

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

Кафедра систем електропостачання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ РЗ – 7

«Вивчення мікропроцесорного релейного захисту, автоматики та дистанційного управління приєднань 6-35 кВ з використанням цифрової елементної бази»
З дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» для студентів напрямку підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

Дніпропетровськ
2010

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

Кафедра систем електропостачання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ РЗ – 7

«Вивчення мікропроцесорного релейного захисту, автоматики та дистанційного управління приєднань 6-35 кВ з використанням цифрової елементної бази»
З дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» для студентів напрямку підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

Дніпропетровськ
2010

Методичні вказівки до лабораторної роботи РЗ – 7 «Вивчення мікропроцесорного релейного захисту, автоматики та дистанційного управління приєднань 6-35 кВ з використанням цифрової елементної бази»

з дисципліни « Основи релейного захисту та автоматики »

для студентів напрямку підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології »

/Упорядн.: В. Д. Трифонов, О.Р. Ковальов , Д. В. Трифонов,– Дніпропетровськ:
ДВНЗ НГУ, кафедра СЕП 2013. – 13 с.

Упорядники: В. Д. Трифонов, професор, О.Р. Ковальов, ст. викл.
Д. В. Трифонов, доцент,

Цель работы

Изучение микропроцессорных (цифровых) устройств релейной защиты и автоматики.

В результате подготовки и выполнения лабораторной работы студент должен **знать** назначение, характеристику, основные узлы цифровых устройств серии УЗА-10, Сириус, Мисом Р220, Орион, Диамант, МРЗС-05; **уметь** обобщить различные сведения по цифровым устройствам РЗА путем тщательного рассмотрения общих вопросов построения аппаратной части;

реально оценить возможности цифровых устройств, преимущества и недостатки; **использовать** полученные сведения при внедрении цифровых устройств в условиях эксплуатации.

Общие положения

В настоящее время на подстанциях систем электроснабжения промышленных предприятий в эксплуатации находится значительное количество устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) выполненных на устаревшей электромеханической и микроэлектронной элементной базе (около 99 %). Эти устройства физически изношены, их характеристики значительно хуже и отстают от современных требований по точности, энергопотреблению, возможности работать в экстремальных аварийных условиях [1].

В последние годы, как у нас, так и за рубежом активно разрабатываются и производятся микропроцессорные защиты на новой цифровой элементной базе. Это не приводит к изменению принципов построения релейной защиты и автоматики, но расширяет ее функциональные возможности, упрощает и существенно улучшает эксплуатацию, снижает ее стоимость. Использование этой техники позволяет перейти к качественно новому способу технологического и оперативного обслуживания устройств, снизить эксплуатационные затраты и повысить надежность защиты. Именно по этим причинам микропроцессорное устройство стремительно занимает место традиционных электромеханических и микроэлектронных реле, хотя и возникает ряд трудностей при их внедрении в силу еще не решенных многих, технических, организационных и экономических проблем [2].

Цифровые устройства в РЗА начали широко применяться за рубежом более двух десятилетий тому назад. За это время определилась оптимальная структура построения аппаратной части реле, многие технические решения стали типовыми. Как следствие, современные цифровые реле, даже произведенные различными фирмами, имеют много общего, а их характеристики и параметры очень близки. Так, мощность, потребляемая от измерительных трансформаторов тока и напряжения, находится в пределах 0,1...0,5 В А, аппаратная погрешность – 2...5 %, коэффициент возврата измерительных органов составляет 0,96...0,97.

Мировыми лидерами в производстве МП устройств РЗА являются европейские концерны. ALSTOM, ABB и SIEMENS, а также американской фирмы GENERAL ELECTRIC. Микропроцессорную аппаратуру выпускают и другие фирмы: GE Multilin, SEL и др. Общей для них является тенденция все большего перехода на цифровую технику. Однако цифровые защиты, выпускаемые этими фирмами, имеют большую стоимость, которая, впрочем, окупается их высокими характеристиками и многофункциональностью. Переход на цифровые способы обработки информации в устройствах РЗА не привел к появлению каких-либо новых принципов построения релейной защиты электроустановок, но значительно улучшил эксплуатационные качества реле.

Современные цифровые устройства РЗА интегрировали в рамках единого информационного комплекса функции релейной защиты, измерения, регулирования и управления электроустановкой. Такие устройства в структуре автоматизированной системы управления технологическим управлением (АСУ ТП) энергетического объекта являются оконечными устройствами сбора информации. В интегрированных цифровых комплексах РЗА появляется возможность перехода к новым нетрадиционным измерительным преобразователям тока и напряжения – на основе оптоэлектронных датчиков, трансформаторов без ферромагнитных сердечников и т.д. Эти преобразователи технологичнее при производстве, обладают очень высокими метрологическими характеристиками, но имеют малую выходную мощность и не пригодны для работы с традиционной аппаратурой.

В настоящее время появилось большое количество устройств РЗА нового поколения, используемого в распределительных сетях энергосистемы. К ним, в первую очередь, следует отнести МП устройства серии УЗА-10, УЗА-10.2А, УЗА-10.2В, УЗА-10А.ДТ2, Сириус, Орион-М, цифровые реле “Міsom Р220”, “Альтра”, МРЗС-05, ПО “Киевприбор”, пусковые модули РЗА серии “Діамант” производства МПП “ХАРТРОН-ИНКОР” (г. Харьков), различные МП терминалы разработки FDD “Автоматизация” и др.[3].

В связи с этим назрела серьезная необходимость подготовки учебными заведениями квалифицированных инженеров-электриков и, в частности, по релейной защите и автоматике элементов и оборудования электрических сетей. При этом важное место в обучении получает производственная подготовка, как в лаборатории, так и при решении задач по выбору уставок релейной защиты и автоматики. Это закрепляет теоретические знания, повышает практический опыт, обучает методам настройки МП защит на рабочие параметры, приучает студентов последующей эксплуатационной и исследовательской деятельности.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями к лабораторной работе.
2. Ознакомиться с образцами МП устройств РЗА (УЗА-10, ПМ РЗА “Діамант”) лабораторной панели релейной защиты и автоматики.
3. Изучить структурную схему и основные узлы цифрового устройства защиты.

4. Уяснить особенности обработки информации и эксплуатации МП устройств РЗА.

5. Ознакомиться с выбором уставок максимальной токовой защиты (МТЗ) и токовой отсечки (ТО).

6. Составить отчет по выполненной работе.

Методические указания

1. Краткое описание аппаратной части МП устройства РЗА

1.1 Структурная схема цифрового устройства защиты

Цифровые устройства РЗ различного назначения имеют много общего, а их структурные схемы очень похожи и подобны (рис. 1.1.). Центральным узлом цифрового устройства является микроЭВМ, которая через свои устройства ввода-вывода обменивается информацией с периферийными узлами. С помощью этих дополнительных узлов осуществляется сопряжение микроЭВМ (микропроцессора) с внешней средой: датчиками исходной информации, объектом управления, оператором и т. д.

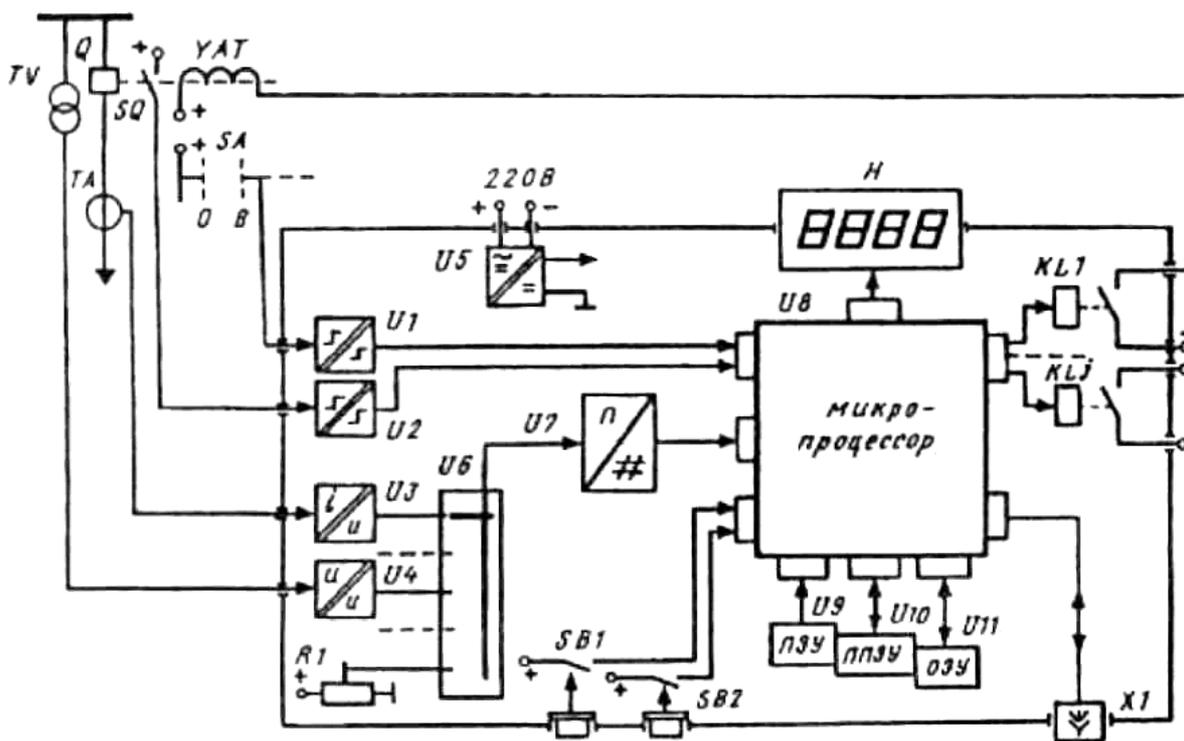


Рис. 1.1 – Структурная схема цифрового устройства защиты

Следует отметить, что в реальном устройстве РЗ может использоваться несколько микропроцессоров (МП), каждый из которых будет занят решением отдельного фрагмента общей задачи с целью обеспечения высокого быстродействия. Так, фирма ALSTOM для этой цели использует один мощный

процессор, а фирма АВВ, использует 4—10 МП работающих параллельно.

