

3. МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УСТРОЙСТВА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ, АВТОМАТИКИ, ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

При написании главы, с согласия автора, использована книга В. Я. Шмурёва. «Цифровые реле защиты.»

3.1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ

Большинство фирм производителей оборудования РЗА прекращают выпуск электромеханических реле и устройств и переходят на цифровую элементную базу.

Переход на новую элементную базу не приводит к изменению принципов релейной защиты и электроавтоматики, а только расширяет ее функциональные возможности, упрощает эксплуатацию и снижает ее стоимость. Именно по этим причинам микропроцессорные устройства очень быстро занимают место устаревших электромеханических и микроэлектронных устройств.

Основные характеристики микропроцессорных защит значительно выше, чем у микроэлектронных, а тем более электромеханических. Так, мощность, потребляемая от измерительных трансформаторов тока и напряжения, находится на уровне 0,1—0,5 ВА, аппаратная погрешность — в пределах 2—5%, коэффициент возврата измерительных органов составляет 0,96—0,97.

Мировыми лидерами в производстве устройств РЗА являются концерны GE, AREVA (ALSTOM), ABB, SIEMENS. Общей для них является тенденция все большего перехода на цифровую технику. Цифровые защиты, выпускаемые этими фирмами, имеют высокую стоимость, которая, впрочем, окупается их высокими техническими характеристиками и многофункциональностью. Использование цифровых способов обработки информации в устройствах РЗА существенно расширило их возможности и улучшило эксплуатационные качества. В последнее время выпуск микропроцессорных устройств РЗА освоили и ряд фирм России, Украины и других стран ближнего зарубежья. Компанией Энергомашвин (ЭМВ) разработан и выпускается целый комплекс микропроцессорных устройств, охватывающий практически полностью потребности распределительных сетей 6-110кВ.

Современные цифровые устройства РЗА интегрировали в рамках единого информационного комплекса функции релейной защиты, автоматики, измерения, регулирования и управления электроустановкой. Такие устройства в структуре автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) энергетического объекта являются окончательными 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 непригодны для работы с традиционной аппаратурой.

3.2 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ

3.2.1 Структурная схема

Цифровые устройства РЗ различного назначения имеют много общего, а их структурные схемы очень похожи и подобны представленной на рис. 3.1. 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.

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 следующие:

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 нормированно-

му 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 входных сигналов аналоговые ($U3$, $U4$) и логические ($U1$, $U2$). Первые стремятся выполнить так, чтобы обеспечить линейную (или нелинейную, но с известным законом) передачу контролируемого сигнала во всем диапазоне его изменения.

Преобразователи логических сигналов, наоборот, стремятся сделать чувствительными только к узкой области диапазона возможного нахождения контролируемого сигнала.

Выходные преобразователи. Воздействия устройства 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.

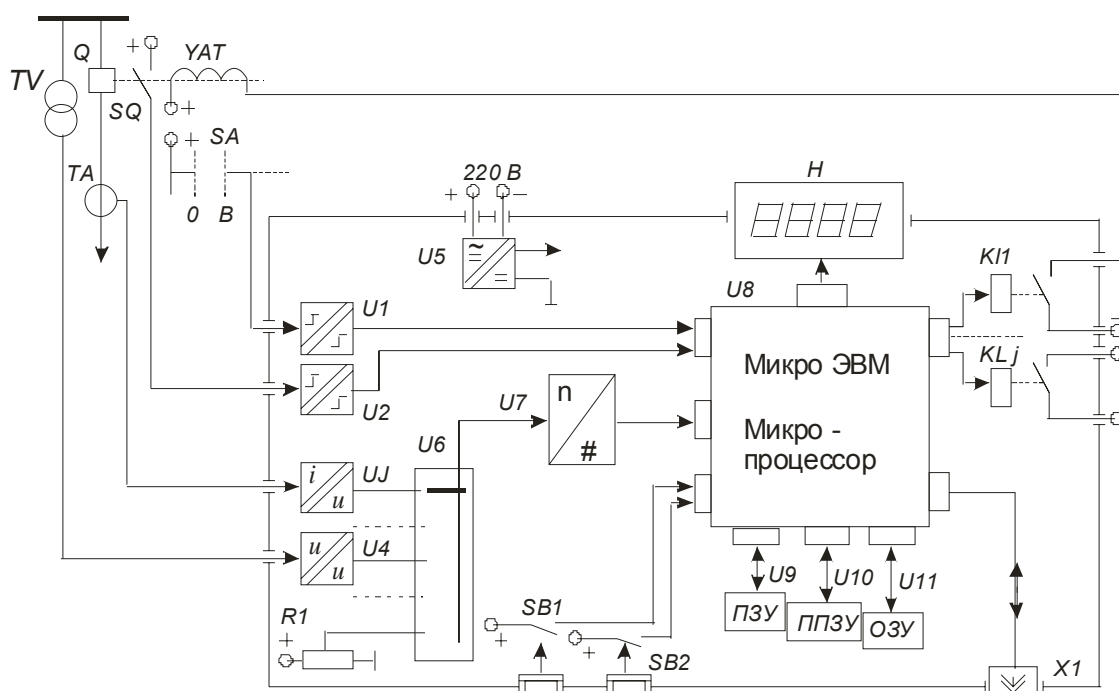


Рис. 3.1. Структурная схема цифрового устройства защиты

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 с питанием от сети постоянного тока. Имеются также блоки питания от цепей переменного напряжения и тока (переменный оперативный ток).

Дисплей и клавиатура являются неперенными атрибутами любого цифрового устройства, позволяя оператору получить информацию от устройства, изменить режим его работы, ввести новую информацию. Надо отметить, что дисплей H и клавиатура $SB1$, $SB2$ цифровых устройств, 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. Комму-

никационный порт — необходимый элемент для дистанционной работы с данным устройством.

Наряду с вышеперечисленными, цифровые устройства, в общем случае, могут содержать и другие узлы, например, цифро-аналоговые преобразователи - при формировании аналоговых сигналов управления и регулирования.

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. 3.2.

Центральный управляющий и решающий блок микроЭВМ называется центральным процессорным устройством (Central Processing Unit-CPU) или просто процессором. Этот узел может быть изготовлен в виде одной интегральной микросхемы (ИМС), что дало повод 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 устройства защиты, программа записывается в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ).

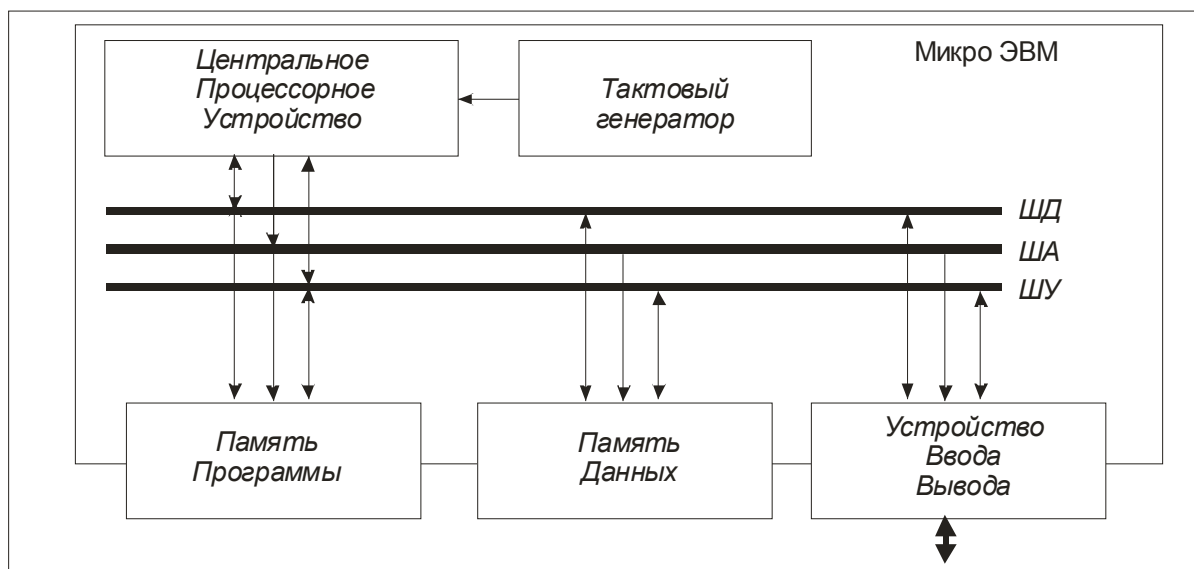


Рис. 3.2 Структурная схема микроЭВМ

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 *ШД*, 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 *ШД*. 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. Современные микроЭВМ работают 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.

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: 1 А, 5 А, 100 В. Такие уровни сигналов обеспечивают необходимую помехозащищенность, но совершенно неприемлемы для обработки в электронных схемах. 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.

Входные преобразователи

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. 3.3) основное внимание уделяется снижению междомоточной 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 в 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.

