "Излишние срабатывания" и "ложные срабатывания" .....   | 30        |
| 1.5. Некоторые следствия из философских рассуждений .....  | 33        |
| 1.6. Для оценки надежности современной релейной защиты нужен новый критерий .....                              | 36        |
| 1.7. Литература к Гл. 1 .....  | 49        |
| <b>Глава II. Новомодные тенденции развития релейной защиты - опасный вектор .....</b>                          | <b>52</b> |
| 2.1. Экскурс в историю .....   | 52        |
| 2.2. О "техническом прогрессе" .....   | 54        |
| 2.3. "Smart Grid" - опасный вектор "технического прогресса" в энергетике .....                                 | 56        |
| 2.4. Опасные тенденции развития устройств релейной защиты .....  | 57        |
| 2.5. Литература к Гл. 2. ....  | 65        |
| <b>Глава III. Естественные электромагнитные воздействия .....</b>  | <b>69</b> |
| 3.1. Электромагнитная совместимость .....  | 69        |
| 3.2. Грозовые разряды .....  | 73        |
| 3.3. Коммутационные процессы и электромагнитные поля от работающего оборудования .....                         | 76        |
| 3.4. Проблемы экранирования контрольных кабелей .....  | 81        |
| 3.5. Искажения сигналов в цепях трансформаторов тока .....   | 89        |
| 3.6. Влияние на МУРЗ гармоник в измеряемом напряжении и токе .....   | 99        |
| 3.7. Качество напряжения питающей сети .....   | 100       |
| 3.8. Защита от провалов напряжения подстанции в целом .....  | 112       |
| 3.9. Рекомендуемые технические требования и стандарты по обеспечению электромагнитной совместимости МУРЗ ..... | 118       |
| 3.10. Литература к Гл. 3 .....   | 125       |



|   |            |
|---|------------|
| <b>Глава IV. Преднамеренные деструктивные электромагнитные воздействия .....</b>                        | <b>128</b> |
| 4.1. Классификация и особенности преднамеренных электромагнитных деструктивных воздействий.....         | 128        |
| 4.2. Воздействие ПЭДВ на микропроцессорные устройства релейной защиты .....                             | 154        |
| 4.3. Основные нормативно-технические документы в области ПЭДВ .....                                     | 158        |
| 4.4. Литература к Гл. 4.....  | 159        |
| <b>Глава V. Кибербезопасность релейной защиты .....</b>   | <b>161</b> |
| 5.1. Кибербезопасность - актуальная проблема современного постиндустриального общества .....            | 161        |
| 5.2. Кибербезопасность микропроцессорных реле защиты .....  | 166        |
| 5.3. Литература к Гл. 5.....  | 171        |
| <b>Глава VI. Методы пассивной защиты микропроцессорных реле от ПЭДВ .....</b>                           | <b>173</b> |
| 6.1. Монтажные шкафы .....  | 173        |
| 6.2. Контрольные кабели.....  | 174        |
| 6.3. Фильтры .....  | 178        |
| 6.4. Нелинейные ограничители перенапряжений .....   | 182        |
| 6.5. Специальные строительные материалы .....   | 188        |
| 6.6. Защитные шторы и ткани.....  | 190        |
| 6.7. Литература к Гл. 6.....  | 191        |
| <b>Глава VII. Методы активной защиты от кибератак и ПЭДВ .....</b>                                      | <b>192</b> |
| 7.1. Новый принцип активной защиты МУРЗ .....   | 192        |
| 7.2. Датчики тока и напряжения на базе герконовых реле с регулируемым порогом срабатывания .....        | 205        |
| 7.3. Техничко-экономические аспекты активной защиты МУРЗ.....   | 214        |
| 7.4. Защита системы дистанционного управления выключателями ....  | 231        |
| 7.5. Защита силовых трансформаторов от индуцированных геомагнитных токов и поражающего фактора ЕЗ ..... | 239        |
| 7.6. Литература к Гл. 7.....  | 243        |
| <b>Эпилог .....</b>   | <b>245</b> |