Непременными узлами цифрового устройства РЗА являются: входные U1—U4 и выходные KL1—KLJ преобразователи сигналов, тракт аналого-цифрового преобразования U6, U7, кнопки управления и ввода информации от оператора SB1, SB2, дисплей H для отображения информации и блок питания U5. Современные цифровые устройства, как правило, оснащаются и коммуникационным портом X1 для связи с другими устройствами.

Основные функции вышеперечисленных узлов.

Входные преобразователи обеспечивают гальваническую развязку внешних цепей от внутренних цепей устройства. Одновременно, входные преобразователи осуществляют приведение контролируемых сигналов к единому виду (как правило, к напряжению) и нормированному уровню. Здесь же осуществляется предварительная частотная фильтрация входных сигналов перед их аналого-цифровым преобразованием. Одновременно принимаются меры по защите внутренних элементов устройства от воздействия помех и перенапряжений. Различают преобразователи аналоговые (173, U4) и логические (U1, U2) входных сигналов.

Первые стремятся выполнить так, чтобы обеспечить линейную (или нелинейную, но с известным законом; передачу контролируемого сигнала по асом диапазоне его изменения. Преобразователи логических сигналов, наоборот, стремятся сделать чувствительными только к узкой области диапазона возможного нахождения контролируемого сигнала. Выходные релейные преобразователи. Воздействия реле на защищаемый объект традиционно осуществляется в виде дискретных сигналов управления. При этом выходные цепи устройства защиты выполняются так, чтобы обеспечить гальваническую развязку коммутируемых цепей как между собой, так и относительно внутренних цепей устройства РЗ. Выходные преобразователи должны обладать соответствующей коммутационной способностью и, в общем случае, обеспечивать видимый разрыв коммутируемой цепи.

Тракт аналого-цифрового преобразования включает мультиплексор U6 и собственно аналого-цифровой преобразователь (АЦП) — U7. Мультиплексор — это электронный коммутатор, поочередно подающий контролируемые сигналы на вход АЦП. Применение мультиплексора позволяет использовать один АЦП (как правило, дорогостоящий) для нескольких каналов. В АЦП осуществляется преобразование мгновенного значения входного сигнала в пропорциональное ему цифровое значение. Преобразования выполняются с заданной периодичностью. В последующем в микроЭВМ по этим выборкам из входных сигналов рассчитываются интегральные параметры контролируемых сигналов — их амплитудные или действующие значения.

Блок питания (БП) - U5 обеспечивает стабилизированным напряжением все узлы рассматриваемого устройства, независимо от возможных изменений напряжения в питающей сети. Обычно это импульсный БП от сети постоянного тока. Имеются также блоки питания от цепей переменного тока и напряжения.

Дисплей и клавиатура являются неизменными атрибутами любого цифрового устройства, позволяя оператору получить информацию от устройства, изменять режим его работы, вводить новую информацию. Надо отметить, что дисплей Н и клавиатура SS7, SB2 в цифровых реле, как правило, реализуются в максимально упрощенном виде: дисплей — цифробуквенный, одно - (или несколько) строчный; клавиатура — несколько кнопок.

Порт связи с внешними цифровыми устройствами. Достоинством цифровых устройств является возможность передачи имеющейся информации в другие цифровые системы: АСУ ТП, персональный компьютер и т. д., что позволяет интегрировать различные системы, экономя на каналах связи, затратах на предварительную обработку сигналов и т. п. Коммуникационный порт - необходимый элемент для дистанционной работы с данным устройством.

Наряду с выше перечисленными в цифровых устройствах, в общем случае, могут встретиться и другие узлы, например, цифро-аналоговые преобразователи при формировании аналоговых сигналов управления и регулирования. Характеристики однотипных узлов в устройствах различных изготовителей оказываются весьма близкими. Причиной этого является необходимость реализации одних и тех же исходных требований, ориентация схемных решений на одни и те же реальные входные сигналы, получаемые от стандартных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН), и объективные законы, по которым должна вестись обработка информации. Рассмотрим возможные варианты исполнения узлов цифрового устройства РЗ.

1.2. Устройство микроЭВМ.

Практически вся обработка информации в любом цифровом устройстве осуществляется внутри микроЭВМ по определенному алгоритму, реализованному в виде программы работы. Для облегчения понимания принципов работы цифровых устройств РЗА необходимо иметь хотя бы общее представление об устройстве и функционировании ЭВМ. Рассмотрим структурную схему микроЭВМ, представленную на рис. 1.2.

Центральный управляющий и решающий блок микроЭВМ называется центральным процессорным устройством (Central Processing Unit-CPU) или просто процессором. Бурное развитие микроЭВМ началось после исполнения этого узла в виде интегральной микросхемы (ИМС), что позволило называть такую ИМС микропроцессором. Как видно из структурной схемы микроЭВМ МП в качестве самостоятельного узла не применяется.

Для его работы требуется внешнее запоминающее устройство, где хранится программа (последовательность команд), которую необходимо выполнить. В устройствах, работающих по жесткой программе, какими и являются реле защиты, программа записывается в постоянном запоминающемся устройстве (ПЗУ).

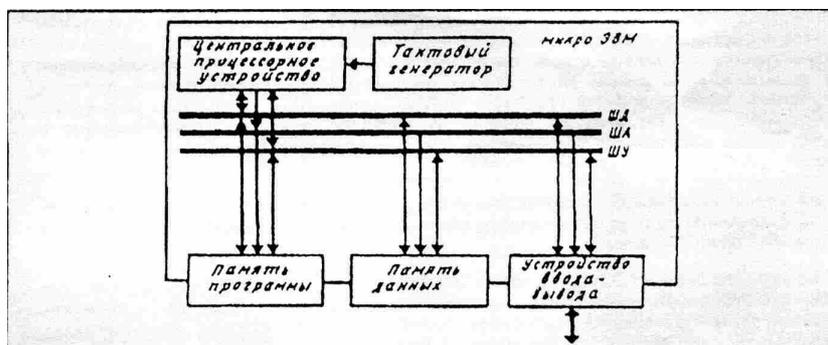


Рис. 1.2. Структурная схема микроЭВМ

Для хранения переменных и промежуточных результатов вычислений (данных) применяется оперативное запоминающее устройство (ОЗУ).

Обмен информацией с внешним оборудованием осуществляется с помощью устройств ввода-вывода. Любая информация в ЭВМ представляется в виде чисел (числовых кодов). Обмен информацией между узлами микроЭВМ осуществляется с помощью шин, т. е. системы электрических линий. Шины различаются по функциям: шина пересылки данных ЦД, шина адреса ША, шина передачи команд управления ШУ. Например, при чтении данных из устройства ввода-вывода (УВВ) в процессор последний выставляет на ША адрес УВВ, а на ШУ — сигналы, предписывающие УВВ выдать данные на ЦД. В результате этого на шине данных появляется число, которое было в УВВ в момент обращения. При передаче информации используется двоичная система счисления, требующая для отображения чисел использования только двух символов 0 и 1, что делает наиболее простой реализацию узлов ЭВМ на основе электрических схем.

Скорость работы микроЭВМ существенно зависит от разрядности чисел, передаваемых по шинам от узла к узлу. Это определяется разрядностью шины данных. Первые микроЭВМ работали с четырехразрядными числами, современные — с 16- и 32-разрядными машинными словами. Время выполнения команды определяется тактовой частотой задающего генератора и зависит от быстродействия применяемых ИМС, что в свою очередь определяется технологией их изготовления. Сегодня электронной промышленностью предлагаются десятки разновидностей МП, и они непрерывно совершенствуются. По этой причине происходит периодическое обновление аппаратной базы и в цифровых устройствах РЗА.

1.3. Преобразование аналоговых сигналов.

Сигналы, контролируемые устройствами РЗА, имеют в общем случае разную физическую природу — токи, напряжения, температура и т. д. Чаще всего устройства РЗ работают с сигналами от источников переменного тока и напряжения, с традиционными номинальными уровнями: 1А, 5А, 100В. Такие уровни сигналов обеспечивают необходимую помехозащищенность, но совершенно неприемлемы для обработки в электронных схемах. Использование же датчиков с выходными сигналами, согласованными с требованиями электроники, наталкиваются на необходимость либо резко ограничить длину линий связи, размещая устройства вблизи датчиков информации, либо применять дополнительные меры по их защите от помех, такие как, экранирование, что весьма дорого. На первых этапах перехода от электромеханических систем защиты к электронным использование нетрадиционных измерительных датчиков затруднительно также по причине отсутствия полной номенклатуры приборов и устройств с малым потреблением. По этой же причине не получают должного распространения в энергетике оптико-электронные ТТ, имеющие ряд достоинств, но очень малую выходную мощность.

При подключении микропроцессорных устройств к традиционным датчикам тока и напряжения требуется приведение их сигналов к единому виду и диапазону изменения, приемлемому для обработки электронными узлами.

Наиболее часто входные согласующие преобразователи цифровых устройств выполняются на базе обычных электромагнитных трансформаторов с ферромагнитным сердечником. Несмотря на то, что такие трансформаторы имеют нелинейные передаточные характеристики, определенный разброс параметров, некоторую нестабильность во времени и при изменении температуры, они все же приемлемы для построения устройств РЗ, допускающих работу с погрешностью 2—5 %.