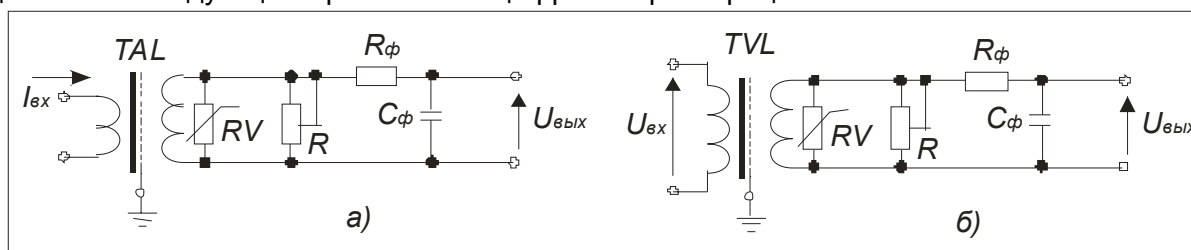


Рис. 3.3. Входные преобразователи на основе промежуточных трансформаторов

Аналогово-цифровые преобразователи

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 *дискретизацией* 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. 3.4).

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

Для периодических сигналов существует взаимосвязь между верхней частотой преобразуемого сигнала и необходимым количеством выборок. 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.:

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

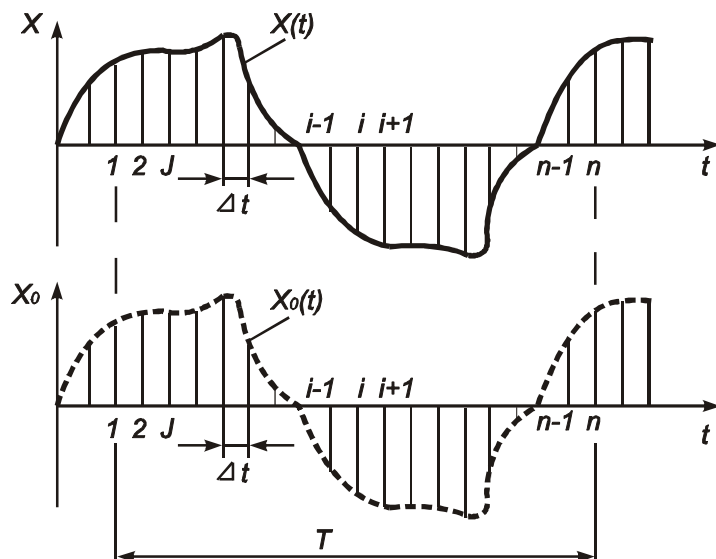


Рис. 3.4 Аналого-цифровое преобразование сигнала

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 f_B .

В устройствах РЗА применяют АЦП с частотой выборок от 600 до 2000 Гц. Более высокая частота выборок используется в том случае, когда устройства 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. 3.5), 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.

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 $0 - I_{ном}$, а в аварийных — достигает $(10+30)I_{ном}$. Для преобразования с погрешностью не более 2—5 % требуемое число ступеней квантования m должно быть $2000 \div 4000$, т. е. требуется АЦП с $p = 11+12$.

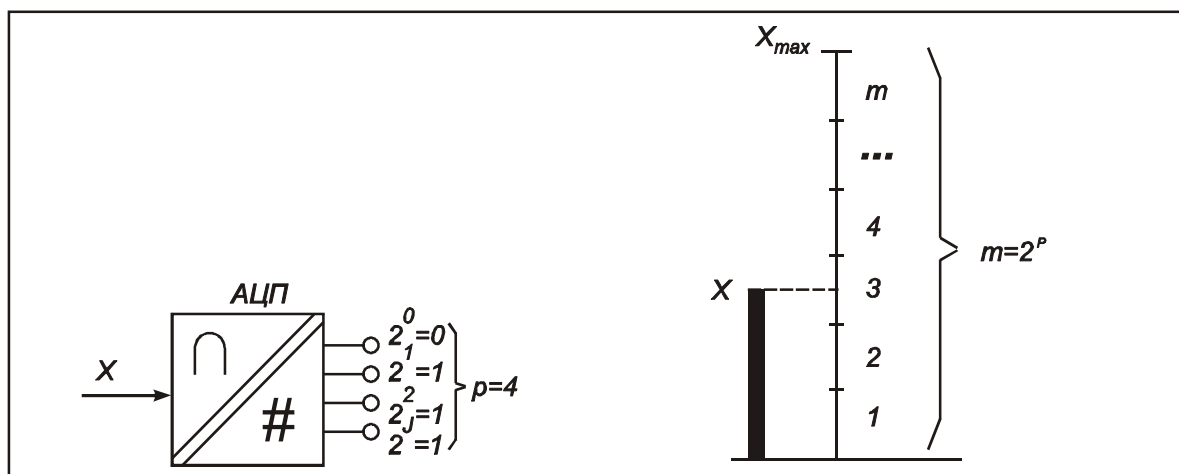


Рис. 3.5 К пояснению разрядности АЦП

Ввод дискретных сигналов

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. 3.6.

Собственное время переключения оптронов составляет доли микросекунды. Для оптопары (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.

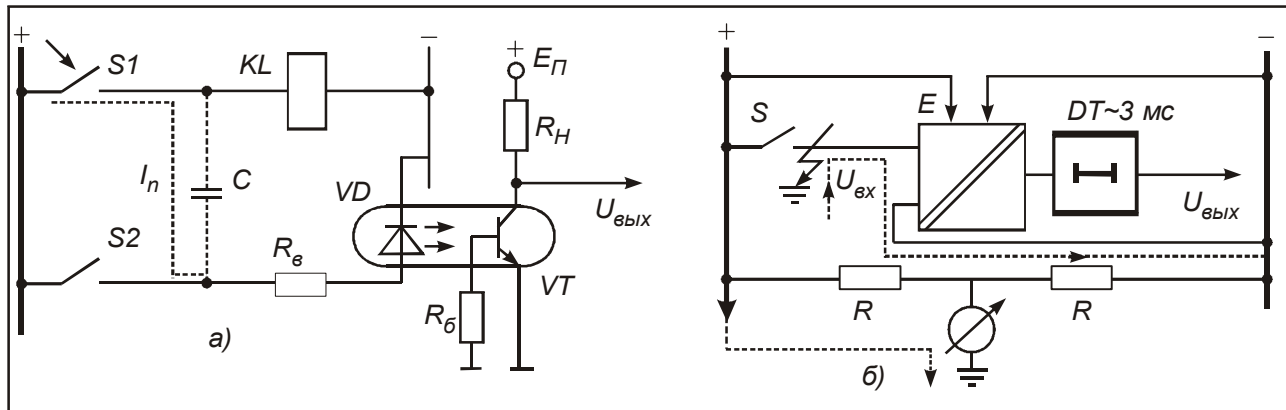


Рис. 3.6 Варианты ввода дискретного сигнала

Малый входной ток оптрона с одной стороны является благом, так как приводит к снижению мощности, потребляемой преобразователем, решает проблему рассеивания тепла резистора R_6 и уменьшает нагрузку на управляющий контакт $S2$ (рис. 3.6, 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 $S2$ с оптроном, возможно ложное срабатывание при перезарядке паразитной емкости C в момент замыкания ключа $S1$ в сторонней цепи. Чтобы исключить ложную работу устройства $P3$ в такой ситуации, на выходе преобразователя устанавливают элемент задержки DT (рис. 3.6, 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.

Выходные реле

Несмотря на очевидные достижения в области высоких потенциалов и сильных токов, в цифровых устройствах, в большинстве случаев, в качестве выходных элементов 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 $P3$ 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 применяемых сигнальных реле обычно не превышает 0,15 А в цепях постоянного тока напряжением 220 В.

Отображение информации

Для отображения информации в микропроцессорных устройствах используются и отдельные светодиодные индикаторы, жидкокристаллические минидисплеи, и даже графические экраны. Для простоты будем называть совокупность элементов визуального отображения информации в устройстве дисплеем.

Очевидно, что дисплей не должен быть дорогим, так как "общение" человека с устройством происходит крайне редко. Дисплей должен обеспечивать быстрое и однозначное представление информации. 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 устройствах 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. 3.7 представлены некоторые варианты выполнения дисплеев устройств РЗ.

В некоторых типах цифровых устройств защиты (рис. 3.7, 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. 3.7, 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. В последнее время появились более дорогие ЖКИ, способные работать при температурах до -25°C .

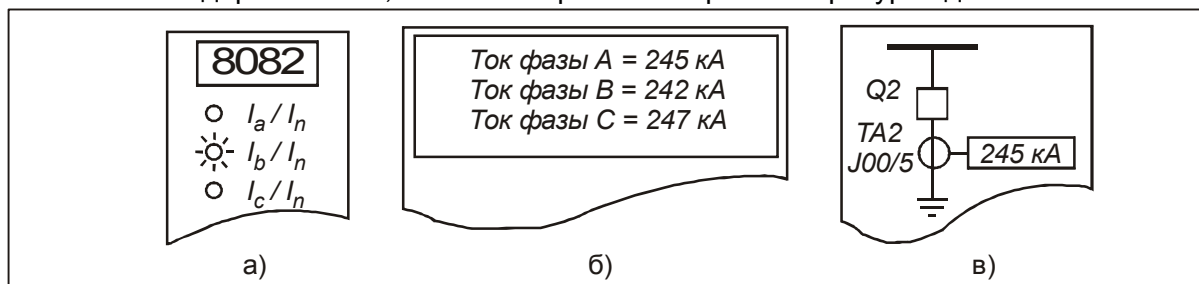


Рис. 3.7. Варианты дисплеев цифровых устройств защиты

Наиболее наглядно информация представляется на графическом дисплее, что в какой-то мере демонстрирует рис. 3.7, в.