В трансформаторных преобразователях (рис. 1.3) основное внимание уделяется снижению междуобмоточной емкости, по которой возможно попадание импульсных помех внутрь устройства. С этой целью секционируют вторичную обмотку или помещают между первичной и вторичной обмотками электростатический экран. Ввиду очень малого потребления мощности последующими электронными узлами, преобразование токовых сигналов а напряжение осуществляют простейшим способом — с использованием шунтов R. Для защиты электронных узлов от возможных перенапряжений широко применяют варисторы RV (или стабилитроны) и фильтры нижних частот, например, на основе R/C-цепей. Эффективность фильтра нижних частот объясняется тем, что энергия импульсной помехи сосредоточена в высокочастотной части спектра. Ограничение полосы пропускания тракта в области высоких частот необходимо и для правильной работы аналого-цифрового преобразователя, независимо от того, будет

ли в последующем применяться цифровая фильтрация сигналов или нет.

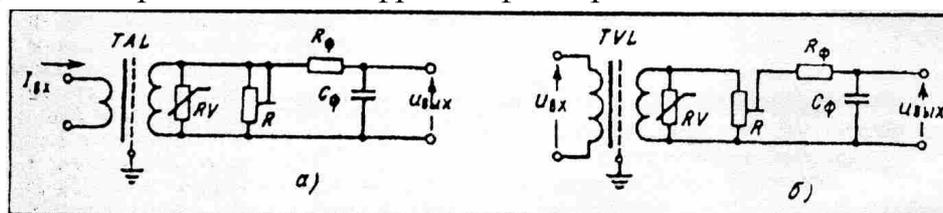


Рис. 1.3. Входные преобразователи на основе промежуточных трансформаторов

В отдельных цифровых устройствах входные преобразователи выполняются на основе так называемых активных трансформаторов. Эти преобразователи известны и как преобразователи с датчиками Холла. На рис. 1.4 представлена схема такого преобразователя.

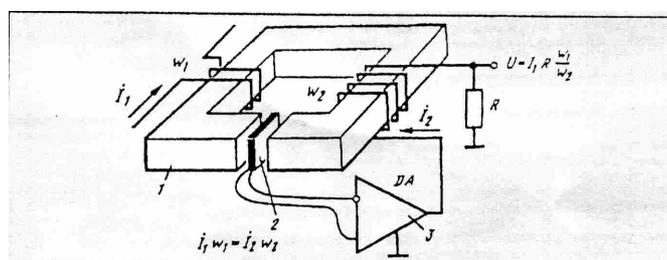


Рис. 1.4. Входной преобразователь с датчиком Холла: 1 - магнитопровод; 2 - датчик Холла; 3 – усилитель

Датчик Холла из-за его температурной нестабильности крайне сложно использовать непосредственно для измерения магнитного потока. Однако, использовать его в качестве нуля индикатора — можно. Это и делается в данном преобразователе, где усилитель 0-4 генерирует во вторичную обмотку трансформатора такой ток, чтобы выполнялось равенство МДС обмоток. Класс точности таких преобразователей достигает 0,1, что с запасом удовлетворяет требованиям релейной защиты.

В последнее время, в связи с появлением электронных устройств со сверхмалым потреблением, возрос интерес к датчикам тока типа "катушка РОГОВСКОГО" (рис 1.5).

Измерительная катушка Роговского не имеет ферромагнитного сердечника и располагается вокруг проводника с контролируемым током $i(t)$.

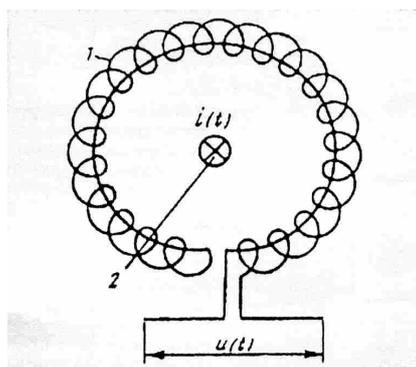


Рис. 1.5. – Датчик тока типа «катушка Роговского»: 1 – катушка Роговского; 2 – проводник с током

Магнитное поле проводника с током индуцирует в катушке ЭДС в соответствии с формулой:

$$\Delta U_{\text{нач}} = \mu_0 * n * S,$$

где μ_0 - магнитная проницаемость окружающей среды;

n - плотность намотки катушки (число витков на единицу длины);

S - площадь витка катушки.

Обратим внимание на то обстоятельство, что ЭДС катушки является производной от тока. Поэтому для получения сигнала, пропорционального току, необходимо выполнить интегрирование выходного напряжения катушки. При синусоидальном токе $i(t) = I_m \sin(\omega t)$ индуцируемая в катушке ЭДС будет синусоидальной, но сдвинутой по фазе на 90° , а ее действующее значение определяется как:

$$U = \mu_0 * n * S * \omega * I_m$$

Отсутствие в катушке нелинейного ферромагнитного сердечника обеспечивает малую погрешность преобразования (в лучших образцах — не более 0,1 %) в очень широком диапазоне изменения контролируемых токов (от нуля до сотен килоампер). С помощью катушки Роговского можно измерять токи в диапазоне частот от 0,1 Гц до 1 МГц. Основным недостатком катушки Роговского является очень малая отдаваемая мощность и низкий уровень выходного сигнала. Однако, несмотря на этот недостаток, датчики тока типа катушки Роговского уже начали широко применяться на практике.

1.4. Аналого-цифровое преобразование.

Практически все реально существующие физические явления и процессы описываются аналоговыми сигналами. Аналоговый сигнал непрерывно изменяется во времени и может принимать любые значения в некотором диапазоне,

определяемом природой физической величины. Дискретный (цифровой) сигнал, в отличие от аналогового, может принимать лишь конечное множество значений и определен лишь для конкретных моментов времени.

Процесс перехода от аналогового сигнала к дискретному называется дискретизации или квантованием сигнала, а устройства, выполняющие эту операцию, называются аналого цифровыми преобразователями (АЦП). Переход от непрерывного сигнала к дискретному всегда происходит с потерей некоторого количества информации. Конечное число градаций дискретного сигнала обуславливает погрешность квантования по уровню, а одной из причин необходимости квантования по времени является то, что и сам процесс аналого-цифрового преобразования, и последующий цикл вычислений в микроЭВМ требует определенного времени, по истечении которого можно делать новую выборку из входного сигнала (рис. 1.6),

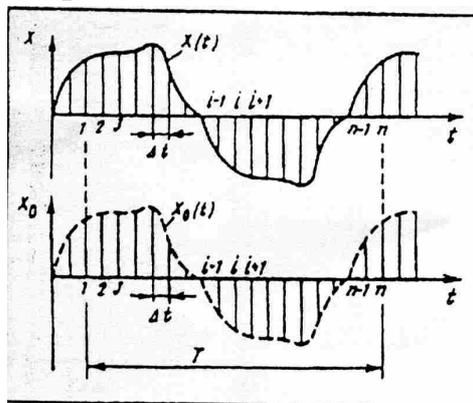


Рис. 1.6 – Аналого-цифровое преобразование сигнала

Характеризуя АЦП, говорят о его разрядности и интервале дискретизации сигнала по времени Δt или частоте выборок $f_B = 1/\Delta t$, или, если речь идет о периодических сигналах с периодом T , о количестве выборок за период $N=f_B T$.

Для периодических сигналов существует взаимосвязь между верхней частотой преобразуемого сигнала и необходимым количеством выборок. В трудах зарубежных и отечественных ученых (К. Шеннон, В.А. Котельников) еще в 30-х годах было показано, что для точного восстановления первоначального сигнала из его дискретного представления частота выборок должна по крайней мере вдвое превышать самую высокочастотную гармоническую составляющую входного сигнала, т.е.:

$$f_B \geq 2 f_{\max} \text{ или } N \geq 2 f_{\min} T.$$

Более того, при аналого-цифровом преобразовании из входного сигнала должны быть исключены все гармоники с частотой, более высокой, чем частота квантования. В противном случае, при восстановлении сигнала появляется разностная составляющая низкой частоты, поэтому на входе АЦП всегда устанавливают аналоговый фильтр нижних частот с полосой пропускания не более

16.

В устройствах РЗА применяют АЦП с частотой выборок от 600 до 2000 Гц. Более высокая частота выборок используется в том случае, когда устройство защиты обеспечивает еще и осциллографирование аварийного процесса. Цифровое устройство с частотой выборок 2000 Гц эквивалентно осциллографу с полосой пропускания 0—1000 Гц. Для сравнения отметим, что запись звука на компакт-дисках осуществляется с частотой дискретизации около 44 кГц, что обеспечивает качественное воспроизведение фонограмм, включая частоты свыше 20 кГц.

Второй важной характеристикой АЦП является разрядность p формируемого им двоичного числа. Для того, чтобы выяснить каким должно быть значение p , рассмотрим работу АЦП как некоего "черного ящика" (рис. 1.7), на вход которого поступает аналоговый сигнал X , а на его цифровых выходах появляется эквивалентное число в виде двоичных сигналов с двумя возможными уровнями, условно обозначаемыми как 0 и 1. Кстати, представление числа напряжениями или током только двух уровней и делает предпочтительней двоичную систему счисления.

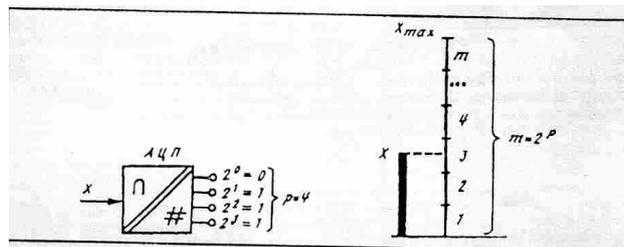


Рис 1.7. К пояснению разрядности АЦП

Существует однозначная связь между разрядностью АЦП и точностью измерения аналоговой величины. Например, в двухразрядном АЦП на его двух выходах возможно формирование только четырех независимых числовых комбинаций: 00, 01, 10 и 11. Эти числа можно интерпретировать как нахождение входного аналогового сигнала в одном из четырех поддиапазонов, ограниченных 0 - X_{\max} . В случае p -разрядного АЦП возможно отождествление нахождения входного сигнала в любом из $m = 2^p$ поддиапазонов. При этом ступенька квантования при определении уровня сигнала составит $X_{\max}/2^p$. В энергетике из всех величин в наиболее широком диапазоне изменяется ток. Ток при нормальном режиме работы электроустановки находится в пределах 0 - $I_{\text{ном}}$, а в аварийных — достигает $(10+30)I_{\text{ном}}$. Для преобразования с погрешностью не более 2—5 % требуемое число ступеней квантования m должно быть 2000 + 4000, т. е. требуется АЦП с $p = 11+12$.