Цифровые устройства имеют погрешность 2 — 5%. С учетом этой погрешности и выполняются дисплеи цифровых устройств — с возможностью отображения лишь трех значащих цифр. В цифровых устройствах 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 в устройство дополнительной информации — 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.

Управление аппаратурой

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, варьируется 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, оптимальное — 5: вверх, вниз, влево, вправо, ввод.

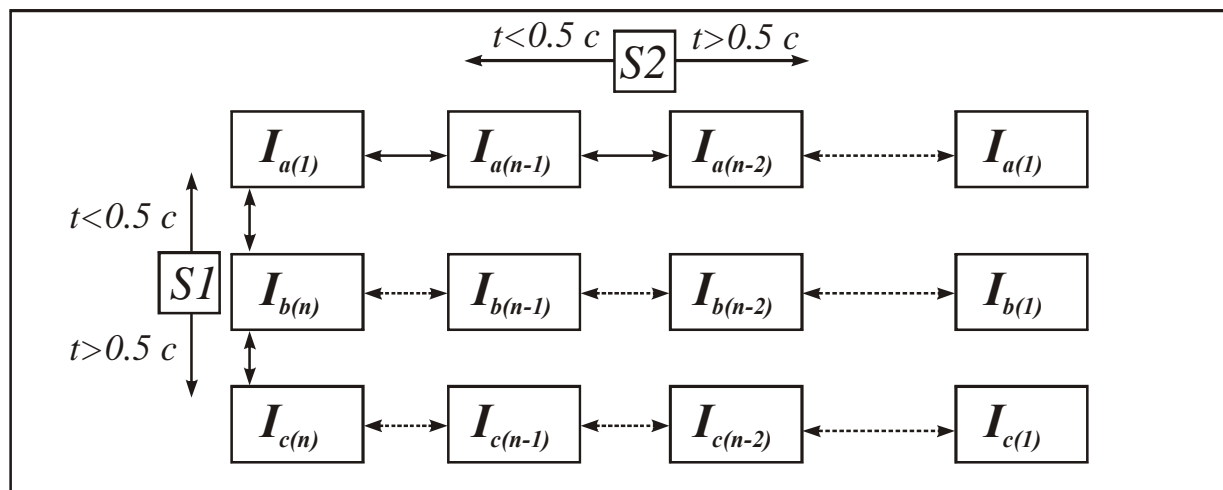


Рис. 3.8 Поиск информации в памяти устройства

Состояния, доступные с помощью кнопок управления, представляются двухмерным массивом. Продвижение по координатам массива осуществляется соответствующими кнопками, а выбор элемента массива производится одновременным нажатием кнопки “ENTER”. Поясняет этот принцип рис. 3.8, где в качестве примера рассматривается процесс поиска информации о фазных токах, которые фиксировались в памяти защиты в момент срабатывания при помощи двухкнопочной клавиатуры. Предполагается, что в памяти данного устройства хранится информация по l последним событиям, причем последнее событие имеет номер l .

Устройства хранения информации

Одним из важнейших узлов цифровых устройств являются устройства хранения информации. В настоящее время для хранения информации используются различные типы статических запоминающих устройств, которые в функциональном отношении подразделяются на ПЗУ, ОЗУ и ЭППЗУ.

Для хранения рабочей программы в устройствах защиты обычно используются **постоянные запоминающие устройства - ПЗУ**. Отличительной чертой ПЗУ является однократная запись информации. В последующем возможно только считывание записанной информации. Отсюда и происходит англоязычное название этого типа памяти ROM (Read Only Memory — только считываемая память). Достоинством микросхем ПЗУ является их низкая стоимость и возможность хранения информации при отключении питания.

В последнее время все шире начинают применяться так называемые перепрограммируемые устройства памяти. Особенно они актуальны для устройств защиты, рабочая программа которых должна изменяться в процессе эксплуатации. В настоящее время существуют устройства РЗА, у которых нужные функции защиты выбираются из библиотеки стандартных функций самим пользователем. Логическая часть этих устройств РЗА создается пользователем из базовых логических функций типа И, ИЛИ, ТРИГГЕР и т. д. Рабочая программа в таких устройствах защиты располагается в **перепрограммируемом постоянном запоминающем устройстве** (ППЗУ или **EEPROM** — Electrical Erasable Programmable Read Only Memory — электрически перезаписываемая постоянная память). Подчеркнем, что ППЗУ является энерго-независимой памятью, т. е. хранящая в ней информация не разрушается в обесточенном состоянии.

Для временного хранения результатов промежуточных вычислений используются **оперативные запоминающие устройства (ОЗУ** или иначе **RAM** — Random Access Memory — память с произвольным доступом). Запись и считывание данных в ОЗУ осуществляется с максимальной скоростью. Существенным недостатком ОЗУ является разрушение информации при отключении питания.

Для хранения уставок и других параметров, которые приходится изменять в процессе эксплуатации защиты, используются ППЗУ, допускающие многократное изменение уставок.

Промежуточным решением задачи стало хранение уставок в ОЗУ, имеющем резервное питание от встроенного в изделие источника О. В таких устройствах применяют специальные малопотребляющие ИМС и литиевые батареи, имеющие срок службы 5—6 лет. Недостаток очевиден — необходим периодический контроль и своевременная замена источника питания.

Как и любое другое изделие, устройства памяти могут повреждаться или терять информацию, например, под воздействием ионизирующих излучений. Для обнаружения этого применяются следующие способы.

В ПЗУ, где данные размещаются в ячейках памяти, последовательно выполняют формальное суммирование всех чисел этого массива данных, а результат (контрольную сумму) помещают в определенную ячейку. В режиме тестовой проверки ПЗУ компьютер рассматривает его как объект исследования, выполняет подсчет суммы фактических чисел, хранящихся в ячейках, и сравнивает с контрольной суммой. При проверке ОЗУ в его ячейки поочередно записывают нули и единицы, а затем анализируют получающиеся при считывании результаты. В устройствах с EEPROM-памятью имеется возможность даже восстанавливать утерянную информацию. Для этого важнейшие массивы информации, например, уставки, дублируются в разных микросхемах памяти. Так как одновременное повреждение информации в двух микросхемах маловероятно, то имеется возможность восстановить информацию перезаписью содержимого неповрежденного массива на место поврежденного.

Блоки питания

Практически во всех современных устройствах используются импульсные блоки питания, выполняемые на базе высокочастотных инверторов. Схематично такой БП с однотактным инвертором представлен на рис. 3.9

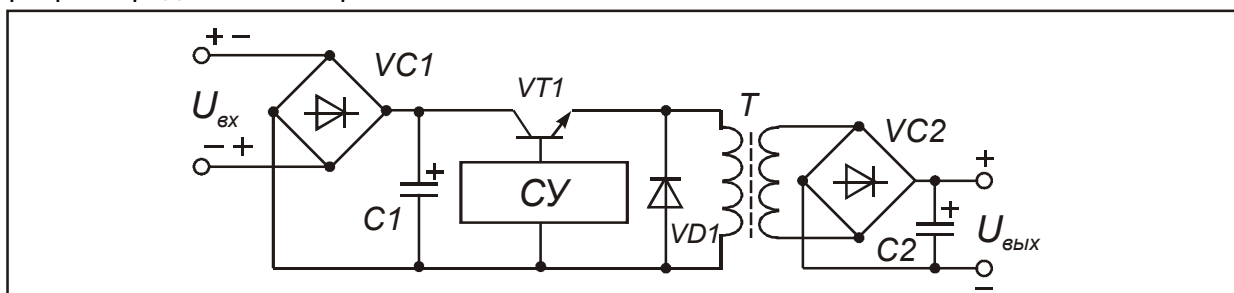


Рис. 3.9

Упрощенная схема импульсного блока питания: СУ — схема управления

С помощью электронного ключа, выполненного на транзисторе VT1, на первичную обмотку развязывающего трансформатора T 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 проходной 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 питания 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 внутрь устройства.

Интерфейсы цифровых устройств

Под интерфейсом понимается совокупность аппаратных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации взаимодействия различных цифровых устройств, объединенных в систему.

По принципу обмена информацией интерфейсы подразделяются на интерфейсы с *параллельной и последовательной* передачей данных.

Наиболее быстрый обмен информацией между двумя цифровыми устройствами обеспечивает *параллельный* интерфейс, упрощенная схема которого представлена на рис. 3.10, а.

В этом случае по синхронизирующему сигналу СС (в действительности это может быть последовательность из нескольких сигналов управления) передающее устройство выставляет на шину данных ШД одновременно все разряды передаваемого числа, а приемное устройство его считывает. Как видно, параллельный интерфейс требует достаточно сложного тракта передачи, включающего $n + 1$ физические линии при n -разрядном слове передаваемых данных. Чаще всего этот тип интерфейса применяется при передаче информации на небольшие расстояния (например, при связи компьютера с принтером) или при необходимости обеспечить наивысшую скорость обмена.