1.5. Входные дискретные сигналы.

Практически во всей современной электронной аппаратуре ввод дискретных сигналов осуществляется через преобразователи на основе оптронов. Следует отметить, что схемы реальных преобразователей гораздо сложнее, чем схемы, приведенные на рис. 1.8. Оптроны даже разных изготовителей имеют весьма близкие характеристики. Так, собственное время переключения у оптронов составляет доли микросекунды. Для оптпары (светодиод-фотоприемник) характерна малая проходная емкость, что препятствует проникновению помех по этому пути. Допустимое напряжение между цепью управления и элементами управляемой цепи достигает нескольких киловольт, а рабочий ток светодиода VD составляет 3—5 мА

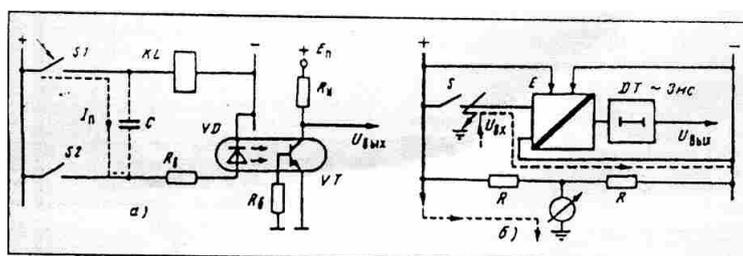


Рис. 1.8. Варианты ввода дискретного сигнала

Малый входной ток оптрона с одной стороны является благом, так как приводит к снижению мощности, потребляемой преобразователем, решает проблему рассеивания тепла резистора R_5 и уменьшает нагрузку на управляющий контакт S_2 (рис. 1.8, а). Но с другой стороны, малый рабочий ток оптрона приводит к ряду проблем.

В первую очередь, малый входной ток обуславливает низкую помехозащищенность преобразователя. Например, при наличии протяженного проводника, связывающего управляющий ключ S_2 с оптроном, возможно ложное срабатывание при перезарядке паразитной емкости C в момент замыкания ключа S_1 в сторонней цепи. Чтобы исключить ложную работу устройства P_3 в такой ситуации, на выходе преобразователя устанавливают элемент задержки DT (рис 1.8, б) с фиксированной или регулируемой задержкой в формировании выходного сигнала. Для того, чтобы отстроиться от переходных процессов, обычно достаточно задержки 0,5—3 мс. Устройства с малым потреблением могут реагировать на замыкания на землю в сети оперативного тока, так как их входной ток соизмерим с током цепи контроля изоляции сети оперативного тока. Для исключения этого входные цепи измерительного преобразователя E выполняют с привязкой к потенциалам полюсов сети оперативного тока и поднимают порог переключения преобразователя E до уровня 60—80 % номинального напряжения

сети.

1.6. Выходные реле.

Несмотря на очевидные достижения в области высоких потенциалов и сильных токов в цифровых реле, в большинстве случаев по-прежнему используются промежуточные электромагнитные реле. Контактная пара пока еще остается вне конкуренции как единственное устройство, обеспечивающее видимый разрыв в коммутируемой цепи. К тому же это и самое дешевое решение. Как правило, в цифровых устройствах РЗ применяются несколько типов малогабаритных реле: с большей коммутационной способностью — для работы непосредственно в цепях управления выключателей, с меньшей — для работы в цепях сигнализации. Мощные реле способны включать цепи с током примерно 5—30 А, но их отключающая способность обычно не превосходит 0,2 А при постоянном напряжении 220 В. Таким образом, схема управления должна предусматривать прерывание тока в цепи электромагнита выключателя его вспомогательным контактом. Отключающая способность сигнальных реле обычно не превышает 0,15 А в цепях постоянного тока напряжением 220 В.

1.7. Отображение информации.

Сразу же отметим, что требования к средствам визуального отображения информации весьма противоречивы. Это является причиной большого многообразия в части дизайна лицевых панелей цифровых устройств РЗ. Для отображения информации в реле используются и отдельные светодиодные индикаторы, и табло, и даже графические экраны. Для простоты будем называть совокупность элементов визуального отображения информации в реле дисплеем. Очевидно, что дисплей не должен быть дорогим, так как "общение" человека с реле происходит крайне редко. Дисплей реле должен обеспечивать быстрое и однозначное представление информации. Наилучшим образом этим требованиям удовлетворяют простые дисплеи в виде светодиодных индикаторов. С другой стороны, цифровое устройство защиты — это устройство, которое способно предоставить оператору очень большой объем информации: текущие значения токов и напряжений электроустановки, их аварийные значения, уставки (а их в цифровых реле может быть несколько наборов), состояние входов и выходов управления и т.д. Для оперативного получения такого объема информации требуются соответственно и более информативные дисплеи. На рис. 1.9 представлены некоторые варианты выполнения дисплеев устройств РЗ.

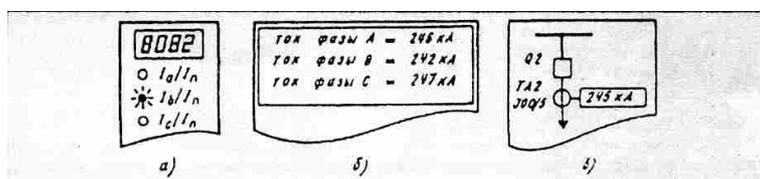


Рис. 1.9. Варианты дисплеев цифровых устройств защиты

В цифровых устройствах некоторых типов защиты (рис. 1.9 а) отдельный светодиодный индикатор (или крайний левый разряд цифрового светодиодного табло) указывает на отображаемый параметр, а численное значение этого параметра выводится в трех правых разрядах цифрового табло. Светодиодный дисплей хорошо заметен, особенно в условиях малой внешней освещенности.

В более современных устройствах применяются цифробуквенные многострочные табло (рис. 1.9 б), что обеспечивает удобство считывания информации. Такие табло выполняются на основе жидкокристаллических индикаторов (ЖКИ). Основными недостатками ЖК-индикаторов являются относительно низкая контрастность изображения и неработоспособность при низких температурах. Однако, невысокая стоимость и легкость управления ЖКИ способствует их широкому применению, в том числе и в устройствах РЗА. Наиболее наглядно информация представляется на графическом дисплее, что в какой-то мере демонстрирует рис. 1.9 в.

Следует сказать несколько слов о представлении числовых данных в устройствах РЗ. Цифровые реле имеют погрешность 2 — 5 %. С учетом этой погрешности и выполняются дисплеи цифровых реле — с возможностью отображения лишь трех значащих цифр. В цифровых реле используются в основном два способа представления величин — в именованных единицах (вольтах, амперах, градусах и т. д.) и в относительных. Оперативному персоналу удобнее работать с именованными величинами, отражающими реальные значения токов, напряжений и других параметров электроустановки. Но это требует занесения дополнительной информации в реле — коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов, а на дисплей необходимо дополнительно выводить размерность отображаемой величины. Альтернативным решением является представление всех величин в относительных единицах или процентах. Чаще всего за базисные единицы принимают номинальные значения контролируемых величин.

1.8. Органы местного управления реле.

Кнопки управления или клавиатура являются неотъемлемыми элементами связи человека с цифровым устройством. С помощью клавиатуры можно изменить режим работы устройства вызвать на дисплей интересующие параметры и величины, ввести новые уставки и т. д. Число кнопок, используемых в клавиатурах различных устройств РЗ, варьируются от двух до десяти. Чем больше кнопок в клавиатуре, тем удобнее и быстрее можно вводить информацию в устройство. Однако, кнопки являются наиболее ненадежными элементами цифровой аппаратуры. Поэтому там, где пользоваться клавиатурой приходится крайне; редко,

стремятся использовать минимальное число кнопок. Минимальное число кнопок клавиатуры, позволяющее вводить любую информацию, равно двум.

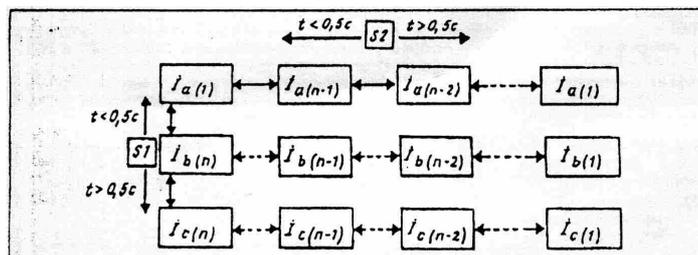


Рис. 1.10. Поиск информации в памяти реле

Работу с двухкнопочной клавиатурой можно ассоциировать с продвижением по кругу из неких параметров, управляя движением одной из кнопок, и выбором искомого параметра — с помощью другой кнопки. В некоторых реле состояния, доступные с помощью кнопок управления, представляются двухмерным массивом. Продвижение по координатам массива осуществляется соответствующими кнопками, а выбор элемента массива производится одновременным нажатием двух кнопок. Поясняет этот принцип рис. 1.10, где в качестве примера рассматривается процесс поиска информации о фазных токах, которые фиксировались в памяти защиты в момент срабатывания. Предполагается, что в памяти этого устройства хранится информация по последним событиям, причем последнее событие имеет номер n .

При нажатии кнопки S1 происходит перемещение по вертикали (между фазными токами), а при нажатии кнопки S2 — по горизонтали (между значениями выбранного тока для разных моментов времени). Манипулируя длительностью нажатия кнопок, можно обеспечить продвижение в прямом и обратном направлениях. Например, при нажатии кнопки на время менее 0,5 с происходит движение назад; при нажатии кнопки в течение 0,5 — 1 с происходит движение вперед, а при удержании кнопки в нажатом состоянии — автоматический переход от одной позиции меню к другой (так называемая прокрутка).

1.9. Блок питания.

Практически во всех современных устройствах используются импульсные блоки питания, выполняемые на базе высокочастотных инверторов. Схематично такой БП с однотактным инвертором представлен на рис. 1.11.

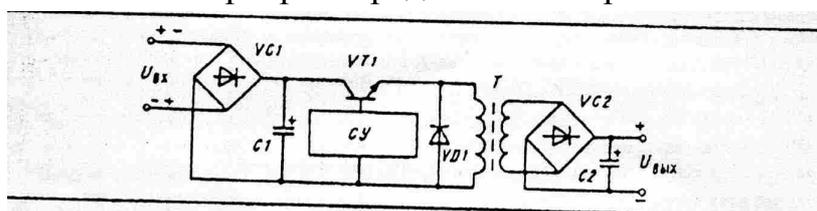


Рис. 1.11. Упрощенная схема импульсного блока питания: СУ - схема управления С помощью электронного ключа, выполненного на транзисторе VT1, на первичную обмотку развязывающего трансформатора Т подаются импульсы напряжения с частотой несколько десятков кГц. Трансформатор, работающий на высокой частоте, получается небольших габаритов, с малым числом витков в обмотках, но с относительно большой проходимой мощностью. Использование широтно-импульсной модуляции при управлении ключом VT1 позволяет поддерживать стабильным выходное напряжение инвертора при изменении питающего напряжения в широких пределах. Например, устройства серии MODULEX 3 устойчиво работают при изменении напряжения от 64 до 300В. Для исключения повреждения инвертора при несоблюдении полярности подаваемого напряжения на его входе устанавливается диодный мост VC1. Емкости накопительных конденсаторов C1 и C2 обычно выбирают из соображения требуемого сглаживания пульсации в выходном напряжении при питании инвертора от выпрямленного постоянного тока. В некоторых случаях емкости C1 и C2 увеличивают до уровня, достаточного для исключения сбоев в микропроцессорной части при кратковременных понижениях питающего напряжения, возникающих, например, при коротких замыканиях на смежных фидерах в сети оперативного тока. Отметим, что в БП большое внимание уделяется защите от перенапряжений в питающей сети и исключению проникновения помех внутри устройства.

2. Особенности обработки информации в цифровых реле

2.1. Основные характеристики цифровых реле.

Цифровые реле обладают всеми достоинствами, достигнутыми с помощью электронных реле с аналоговыми принципами обработки информации. Это более близкий к единице коэффициент возврата измерительных органов (0,96-0,97 вместо 0,80-0,85 у механических реле), малое потребление мощности от трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) (на уровне 0,1—0,5 В•А вместо 10—30 В•А у электромеханических реле). Правда, при этом электронным реле требуется надежный источник питания. Практически, независимо от числа реализуемых функций цифровое устройство РЗ потребляет от сети оперативного тока мощность порядка 5— 20 Вт.

2.2. Собственное время срабатывания цифровых реле.

Собственное время срабатывания измерительных органов цифровых реле осталось практически таким же, как у их электромеханических аналогов. Это можно объяснить тем, что для определения интегральных параметров контролируемых токов и напряжений (действующих значений, фазовых сдвигов) требуется некоторое время. Так, согласно определению, действующее значение периодической временной функции $x(t)$ находится по формуле [4]:

$$X_d = \sqrt{\left(\frac{1}{T} \int_t^{t+T} x^2(t) dt \right)}$$

В реальном времени результат вычислений этого интеграла может быть получен только после наблюдения за контролируемым сигналом $x(t)$ в течение отрезка времени, равного периоду T .

Цифровые реле, как и их аналоговые прототипы, в принципе могут формировать сигнал срабатывания и через более короткий отрезок времени, чем период T , если значение контролируемой величины заведомо превышает уставку. Это легко сделать, так как численное интегрирование представляет собой подсчет суммы приращений:

$$\int_t^{t+T} x(t) dt = \sum_{i=0}^N x(t_i) \Delta t,$$

где $x(t)$ — значение подинтегральной функции в узловых точках $x(t_i)$, взятых на интервале интегрирования;

Δt — отрезок времени между двумя точками измерения.

При значениях контролируемой величины, соизмеримых с уставкой, время наблюдения будет стремиться к T .

Кажется, что в условиях, когда входной сигнал представляется только одной гармоникой, на вычисление действующего значения можно тратить меньше времени, так как амплитуда синусоиды (а соответственно, и действующее значение) может быть вычислена после измерения нескольких ее мгновенных значений. Однако, в реальных сигналах всегда наряду с интересующей гармоникой присутствуют другие гармоники и апериодические составляющие. Выделение же из сложного сигнала интересующей гармоники требует некоторого времени.

В общем случае, сказанное не распространяется на реле, в которых не используется определение интегральных параметров сигнала. Например, в дифференциальной токовой защите теоретически можно производить сравнение мгновенных значений токов в ветвях защищаемой схемы. Однако и в дифференциальных реле приходится сталкиваться с вопросами фильтрации. Фильтрация требуется для подавления помех в рабочих токах и при формировании блокирующих воздействий, например, при бросках тока намагничивания, если речь идет о дифференциальной РЗ трансформатора. Броски тока намагничивания обычно обнаруживаются по факту появления второй гармоники в дифференциальном токе.

3. Особенности эксплуатации микропроцессорных устройств защиты и

АВТОМАТИКИ

3.1. Надежность функционирования систем с цифровыми реле.

Одной из особенностей цифровых устройств является относительная простота организации контроля исправности аппаратной части и программного обеспечения. Этому благоприятствует циклический режим работы микропроцессора по заложенной в реле программе. Отдельные фрагменты этой программы и выполняют самотестирование устройства защиты. В арсенале разработчиков цифровой аппаратуры имеется целый набор типовых решений в части тестирования. В цифровых реле при самоконтроле часто используются следующие приемы.

Неисправность тракта аналого-цифрового преобразования с большой глубиной охвата входящих в него узлов обнаруживается путем периодического считывания опорного (неизменного по времени) напряжения. Если микропроцессор (МП) обнаруживает расхождение между последним и ранее полученным результатом, то он формирует сигналы неисправности.

Исправность ОЗУ проверяют, записывая в ячейки заранее известные числа и сравнивая результаты, получаемые при последующем считывании.

Рабочая программа, хранимая в ПЗУ, периодически рассматривается МП как набор числовых кодов. МП выполняет их формальное суммирование, а результат сравнивает с контрольной суммой, хранимой в заранее известной ячейке. Целостность обмоток выходных реле проверяется при кратковременной подаче на них напряжения и контроле обтекания их током.

Периодически выполняется самотестирование МП, измеряются параметры блока питания и других важнейших узлов устройства.

На случай выхода из строя самого МП, осуществляющего самоконтроль, в цифровых устройствах предусматривается специальный сторожевой таймер "watch dog". Это несложный, а, следовательно, очень надежный узел. В нормальном режиме МП посылает в этот узел импульсы с заданным периодом следования. С приходом очередного импульса сторожевой таймер начинает отсчет времени. Если за отведенное время от МП не придет очередной импульс, который сбрасывает таймер в исходное состояние, то таймер воздействует на вход возврата МП в исходное состояние. Это вызывает перезапуск управляющей программы. При неисправности МП "зависает", устойчиво формируя 0 или 1. Это обнаруживает сторожевой таймер и формирует сигнал тревоги. При необходимости блокируются наиболее ответственные узлы устройства защиты.

Безусловно, тестирование не может обеспечить 100 % выявления внутренних дефектов изделия. Глубина тестирования целиком находится в компетенции разработчика, так как тестирование выполняется с учетом особенностей конкретного устройства и, в общем случае, неизвестна пользователю. Реально

тестированием удастся охватить примерно 80—95 % всех элементов изделия. Однако, разработчик, заинтересованный в достижении максимального совершенства своего продукта, стремится предпринять все возможное для достижения этого.

Надежность функционирования любого устройства следует рассматривать в двух аспектах: надежность самого устройства и надежность функционирования всей системы, в состав которой входит данное устройство. Надежность аппаратной части какого-либо устройства в первую очередь определяется количеством затраченных на его изготовление комплектующих изделий и их качеством. Для примера предположим, что два устройства с одними и теми же функциями выполняются, соответственно, на аналоговом и цифровом принципах из комплектующих (резисторов, конденсаторов, диодов и т. п.) с близкими показателями по надежности. Очевидно, что более надежным окажется устройство, выполненное с использованием меньшего числа элементов. У аналоговых устройств объем аппаратной части V растет пропорционально с увеличением числа реализуемых функций и их сложности C , а у цифровых устройств объем аппаратной части остается практически неизменным при вариациях сложности алгоритма в достаточно широких пределах.

С другой стороны, для цифровых устройств характерен непрерывный автоматический контроль аппаратной части и программного обеспечения. Самоконтроль существенно повышает надежность РЗ как системы, благодаря своевременному оповещению персонала о случаях отказа аппаратной части. Это позволяет незамедлительно принимать меры по восстановлению работоспособности системы РЗ. В аналоговых системах РЗ, как правило, предусматривается лишь периодический тестовый контроль работоспособности аппаратной части, причем с участием человека. При периодическом контроле возможна эксплуатация неисправной системы РЗ в течение достаточно длительного времени — до момента очередной плановой проверки. Таким образом, можно говорить о более высокой надежности функционирования цифровых устройств. Следовательно, цикл их технического обслуживания может быть увеличен до 10-12 лет. При этом следует отметить, что расчётный срок службы микропроцессорных РЗА ALSTOM составляет 40 лет.