Технически более просто выполняется интерфейс с *последовательной* передачей данных. В этом случае слово данных передается последовательно разряд за разрядом. Наиболее распространен асинхронный режим передачи данных, схематически представленный на рис. 3.10, б. Асинхронный способ передачи данных требует минимального количества линий. При асинхронной передаче используют определенные договоренности, позволяющие приемнику распознать не только начало и окончание передачи, но и даже обнаруживать искажение информации при передаче. Это обеспечивается следующим образом. В режиме ожидания передатчик выдает в линию сигнал логической единицы. Начало передачи приемник распознает по появлению на линии логического нуля. Это так называемый стартовый бит *СТБ*. Длительность передачи одного бита заранее оговорена, т. е. приемник и передатчик должны быть предварительно настроены. После окончания передачи стартового бита *СТБ*, передатчик передает разряд за разрядом биты данных *БД*. После передачи данных следует так называемый бит паритета *БП*. Бит паритета по договоренности устанавливается передатчиком в состояние логической единицы, если в бите (слове) данных нечетное число единиц, и используется "четный" паритет. И, наоборот, в случае договоренности о работе с "нечетным" паритетом, биту паритета присваивается нулевое значение. Таким образом, используя бит паритета, приемник способен обнаруживать единичные сбои при передаче данных. Оканчивается сообщение передачей стоповых битов *СПБ* (1; 1,5 или 2 бита). По сути, стоповые биты определяют минимальный интервал между передачей отдельных слов данных. При асинхронной передаче обычно используется стандартный ряд скоростей: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400 бит/с и т. д.

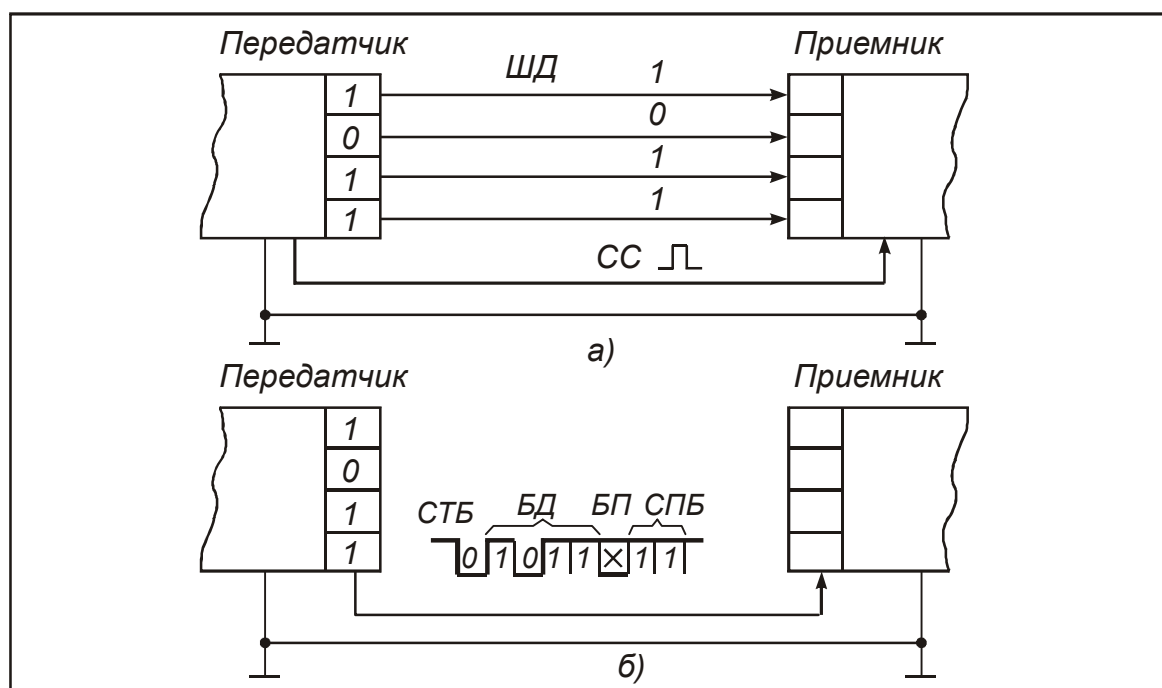


Рис. 3.10 Варианты обмена информацией

Существует достаточно много стандартов на каналы последовательной связи. Стандарты отличаются по скорости обмена, организации и длине линий связи и т. д.

Наиболее известен стандарт RS232, применяемый в IBM-совместимых ПК. Стандарт RS232C разработан в 1969 г. Интерфейс обеспечивает дальность связи до 15 м со скоростью до 19 200 бод. Уровни используемых сигналов:

лог. 0 = +3 ÷ +25 В, лог. 1 = -3 ÷ -25 В. Сопротивление нагрузки 3 - 7 кОм.

В ряде цифровых устройств порт последовательной связи выполнен в стандарте RS485. В этом стандарте используются сигналы с уровнями: лог. 0 = 0 В, лог. 1 = +5 В. Стандарт RS485 требует симметричный канал (витая пара). Обеспечивает связь сегментами длиной до 1200 м с возможностью подключения до 32 узлов на сегмент. Минимальное сопротивление нагрузки — 60 Ом; скорость обмена—до 10 Мбит/с.

Как видно, порты у цифрового устройства и персонального компьютера выполнены в разных стандартах, что исключает их непосредственное соединение. Для их соединения требуется элемент- так называемый преобразователь протоколов (конвертор).

Проводные каналы связи

Передача импульсов по электрическому каналу с ограниченной полосой пропускания $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$ сопровождается задержкой и искажением формы передаваемого импульса (рис. 3.11).

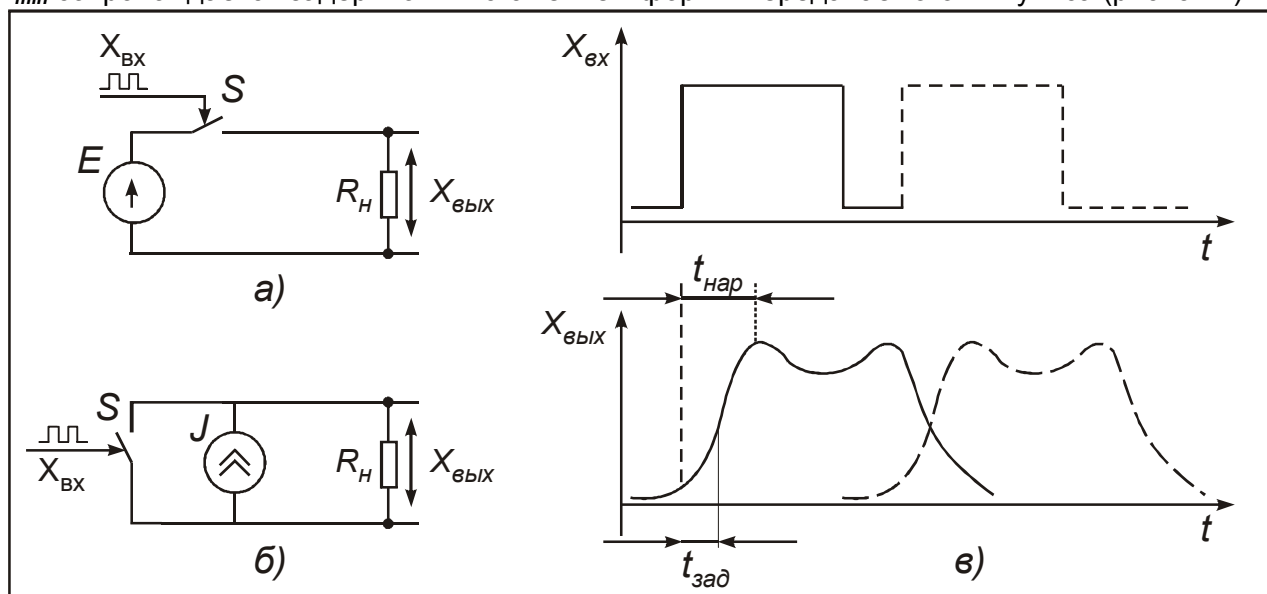


Рис. 3.11. Искажения сигнала при передаче по реальному каналу

$X_{\text{вх}}$ – входной сигнал; $X_{\text{вых}}$ – выходной сигнал; $t_{\text{нар}}$ – время нарастания сигнала; $t_{\text{зад}}$ – время задержки сигнала

На рис. 3.12 представлена схема передачи информации с использованием волоконно-оптического канала связи.

Основными компонентами этой системы являются: оптический излучатель VD , световод C и светочувствительный элемент (фотоприемник) VT . В качестве излучателей используются полупроводниковые светодиоды и последнее достижение оптоэлектроники — недорогие твердотельные диодные лазеры. В отличие от диффузионных светодиодов, лазеры являются источниками когерентного излучения. Обычно используется излучение с длиной волны 800 нм (инфракрасная область невидимого спектра). В качестве детекторов используются фототранзисторы и *pin*-диоды. Последние являются высококачественными оптическими детекторами со временем срабатывания в несколько наносекунд и чувствительностью до 1000 фотонов/с. Движение света вдоль криволинейного световода происходит при многократном внутреннем отражении луча на границе световод-оболочка.

Волоконно-оптический кабель (ВОК) является сложным сооружением, где, кроме обеспечения минимальных потерь энергии при передаче, достаточно много внимания уделено защите световода от внешних воздействий. Существует несколько типов ВОК. Самым дешевым является волокно со ступенчатым изменением коэффициента преломления. Часто для этой цели используются оптически прозрачная пластмасса. Минимальные потери в пластмассовом волокне наблюдаются в области видимого (красного) излучения. С помощью пластмассовых световодов можно передавать данные на расстояние до нескольких десятков метров. В кабелях более высокого качества используется кварцевое волокно. Кварцевые световоды бывают со ступенчатым и плавным изменением коэффициента преломления (лучше). Последним достижением волоконно-оптической дальней связи является передача информации на частотах до 4 Гц и на расстояние 120 км без повторителей.