3.2. Помехозащищенность цифровых реле.

Помехозащищенность — это способность аппаратуры правильно функционировать в условиях электромагнитных помех. Необходимая помехозащищенность обеспечивается только при комплексном решении ряда вопросов, таких как:

- обеспечение должного превышения уровней информационных сигналов над уровнем помех. В этой связи в энергетике используются сигналы с номинальными

уровнями 1А и более, 100В и выше;

- правильная прокладка линий связи датчиков информации с устройствами РЗ, а при необходимости — защита линий связи от действия помех и подавления самих помех;
- правильное конструирование аппаратной части устройства РЗ. Если решение последнего вопроса находится исключительно в ведении разработчиков аппаратуры, то вопросы защиты каналов связи от помех должны решаться на стадии проектирования и в ходе эксплуатации системы защиты. Рассмотрим устройство РЗ с этих позиций.

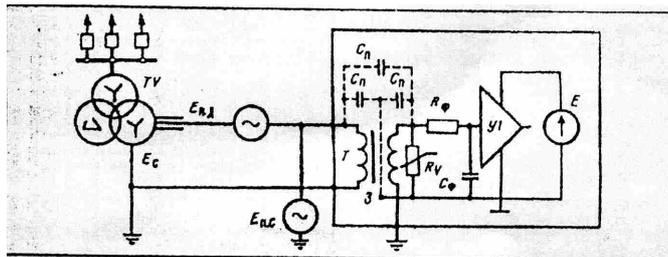


Рис. 3.1. Входной тракт устройства РЗА

3.2.1. Проникновение помех в реле и линии связи. Как правило, входная часть устройства защиты выполняется по схеме, показанной на рис. 3.1. При этом, рабочий сигнал E , передается по двухпроводной линии в виде разности потенциалов или током. Обычно входным воспринимающим элементом устройства является промежуточный трансформатор T . Как уже отмечалось, трансформатор обеспечивает одновременно и преобразование подводимых сигналов, и гальваническое разделение внутренних и внешних цепей.

Помехи могут наводиться как между проводами линии связи (помехи дифференциального или поперечного вида $E_{ПД}$), так и между любым проводом линии и землей (синфазные или продольные помехи $E_{ПС}$).

Казалось бы, синфазные помехи $E_{ПС}$ не опасны для дифференциальных приемников. Однако, это не совсем так. Проникая внутрь устройства по паразитным емкостным связям $C_{П}$, эти помехи затем могут накладываться на рабочий сигнал, который внутри устройства, как правило, является синфазным и передается относительно общей шины нулевого потенциала.

Поэтому конструкторы аппаратуры применяют меры, чтобы максимально ослабить паразитные (емкостные) связи между первичной обмоткой промежуточного трансформатора T и элементами внутренней схемы устройства.

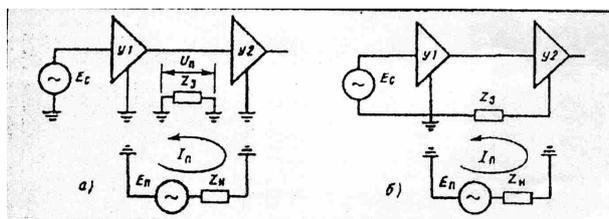


Рис. 3.2. Проникновение помех при непосредственной связи цепей

Что касается дифференциальных помех $E_{ПД}$, то наиболее действенным способом является максимальное ограждение линий связи от воздействия источников помех, если источник помехи неустраним. Для этого необходимо знать, как помехи попадают в линию связи.

Принято различать гальванический, электростатический и индуктивный пути проникновения помех из одной электрической цепи в другую.

Гальваническая связь — это непосредственная связь цепи приемника полезного сигнала с цепью, где расположен источник помехи. Чаще всего этот путь возникает из-за наличия общего проводника в рассматриваемых цепях. Принято считать, что "земля" во всех точках имеет потенциал, равный нулю. Это неверно. Рассмотрим совместную работу сильноточной и слаботочной цепей (рис. 3.2 а).

В данном случае система заземления используется в качестве одного из проводников цепи передачи информации от источника сигнала E_c к устройству U_1 и далее к устройству U_2 . Одновременно система заземления использована в качестве обратного провода сильноточной цепи. Такая ситуация наиболее типична для внутренних схем различной аппаратуры, когда шина нулевого потенциала одновременно используется в электрических цепях, существенно, различающихся по мощности. Однако, подобная ситуация возникает в любой другой слаботочной системе при передаче сигналов относительно общего провода. Источники мощных сигналов создают большие токи, протекающие по земле. Например, это наблюдается при замыканиях на землю в сетях с эффективно заземленной нейтралью или при проведении электросварочных работ.

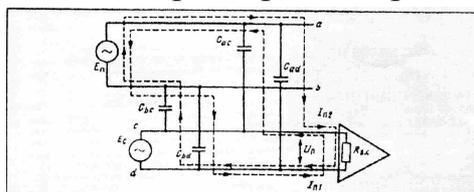


Рис 3.3. Схема проникновения помех по емкостным связям

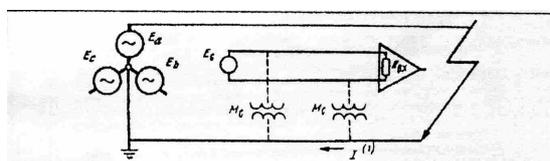


Рис. 3.4 Образование помех при замыкании на землю

Очевидно, что напряжение помехи, наводимое в слаботочной цепи будет равно: $U_n = E_C Z_3 / (Z_H + Z_3)$, где Z_3 - сопротивление цепи через землю. Снижению уровня такого рода помех благоприятствует только увеличение сечения шины заземления. Однако, и увеличение сечения общей шины может оказаться неэффективным в случае высокочастотных помех, когда начинает проявляться индуктивный характер сопротивления шины. Кардинальное решение проблемы защиты от проникновения помех по земле — это заземление слаботочных цепей только в одной точке (рис. 3.2 б).

Электростатическая (емкостная) связь электрических цепей. Паразитная связь этого вида главным образом возникает в схемах с контурами с большим сопротивлением, когда проводники таких цепей генерируют и воспринимают электрические поля. Помехи между цепями такого рода еще называют перекрестными. Наиболее неблагоприятным случаем является близкое расположение проводников разных цепей на значительном расстоянии. Напряжение помехи U_n на входе приемника (рис. 3.3) определяется разностью токов I_{n1} , I_{n2} создаваемых источником помехи E_n , за счет перекрестных емкостных связей проводов этих двух цепей. Помеха на входе приемника (на $R_{вх}$) будет равна:

$$U = (I_{n1} - I_{n2}) R_{вх} = E_n R_{вх} / [R_{вх} + k(1/\Delta C)]$$

где $k(1/\Delta C)$ — слагаемое, зависящее от разности емкостей проводов ΔC .

Разность отмеченных токов обусловлена асимметрией паразитных емкостей между проводниками рассматриваемых цепей.

Эффективные способы борьбы с помехами этого рода — скрутка проводов и применение электростатических экранов. Скрутка способствует выравниванию емкостей между проводами, т. е. стремлению ΔC к нулю, а экранирование уменьшает емкость связи как таковую. Отсюда следует, что нежелательно использовать для образования канала связи жилы из разных кабелей.

Индуктивная связь. Этот тип связи характерен для цепей с малым сопротивлением. Чаще всего индуктивная связь проявляется при замыкании на землю и трехфазных сетях. При междуфазных КЗ внешнее поле трехфазной линии относительно мало вследствие близкого расположения проводов и равенства нулю суммы фазных токов. При замыкании на землю (рис. 3.4) образуется контур протекания тока больших геометрических размеров V в сетях с эффективно заземленной нейтралью в таких контурах протекают очень большие токи наводя помехи в рядом расположенных электрических цепях. Как и в случае емкостной связи цепей, уровень наводимой помехи определяется разностью взаимоиндукции проводов слаботочной цепи по отношению к сильноточному контуру. Наибольший

уровень наводимой помехи наблюдается в контуре с малым сопротивлением. Для борьбы с помехами, наводимыми за счет индуктивной связи, используют все мероприятия, рассмотренные для случая электростатической связи.

Как видно, помехи попадают на линию связи разными путями. В реальной ситуации проявляются одновременно все виды паразитной связи.

3.2.2. Эффективность экранирования кабелей связи.

Экранирующее действие металлической оболочки кабеля объясняется тем, что в ней наводятся токи, создающие поле, которое компенсирует вызывающее их внешнее поле. Для эффективного экранирования толщина стенок экрана должна быть соизмерима с длиной волны электромагнитного поля в веществе экрана. Например, на промышленной частоте $f = 50$ Гц медный экран эффективен лишь при толщине стенок 6 см, а железный — при толщине 4,5 мм; на частоте 500 кГц для медного экрана это составит около 0,6 мм, а для железного — 0,05 мм. Несмотря на очевидные достоинства ферромагнитных экранов, на практике применяют экраны из хорошо проводящих материалов, так как магнитная проницаемость ферромагнитных веществ сильно зависит от напряженности внешнего поля. При насыщении ферромагнитного экрана его экранирующие свойства резко ухудшаются.

Кабели с экранами из немагнитного материала наиболее эффективны при защите от электростатических и высокочастотных электромагнитных полей. Для защиты от низкочастотных электромагнитных полей потребовались бы толстостенные ферромагнитные экраны, что практически невыполнимо при протяженных трактах передачи. От этих полей, как уже отмечалось, защищаются скруткой жил кабеля, что уменьшает площадь контура, образуемого жилами, и выравнивает перекрестные емкости и взаимоиндуктивности проводов. Но, так как часто помехами являются грозовые и коммутационные перенапряжения, представляющие собой кратковременные импульсы и ВЧ-колебания, то применение немагнитных экранов оправдывается, так как основная энергия таких помех сосредоточена в высокочастотной области.

Эффективность действия экранов существенно зависит не только от частотного спектра помехи, но и от схемы их заземления, расположения жил кабеля внутри экрана. На рис. 3.5 представлены различные варианты соединения источника сигнала E_c с приемником (нагрузки R_H) и приведены коэффициенты ослабления помехи.

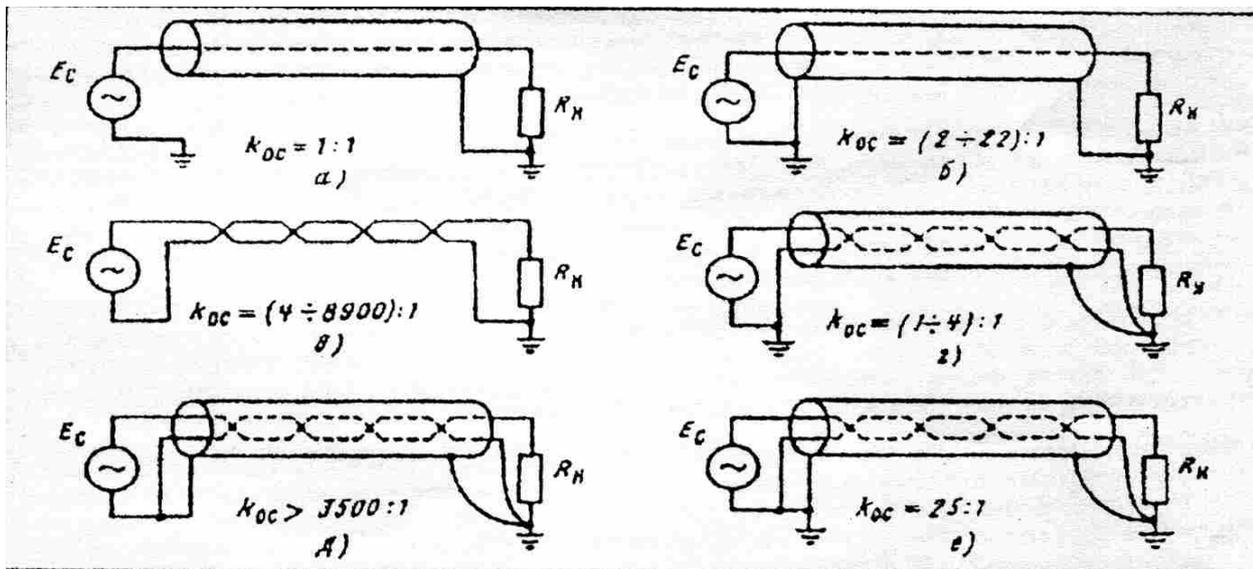


Рис. 3.5. Эффективность различных экранов

В качестве исходного случая выбран простейший, когда кабель содержит один сигнальный провод (рис. 3.5 а). Снижение уровня наводок в схемах на рис. 3.5 б-г обусловлено уменьшением эффективной площади контура рабочего сигнала. По этой причине в качестве проводников измерительной цепи следует применять жилы, принадлежащие одному контрольному кабелю, и ни в коем случае не применять жилы разных кабелей. При незаземленном источнике или нагрузке (рис. 3.5 в, д) полезный сигнал распространяется по обратному проводу или экрану кабеля, что уменьшает эффективную площадь контура и тем самым уровень помех. Если ток экрана искажает рабочий сигнал, экран следует заземлять в одной точке - у источника для уменьшения излучаемых помех или у нагрузки для снижения уровня воспринимаемых помех. Экраны кабелей высокочастотных сигналов заземляют у концов и не менее чем через каждые $0,2 \lambda$ (λ — длина волны электромагнитного поля) вдоль их длины.

Следует отметить, что прокладка линии связи даже неэкранированным контрольным кабелем вблизи хорошо заземленного проводника (шиной заземления, металлоконструкциями и т.п.) способствует снижению уровня наводимых помех.

Хотелось бы отметить, что в системах защиты на базе электромеханических реле не использовались экранированные кабели. Помехозащищенность достигалась за счет относительно высоких уровней информационных сигналов, определенных практикой эксплуатации.

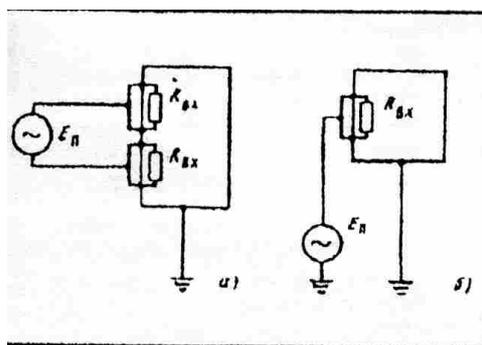


Рис. 3.6. Подача тестовых воздействий на аппаратуру

Цифровые реле, если они не являются какими-то особо чувствительными или выполнены на каких-то нетрадиционных принципах защиты, не должны предъявлять особых требований к защите линий связи от внешних электромагнитных полей. Однако в условиях повышенного уровня электромагнитных помех при плохих контурах заземления применение экранированных кабелей может быть оправдано.

3.3. Использование цифровых реле в качестве первичных элементов АСУ ТП.

Цифровые устройства РЗ сегодня становятся частью автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП). Главными функциями АСУ ТП являются отображение технологического процесса (на мнемосхемах, в средствах сигнализации об аварийных ситуациях и т. п.), ведение отчетов и обеспечение связи оператора с управляемым им процессом. АСУ ТП являются системами реального времени и в настоящее время строятся на основе персональных и специализированных устройств, с помощью которых обеспечивается связь с датчиками информации, обработка получаемой информации и представление ее в удобном виде для диспетчерского управления.

С позиций АСУ ТП цифровые устройства РЗ являются окончательными устройствами, т. е. терминалами. Поэтому иногда цифровые устройства РЗ называют релейными терминалами.

Программное обеспечение для АСУ ТП непрерывно совершенствуется. Рабочие программы АСУ ТП создаются из готовых библиотечных функций с использованием простых языков программирования. Например, создание рабочего окна на экране ПЭВМ (рис. 3.7) включает несколько этапов:

- создание статического изображения рабочего окна;
- формирование динамических объектов рабочего окна;
- обработку информации: формирование отчетов, построение трендов и т.д.

Тренд — это графическое отображение изменения параметра процесса во времени.

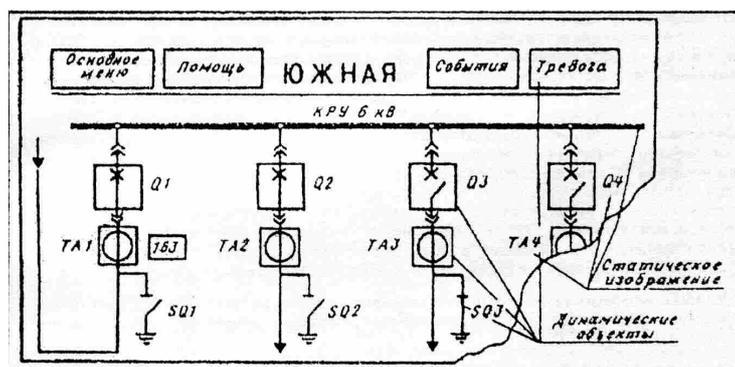


Рис. 3.7. Вывод информации на дисплей

Рассмотрим этот процесс подробнее. Статическое изображение рабочего окна включает фон (мнемосхему объекта), неизменные надписи и т.п. Для создания статического изображения, как правило, используются внешние графические редакторы, например Paint Brush, а готовое изображение затем передается в общий программный пакет.

Динамические объекты создаются при помощи специализированного графического редактора, также построенного на основе использования библиотечного принципа. Внешний вид динамических объектов может изменяться в зависимости от фактического состояния отображаемого объекта. Например, в поле выключателя формируется изображение либо замкнутого, либо разомкнутого контакта. Динамическим объектам присваиваются логические имена, под которыми они фигурируют в алгоритме управления. При использовании типовых программных пакетов проектировщик АСУ путем ответов на вопросы ПЭВМ осуществляет привязку логических имен динамических объектов к конкретным первичным устройствам ввода-вывода информации (реле, терминалам и т. п.).

Для описания алгоритмов управления применяются либо специализированные языки с использованием библиотеки логических функций (типа И, ИЛИ и т.д.), либо простые языки высокого уровня, например, BASIC. Обычно библиотеки программного обеспечения для АСУ ТП содержат типичный набор функций для реализации:

- органов управления (выключателей, разъединителей и т. п.);
- экранных элементов для отображения параметров процесса (в виде цифровых или аналоговых индикаторов и табло);
- возможности создания и ведения архивов событий и аварий, а также отслеживания параметров процесса с выборкой значений через заданные промежутки времени;
- представления информации в удобном для оператора виде, например,

гистограммами или временными графиками;

- средств защиты от несанкционированного доступа в систему с использованием паролей и т. п.

Все устройства концерна ALSTOM (микропроцессорные реле) оснащены интерфейсом RS485 для организации дистанционной связи (подключения к компьютерной сети удаленной передачи информации). Для подключения к сети микропроцессорные реле объединяются с помощью экранированной витой пары или оптоволоконного кабеля в группы до 32-х и подсоединяются к порту компьютера рабочей станции или шлюза через устройство конвертора-протокола. Далее все микропроцессорные (реле) устройства предприятия могут быть объединены, а глобальную вычислительную сеть с переводом традиционных функций телемеханики на язык вычислительной техники. Таким образом, все измеренные значения и зафиксированные сигналы, могут быть направлены на соответствующий уровень управления, выданы на монитор оперативного персонала для отображения или сохранены в архиве - на магнитном носителе (с или без сортирования). Дистанционное управление коммутационными аппаратами (включение и отключение) осуществляется оперативным персоналом также по вычислительной сети путем управления срабатыванием соответствующих выходных реле микропроцессорных устройств. Также дистанционно персоналом службы РЗА может быть - произведено изменение уставок защит, а также переключение с одной их группы на другую. Любое дистанционное управление защищается паролем соответствующего уровня доступа.