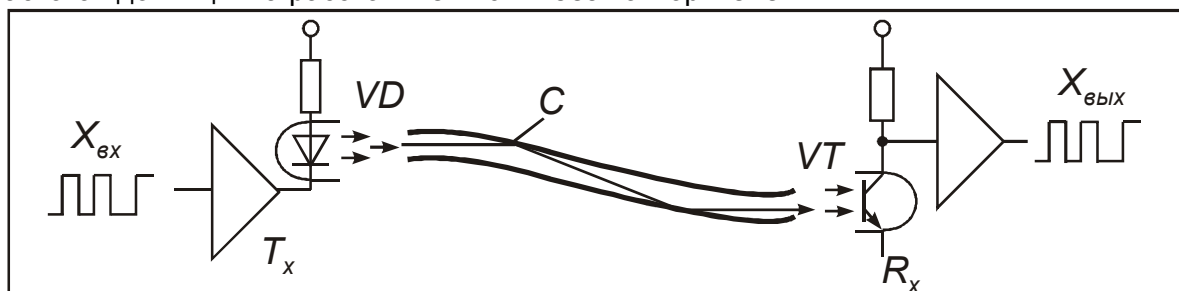


Рис. 3.12. Схема передачи информации с использованием волоконно-оптического канала связи

Световоды, по сравнению с электрическими кабелями, обладают рядом достоинств:
– высокая помехозащищённость в условиях электромагнитных полей;

- большая пропускная способность. По сравнению с коаксиальными кабелями, в которых скорость и потери существенно зависят от частоты, дисперсия (зависимость фазовой скорости волны от частоты) ВОК незначительна, а следовательно, в них в меньшей степени наблюдается уширение импульсов (рис. 3.11, в);

- безопасность при эксплуатации. Исключается вынос электрического потенциала из электроустановки; невозможно возгорание кабеля по причине короткого замыкания;

- не используется дефицитная медь, что делает их потенциально дешевле в перспективе при отработке технологии производства оптоволоконна;

- высокие эксплуатационные характеристики: малый радиус изгиба, не критичность к условиям прокладки (возможна прокладка рядом с силовыми кабелями), малые массогабаритные показатели и т. д.

Основным же недостатком ВОК является сложность сопряжения (стыковки) световодов между собой, а также с излучателями и приемниками сигналов. Это обуславливается и малым сечением волокна (диаметр 0,125 мм и менее), и необходимостью выполнения среза волокна строго перпендикулярно его оси и обработки среза с высокой точностью чистоты для минимального затухания. По этой причине одножильные кабели протяженностью до нескольких десятков метров в настоящее время считаются неремонтопригодными. Однако технология сращивания оптических кабелей быстро совершенствуется.

При использовании ВОЛС цифровые устройства защиты необходимо оснащать модулем оптико-электронного преобразования. Такой модуль может быть как встроенным, так и внешним.

В качестве примера рассмотрим организацию ВОЛС между цифровыми устройствами верхнего уровня АСУ ТП (рис. 3.13).

На схеме приняты следующие сокращения: R_x (Receiver) – приемник сигнала T_x (Transmitter) – передатчик сигнала.

Под шиной связи понимается совокупность аппаратных средств связи и правил формирования передаваемых сообщений, оговоренных в протоколе обмена. Физически шина представляет собой оптико-волоконную петлю, последовательно связывающую отдельные устройства и устройство верхнего уровня. Передача сигнала только в одном направлении существенно упрощает конструкцию оптико-электронных преобразователей. Сообщения, передаваемые по оптической петле, циркулируют от одного оптико-электронного преобразователя к другому до тех пор, пока не найдут своего адресата.

Для практических целей можно применять следующее соотношение между предельной скоростью передачи импульсов V_{max} (измеренной в бодах; бод — это скорость передачи, исчисляемая в тактах за секунду) и полосой пропускания канала Δf (задаваемой в герцах):

$$V_{max} \leq 2\Delta f \quad (3.1)$$

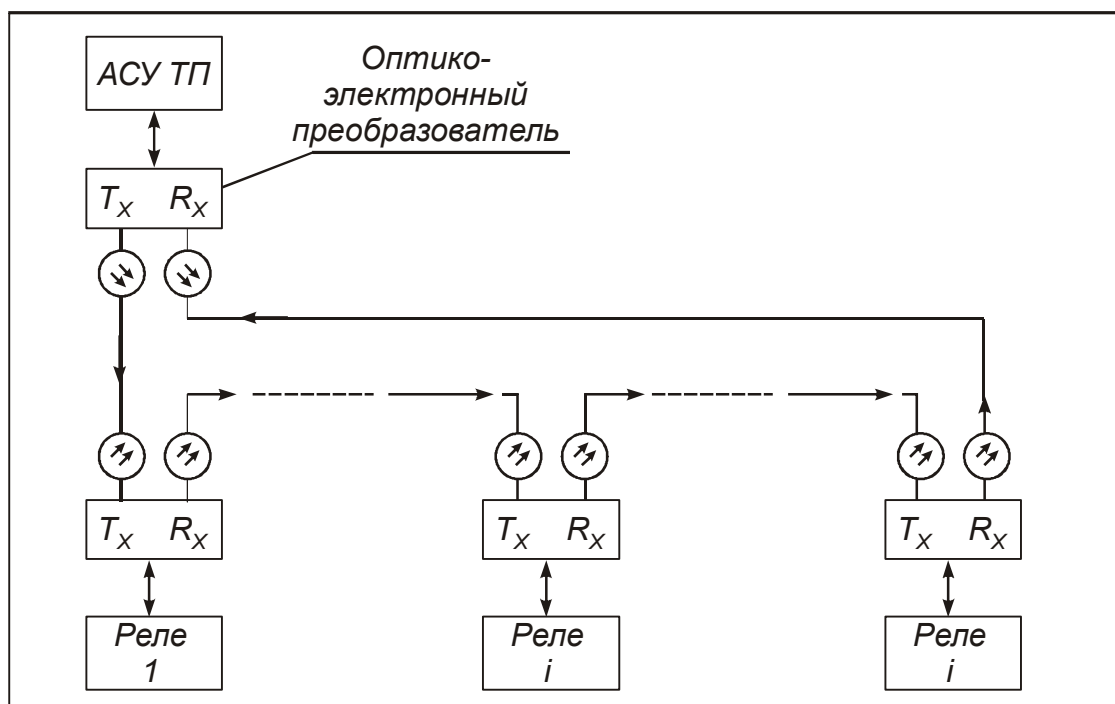


Рис. 3.13. Организация волоконно-оптического канала связи

Как видно, узкополосный канал ограничивает скорость обмена. Например, при передаче информации по телефонному каналу с полосой пропускания $\Delta f = 3200$ Гц максимальная скорость будет равна 6400 бод.

Для передачи импульсных сигналов по телефонным линиям, рассчитанным на передачу тональных (аналоговых) сигналов используют модемы. Как следует из названия, модем (МоДем = Модулятор + Демодулятор) обеспечивает преобразование импульсных сигналов в тональные сигналы путем модуляции несущей частоты. Современные модемы обеспечивают полnodуплексную связь, т. е. передачу информации по одному телефонному каналу одновременно в обоих направлениях, например, при передаче в одном направлении используется несущая частота 1200 Гц, а в другом — 2400 Гц. Иногда взамен амплитудной модуляции используется частотная или фазовая модуляция. Перспективной является, так называемая, фазовая манипуляция. В этом случае, изменение фазы осуществляют после передачи пары битов (дебита): 00 = 0°; 01 = 90°; 10 = 180°; 11 = -90°. Фазовая манипуляция как бы снижает эквивалентную скорость передачи и способствует повышению пропускной способности канала.

При передаче информации по последовательному каналу связи применяют различные способы проверки достоверности полученной информации. Это и сверка битов паритета с числом единиц в отдельных символах, и сверка суммы кодов всех символов, входящих в сообщение, с контрольной суммой этих кодов, передаваемой в конце сообщения. Все это исключает неправильное восприятие информации приемником. Однако, при большом уровне электромагнитных помех эффективная скорость передачи информации по электрическим линиям связи резко падает, так как искаженное сообщение приходится повторять. По этой причине, в условиях электростанций и подстанций альтернативой электрическим линиям становятся волоконно-оптические линии связи.

Волоконно-оптические каналы передачи информации

Волоконно-оптические системы связи стали развиваться с начала 70-х годов. Им предшествовало появление в начале 60-х годов лазера — мощного инструмента для передачи информации. Однако естественная среда — атмосфера оказалась нестабильной для организации связи в оптическом диапазоне. Способствовало развитию волоконно-оптических систем и уже отлаженное к этому времени производство сверхчистого кремния, необходимого для получения высококачественного кварцевого стекла. Начиная с 1978 года волоконно-оптические системы начали использоваться и для коммерческих целей. В настоящее время эта отрасль бурно развивается.

Для исключения конфликтных ситуаций (одновременной передачи по петле нескольких сообщений), устройство верхнего уровня является ведущим и только ему дается право инициировать обмен информацией. Ведомые устройства могут только отвечать на запросы ведущего устройства.

При необходимости одновременного обращения ведущего устройства ко всем ведомым (например, при синхронизации внутренних часов) используется так называемый широковещательный режим. При этом используется общий для всех ведомых адрес.