Таким образом, цифровые реле позволяют создавать локальные (на одном объекте) или глобальные (на предприятии) автоматизированные системы управления электрическими сетями.

В зависимости от типа объекта и числа контролируемых входов-выходов, ALSTOM поставляет системы управления: S10, S100, PSCN 3020, PSCN 3040, SPACE 2000, OMNIBUS и др., имеющие соответственно разную скорость обработки и отображения информации.

3.4. Техническое обслуживание цифровых реле.

Все виды технического обслуживания, программы и периодичность их проведения регламентируются правилами технического обслуживания устройств релейной защиты и автоматики. Требования к техническому обслуживанию конкретного устройства РЗА (объемы, периодичность и методы обслуживания) определяются его изготовителем и включаются в ТЗ, ТУ и инструкции по эксплуатации. Как правило, подготовка цифрового устройства РЗА к работе предусматривает внешний осмотр, проверку сопротивления изоляции, выставление и проверку уставок, тестовую проверку в соответствии с ТО. Производится ранжирование реле, то есть создание внутренней схемы: назначение входов,

выходных реле, светодиодов, ввод или вывод отдельных ступеней защиты. Уже говорилось о том, что пока цикл обслуживания целесообразно оставить 6 летним с обязательным выполнением первого профилактического контроля.

Однако, цифровые устройства защиты более информативны и существенно отличаются по конструктивному исполнению от их аналоговых предшественников. Так, высокая плотность монтажа, использование многослойных печатных плат, отсутствие принципиальных схем и полной информации по алгоритмам функционирования узлов делает цифровые устройства защиты ремонтно-пригодными только до уровня отдельных конструктивных модулей. Встраиваемые системы самодиагностики и контроля, как правило, выводят на дисплей код неисправности, что упрощает поиск поврежденного узла. Однако, даже самые совершенные принципы не могут обеспечить 100%-ный самоконтроль. Поэтому микропроцессорные устройства также должны подвергаться техническому обслуживанию с участием персонала.

Благодаря высокой информативности цифровых устройств РЗА, их неисправность и неисправности в цепях измерительных трансформаторов, приводов выключателей может быть обнаружена косвенными способами. Так, практически все цифровые устройства могут предоставить информацию о контролируемых величинах, входных и выходных сигналах управления. Анализируя эти данные, можно своевременно обнаружить обрывы во входных и выходных цепях. По информации, запоминаемой в аварийных режимах (численные значения токов КЗ, время запуска тех или иных измерительных органов и т.д.), можно убедиться в правильном согласовании уставок как данного устройства РЗА, так и защит смежных участков. Еще большие возможности для подобного анализа открываются при включении устройств РЗА в АСУ ТП, когда вся необходимая информация может быть получена оперативно из разных источников.

Традиционный способ проверки устройства РЗА путем подачи внешних сигналов от устройства проверки с контролем основных параметров релейных органов (порога срабатывания коэффициента возврата, времени срабатывания и т.д.) также упрощается, если это устройстве микропроцессорное. Во-первых, малое потребление по цепям тока и напряжения позволяет автоматизировать процесс проверки, используя автоматизированные устройства, такие как OMICRON (фирма OMICRON, Австрия), ISA (фирма "Automatisation Laboratories", Италия), DOBBLE (Dobble Engineering Co., США), RETOM (фирма "Динамика", Россия) и FREJA (фирма "Programma", Швеция). Это оборудование сводит к минимуму участие человека в проведении проверки и оформлении отчетности. К тому же сохранение результатов проверки в виде файлов позволяет легко сопоставлять результаты проверок, проведенных в разное время. Следует отметить и то обстоятельство, что уставки цифровых реле легко могут быть получены через ЭВМ и, при

необходимости, оформлены в виде документа.

При работе с микропроцессорными устройствами РЗ следует принимать все меры, исключая повреждения электронных компонентов статическим электричеством. При ремонте аппаратура должна располагаться на заземленном токопроводящем столе. Тело работающего должно иметь потенциал стола, что обычно обеспечивается с помощью заземленного кольца или браслета. Такие меры защиты обусловлены тем, что электрический заряд, находящейся на теле человека, способен разрушать полупроводниковые структуры. Причем статическое электричество может и не вызвать выход изделия из строя сразу же, но предрасположит это изделие к отказу в будущем.

И еще один важный момент в обслуживании микропроцессорных устройств: ни в коем случае не следует расстыковывать и состыковывать разъемные соединения блоков устройства, когда оно находится под напряжением. Это обуславливается не столько соображениями техники безопасности (уровни напряжения в микропроцессорных устройствах, как правило, не превышают 36 В), а весьма высокой вероятностью выхода интегральных микросхем при несоблюдении очередности подключения внешних цепей. Общее правило следующее: на микросхему должно быть подано сначала напряжение питания и только затем — входные сигналы. В момент расстыковки и стыковки разъемов это условие часто не выполняется, что и приводит к повреждениям оборудования.

Таким образом, осуществляя переход на микропроцессорную защиту необходимо учитывать ряд проблем, одна из которых в значительной мере снижает эффект защиты — электромагнитная совместимость. При этом, прежде чем устанавливать МП защитную аппаратуру, необходимо провести реконструкцию всех действующих подстанций с тем, чтобы заземляющие контуры довести до соответствующих требований. Однако вместо этого можно дублировать защиту аппаратами, работающими на разных принципах. Бессмысленно дублировать защищаемый объект аналогичными защитами, поскольку переходных процессов эти устройства будут вести себя совершенно одинаково. А вот когда второе дублирующее устройство работает на другом проверенном принципе (электрохимическое устройство), то это уже другой подход — грамотный. Поэтому не следует забывать и об электрохимической элементной базе, которая по сравнению с микропроцессорной более устойчива к внешним воздействиям разнообразного характера [5].

Содержание отчета

1. Указать цель лабораторной работы.
2. Привести структурную схему цифрового реле защиты
3. Дать краткую характеристику основных узлов цифрового реле.
4. Письменно ответить на один из контрольных вопросов, взятого согласно порядковому номеру по журналу.

Контрольные вопросы

1. Перечислите элементные базы устройств РЗА и проведите их сравнительный анализ.
2. Назовите достоинства и недостатки микропроцессорных устройств РЗА.
3. Приведите структурную схему цифрового устройства защиты.
4. Перечислите основные черты цифрового устройства.
5. Назначение центрального и вспомогательного узлов МП устройств РЗА.
6. Поясните назначение и принцип работы ЭВМ.
7. Назовите основные требования к МП устройствам РЗА.
8. Как обеспечивается помехозащищенность МП устройств?
9. Поясните принцип аналого-цифрового преобразования электрических сигналов МП устройства РЗА.
10. Почему в качестве выходных реле в цифровых устройствах РЗА используются электромагнитные промежуточные реле?
11. Как осуществляется дискретизация и квантование входной величины?

12. Поясните, как осуществляется отображение информации в МП устройствах РЗА?
13. Перечислите цифровые МП устройства отечественного производства.
14. Основные характеристики цифровых реле.
15. Как определяется собственное время срабатывания цифровых реле?
16. Как обеспечивается надежность МП устройств?
17. Охарактеризуйте микропроцессорные устройства серии УЗА-10А.2.
18. Дайте краткую характеристику МП РЗА «Диамант».
19. Охарактеризуйте цифровое устройство защиты и автоматики типа «Сириус».
20. Дайте оценку новой системе релейной защиты Мисом Р220.
21. Поясните выбор уставок МТЗ и ТО в цифровом устройстве защиты.
22. Перечислите особенности эксплуатации МП устройств РЗА и охарактеризуйте надежность функционирования систем с цифровым реле.
23. Описать, как производится техническое обслуживание МП устройств РЗА?
24. Охарактеризуйте новую серию МП устройств «Орион».
25. Дайте общую характеристику отечественного микропроцессорного устройства типа МРЗС-05.

Литература

1. Усачев Ю.В. Релейная защита и автоматика Единой энергосистемы // Энергетик. – 2002. - № 1. – с. 5-6.
2. Микропроцессорные гибкие системы релейной защиты / В.В. Михайлов, Е.В. Кириевский, Е.М. Ульяницкий и др.; Под ред. В.П. Морозкина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 240 с.
3. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. – М.: МЭИ, 2006. – 296 с.
4. Головацкий В.Г., Пономарев И.В. Современные средства релейной защиты и автоматике электросетей. – К.: Энергомашвин, 2004. – 150 с.
5. Микропроцессорные системы в электроэнергетике / Б.С. Стогний, В.В. Рогоза, А.В. Кириченко и др. – К: Наук. думка, 1988 – 232 с.

Упорядники:
В. Д. Трифонов, професор
О.Р. Ковальов, ст. викл
Д. В. Трифонов, доцент

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ РЗ – 7

«Вивчення мікропроцесорного релейного захисту, автоматики та дистанційного управління приєднань 6-35 кВ з використанням цифрової елементної бази»
З дисципліни «Основи релейного захисту та автоматики» для студентів напрямку підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»

Друкується в редакції укладача

Підписано до друку 01.03.09. Формат 30 x 42/4.
Папір Rollux. Ризографія. Умовн. друк. арк 1,2.
Обліково-видавн. арк 1,2. Тираж 30 прим. Зам. №

Безкоштовно

Кафедра систем електропостачання

НГУ
49027, м. Дніпропетровськ -27, просп.К.Маркса,19.