3.2. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВАХ

Основные характеристики цифровых устройств

Цифровые устройства обладают всеми достоинствами, достигнутыми с помощью электронных устройств 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 устройств), малое потребление мощности от трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) (на уровне 0,1—0,5 ВА вместо 10—30 ВА у электромеханических устройств). Правда, при этом электронным устройствам требуется надежный источник питания. Практически независимо от числа реализуемых функций, цифровое устройство РЗ потребляет от сети оперативного тока мощность порядка 5—20 Вт.

Собственное время срабатывания цифровых устройств

Собственное время срабатывания измерительных органов цифровых устройств 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 выражению:

$$x_d = \sqrt{\left(\frac{1}{T} \int_t^{t+T} x^2(t) dt \right)} \quad (3.2)$$

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 устройства, 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:

$$\int_t^{t+T} x(t) dt = \sum_{i=0}^N x(t_i) \Delta t \quad (3.3)$$

где

$x(t_i)$ – 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 устройства, 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 устройствах 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.

Фильтрация сигналов в цифровых устройствах

Если контролируемый сигнал периодический и существует достаточно длительное время, то для выделения основной гармоники (или любой другой) можно воспользоваться теорией гармонического анализа, в соответствии с которой для определения амплитуды k -й гармоники потребуется сначала вычислить ее ортогональные составляющие:

$$a_k = \frac{2}{T} \int_t^{t+T} x(t) \cos k\omega t dt, \quad b_k = \frac{2}{T} \int_t^{t+T} x(t) \sin k\omega t dt \quad (3.4)$$

и только затем — ее амплитуду:

$$X_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (3.5)$$

Как показано, ортогональные составляющие определяются путем интегрирования временной функции $x(t)$ в течение периода T .

Численный способ гармонического анализа применяется в том случае, когда функция $x(t)$ известна на промежутке $0 < t \leq T$ только в дискретной системе точек $t_n = nT/N$, $n = 0; 1; \dots, N-1$. Этот способ также связан с необходимостью использования при вычислениях составляющих, принадлежащих разным моментам времени:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) \cos \left(2\pi \frac{kn}{N} \right) dt, \dots, b_k = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(t_n) \sin \left(2\pi \frac{kn}{N} \right) dt, \dots, X_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (3.6)$$

И, наконец, рассмотрим работу цифрового фильтра. Цифровой фильтр работает с последовательностью из N выборок $X_{\text{вх } n}$, $n = 0; 1; \dots, N-1$, взятых с интервалом Δt из входного сигнала $X_{\text{вх}}(t)$. На выходе фильтра в результате определенных операций возникает последовательность чисел $X_{\text{вых } n}$.

Входной сигнал сложной формы $X_{вх}(t)$ может быть разбит на достаточно короткие прямоугольные импульсы (рис. 3.14, а). Для любой электрической цепи имеется ее импульсная характеристика $g(t)$, которая определяет процессы в цепи после завершения импульса (рис. 3.14, б). Сигнал на выходе электрической цепи в момент наблюдения n (рис. 3.14, в) вычисляется как сумма откликов цепи на все импульсы в промежутке от $t = 0$ до момента наблюдения n (Δt - длительность отдельного импульса), т. е:

$$X_{вых n} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{k=0}^n X_{вх k} g[(n-k)\Delta t] \approx \sum_{k=0}^n X_{вх k} g[(n-k)\Delta t] \quad (3.7)$$

Если используемые при вычислениях весовые коэффициенты $g[(n-k)\Delta t]$ будут совпадать с соответствующими значениями импульсной характеристики какого-либо частотного фильтра, то выходной сигнал цифрового фильтра будет эквивалентен выходному сигналу аналогового фильтра. Идеальный цифровой фильтр должен оперировать с бесконечным числом выборок из входного сигнала, предшествующих моменту вычисления очередной составляющей его выходного сигнала. Реальное цифровое устройство может работать лишь с конечным числом выборок N . Связывая число используемых выборок с неким временным окном наблюдения за входным сигналом (рис. 3.14, а), можно отметить следующее.

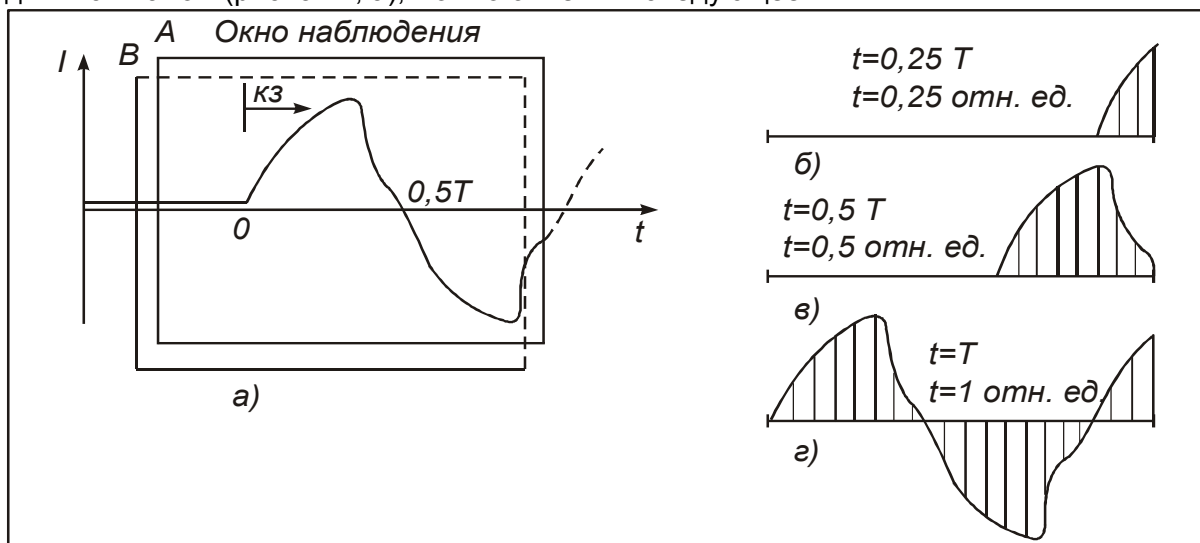


Рис. 3.14. Наблюдение реального сигнала

В первые моменты времени после скачкообразного изменения входного сигнала вычислительное устройство некоторое время будет формировать "неправильный" выходной сигнал. Это поясняют эпюры сигнала, видимого в окне наблюдения в различные моменты времени (рис. 3.14, б—г). Для наглядности на эпюрах приведены действующие значения тока. Выход на установившийся режим работы может быть констатирован, например, по совпадению результатов наблюдения в двух смещенных во времени окнах наблюдения (рис. 3.14, а). Точность вычислений будет тем выше, чем больше выборок находится в окне наблюдения.

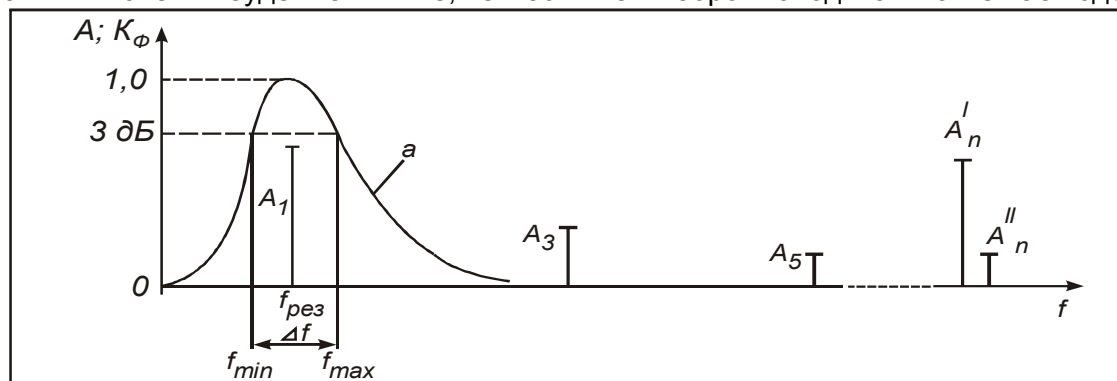


Рис. 3.15. Частотный спектр входного сигнала и АЧХ фильтра:

f — частота сигнала; A — амплитуда сигнала; K_ϕ — коэффициент передачи фильтра. Цифровые фильтры имеют ряд преимуществ. Основные из них — надежность в работе и стабильность характеристик, недостижимые в аналоговых фильтрах. Однако, так же как и аналоговые фильтры, цифровые имеют противоречие в части точности выделения нужной гармоники из сложного сигнала и времени, затрачиваемого на фильтрацию. Для того, чтобы отстроиться от аperiodических составляющих, высших гармоник (A_3 , A_5 , на рис. 3.15), помех

(A'_n, A''_n), амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) входного тракта устройства должна быть подобна характеристике полосового фильтра (кривая a на рис. 3.15).

Качество полосового фильтра характеризуется его полосой пропускания, определяемой на уровне, когда коэффициент передачи фильтра K_ϕ уменьшается на 3 дБ. По аналогии с колебательным контуром для полосовых фильтров введено понятие добротности:

$$Q = f_{\text{рез}} / (f_{\text{max}} - f_{\text{min}}) \quad (3.8)$$

где

$f_{\text{рез}}, f_{\text{max}}, f_{\text{min}}$ – соответственно резонансная, максимальная и минимальная частоты, характеризующие фильтр.

Время затухания собственных переходных процессов в полосовом фильтре второго порядка определяется выражением:

$$t_{\text{пер}} = 6Q / (2\pi f_{\text{рез}}) \quad (3.9)$$

т. е. чем выше добротность, тем дольше длится переходный процесс в фильтре. Например, длительность переходного процесса в полосовом фильтре, имеющем добротность $Q = 5$ и настроенном на выделение гармоник промышленной частоты ($f_{\text{рез}} = 50$ Гц) около пяти периодов:

$$t_{\text{пер}} = 6Q / (2\pi f_{\text{рез}}) = 6 \cdot 5 / 314 \approx 0,1 \text{ с} = 5T \quad (3.10)$$

К таким же результатам можно прийти, используя спектральный подход к описанию электрических колебаний. Сужение полосы пропускания улучшает помехозащищенность устройства, так как большинство помех является импульсными сигналами (грозовые разряды, коммутационные перенапряжения и т. д.), а, следовательно, имеют протяженные спектральные характеристики. При этом, чем уже полоса пропускания входного тракта устройства, тем меньшая доля энергии помехи будет добавляться к рабочему сигналу. Однако, слишком узкополосный входной тракт устройства приводит к неприемлемому снижению быстродействия устройства. Для повышения быстродействия РЗ лучше применять фильтры меньшей добротности.

Фильтры симметричных составляющих

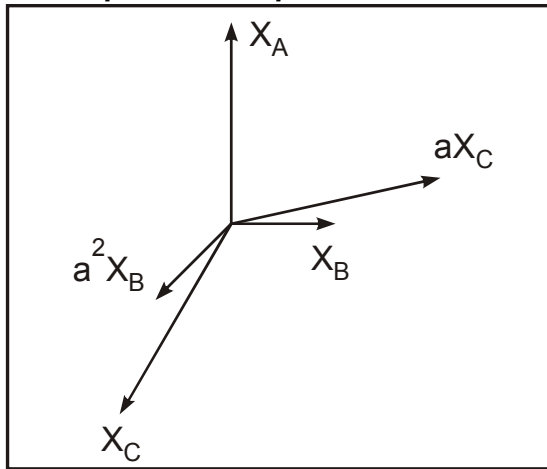


Рис. 3.16 Выделение симметричных составляющих

где

X_A, X_B, X_C – вектора, изображающие соответствующие фазные величины (токи или напряжения) вида: $x = X \sin(\omega t + \varphi)$;

$a (a^2)$ – операторы, поворачивающие данный вектор на угол $\psi = 2\pi/3$ рад по направлению (против направления) вращения векторов трехфазной системы.

Векторная диаграмма фазных значений величин, используемых для выполнения фильтра обратной последовательности, приведена на рис. 3.16. В фильтре суммируются значения векторов X_A, X_B , повернутого в сторону отставания на 120° ($a^2 X_B$) и X_C , повернутого в сторону опережения на 120° ($a X_C$).

Работа устройства при насыщении трансформаторов тока

Цифровые принципы обработки сигналов эффективно применяются и для обеспечения правильной работы устройств при насыщении измерительных ТТ. Очевидно, что вторичный ток

Этим обстоятельством можно воспользоваться и правильно определить амплитудное или действующее значение искаженного вторичного тока. Для этого необходимо измерить мгновенные значения тока на отрезках правильной трансформации, вычислить его амплитудное (действующее) значение, предполагая, что закон его изменения известен:

Безусловно, реальный алгоритм восстановления искаженного вторичного тока при насыщении трансформатора гораздо сложнее.

Решение задачи восстановления токов требуется, например, в РЗ от однофазных замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью, где высока вероятность попадания ТТ нулевой последовательности в режим глубокого насыщения. Принцип экстраполяции необходим и для правильного восстановления фаз сигналов. На рис. 3.17 показано, что выделение основной гармоники из искаженного сигнала путем частотной фильтрации приводит к большой погрешности в определении ее амплитуды и фазы. Идеальная кривая тока показана в нижней части рис. 3.17, а восстановленная, - в верхней.

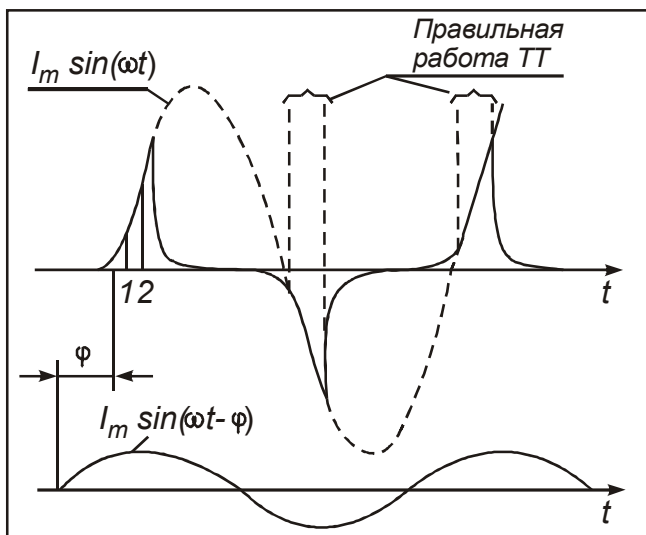


Рис. 3.17 Пример восстановления сигналов

Надежность функционирования систем с цифровыми устройствами защиты

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 устройство 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 устройствах 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, хранящаяся 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 устройств 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 всё 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 теоретически увеличен до 10–12 лет. Однако, пока отсутствует необходимый практический опыт, подтверждающий это положение. Поэтому в энергосистемах существует мнение, что цикл их технического обслуживания следует сохранить на уровне микросистемных защит — 6 лет. Однако, учитывая наличие автоматического контроля, объем проверки может быть существенно уменьшен. Кроме того, следует иметь в виду, что в состав защиты входят также цепи вторичной коммутации, которые практически не изменились и по-прежнему требуют периодической проверки. Необходимо учитывать, что при наладке микропроцессорного устройства защиты, из-за недостаточного знания аппаратуры, персоналом вполне могут быть внесены ошибки. Поэтому, следует сохранить и первый профилактический контроль, призванный обнаружить и устранить ошибки, а также выявить приработочные отказы.

Следует также представлять себе, что если устройство в процессе контроля выявило неисправность, то защита выводится автоматически, а оборудование останется без защиты. Поэтому, в силе должны быть оставлены требования о ближнем и дальнем резервировании. Т.е. на ответственном оборудовании следует позаботиться о резервной защите, особенно в случаях, когда дальнейшее резервирование неэффективно.

Помехозащищенность цифровых устройств

Помехозащищенность — это способность аппаратуры правильно функционировать в условиях электромагнитных помех.

Необходимая помехозащищенность обеспечивается только при комплексном решении ряда вопросов, как-то:

- обеспечение должного превышения уровней информационных сигналов над уровнем помех. В этой связи в энергетике используются сигналы с номинальными уровнями 1 А и более, 100 В 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.

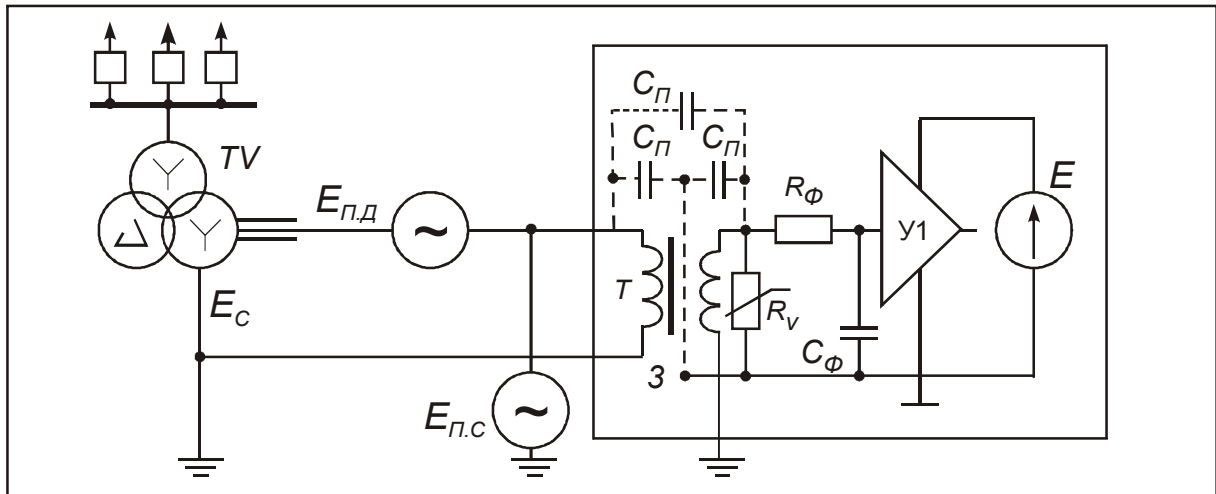


Рис. 3.18. Входной тракт устройства РЗА

Проникновение помех в устройство и линии связи

Как правило, входная часть устройства защиты выполняется по схеме, показанной на рис. 3.18. При этом, рабочий сигнал E_c 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 $E_{нд}$), 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.

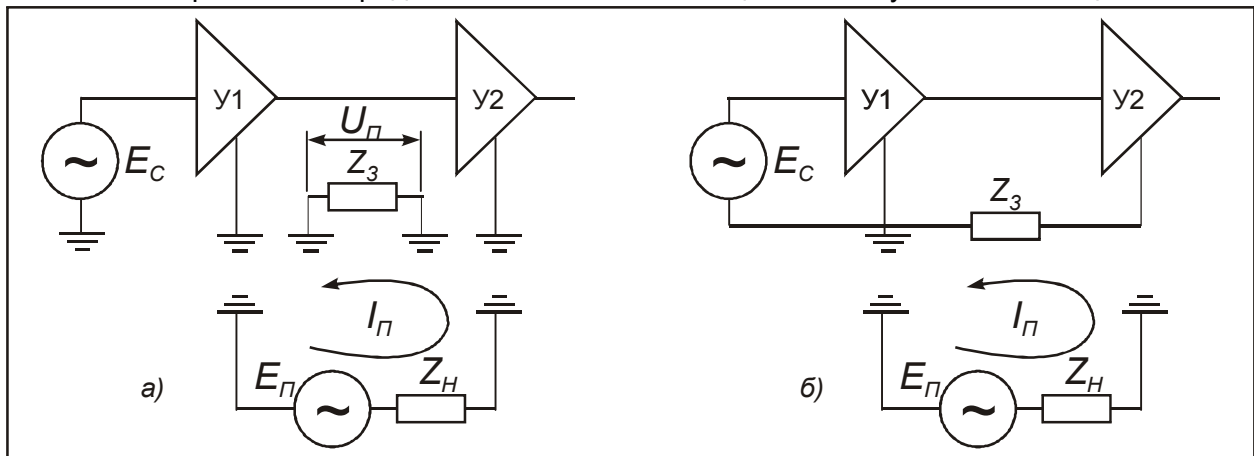


Рис. 3.19. Проникновение помех при непосредственной связи цепей

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

Что касается дифференциальных помех $E_{нд}$, 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 силовоточной и слаботочной цепей (рис. 3.19, а).

В данном случае система заземления используется в качестве одного из проводников цепи передачи информации от источника сигнала E_c к устройству $Y1$ и далее к устройству $Y2$. Од-

новременно 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.

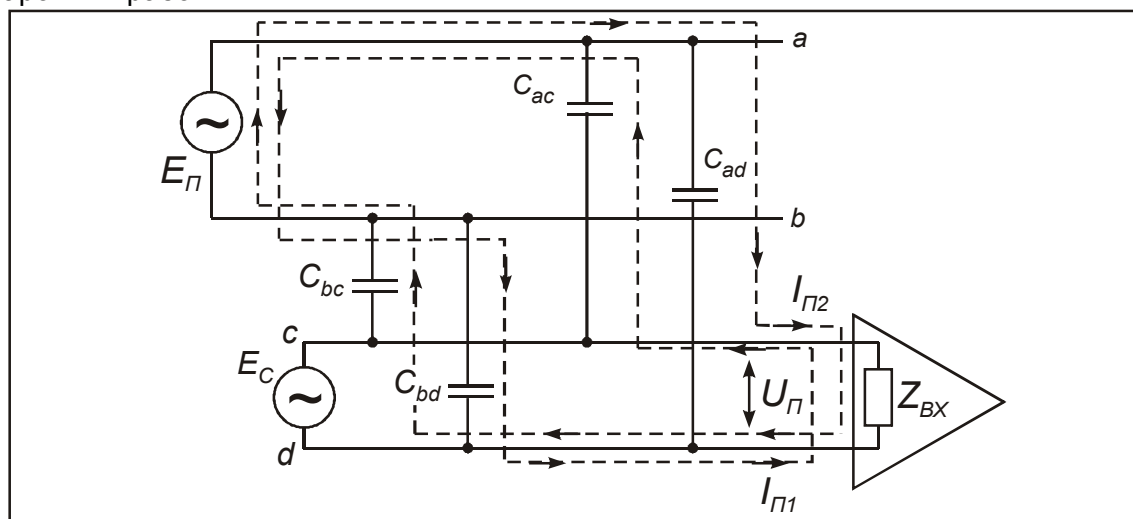


Рис. 3.20 Схема проникновения помех по емкостным связям.

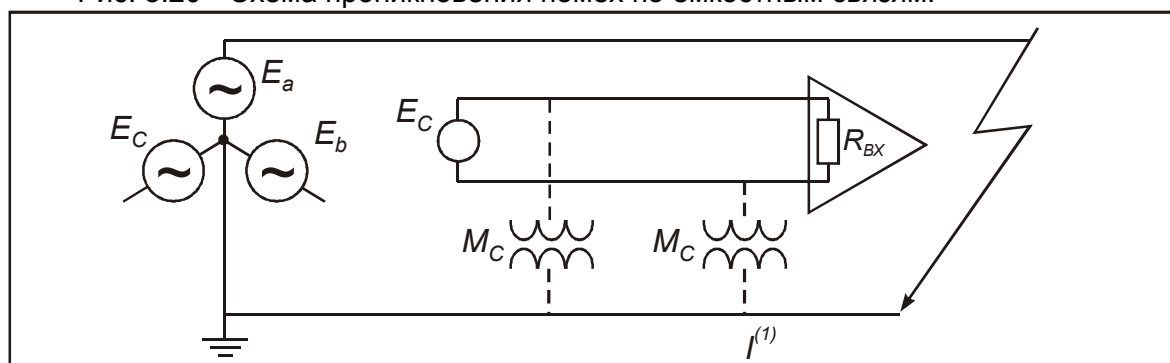


Рис. 3.21 Образование помех при замыкании на землю.

Очевидно, что напряжение помехи, наводимое в слаботочной цепи будет равно:

$$U_n = \frac{E_n \cdot Z_3}{Z_n + Z_3}, \quad \text{где } Z_3 \text{ — сопротивление цепи через землю.}$$

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. 3.19, б).

Электростатическая (емкостная) связь электрических цепей. Паразитная связь этого вида возникает главным образом в схемах с контурами, имеющими большое сопротивление, 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. 3.20) 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_{BX}) будет равна:

$$U = (I_{n1} - I_{n2}) R_{BX} = E_n R_{BX} / [R_{BX} + k(1/\Delta C)] \quad (3.11)$$

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 проводниками, 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 в 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. 3.21) образуется контур протекания тока больших геометрических размеров. 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 в линию связи разными путями. В реальной ситуации проявляются одновременно все виды паразитной связи.

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. 3.22 представлены различные варианты соединения источника сигнала E_c с приемником (нагрузкой R_n) и приведены коэффициенты ослабления помехи. В качестве исходного случая выбран простейший, когда кабель содержит один сигнальный провод (рис. 3.22, а). Снижение уровня наводок в схемах на рис. 3.22, 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. 3.22, 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 (шины заземления, металлоконструкций и т. п.) способствует снижению уровня наводимых помех.

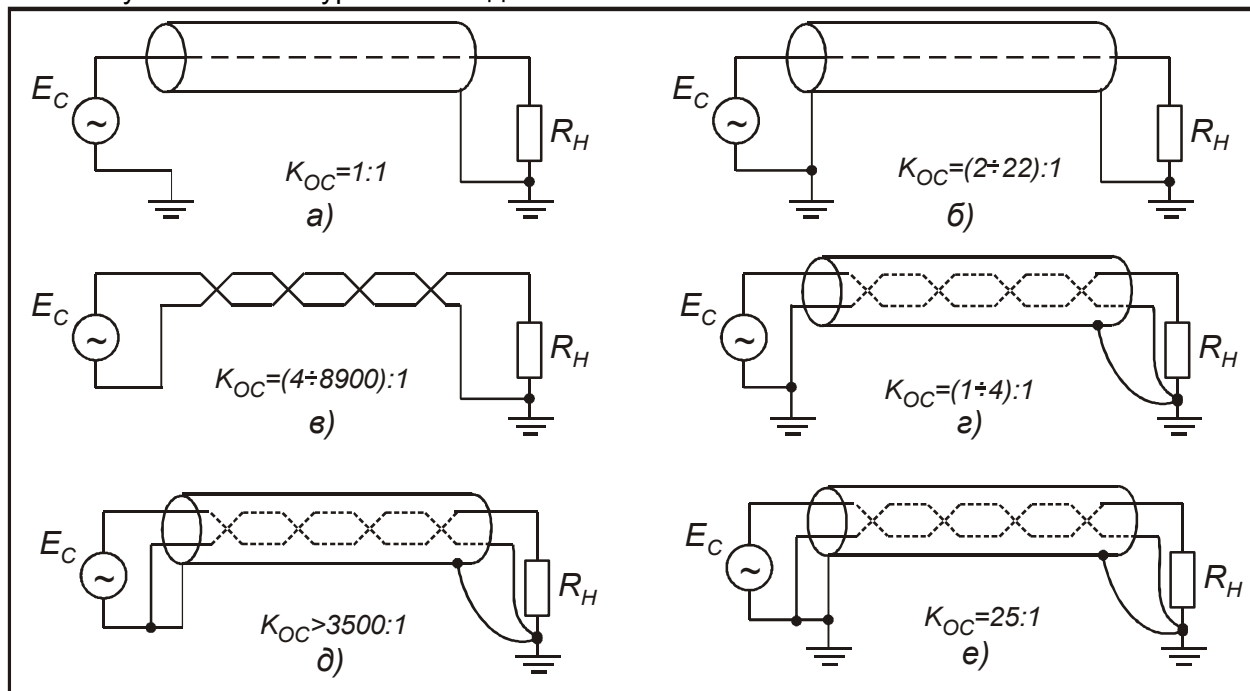


Рис. 3.22. Эффективность различных экранов

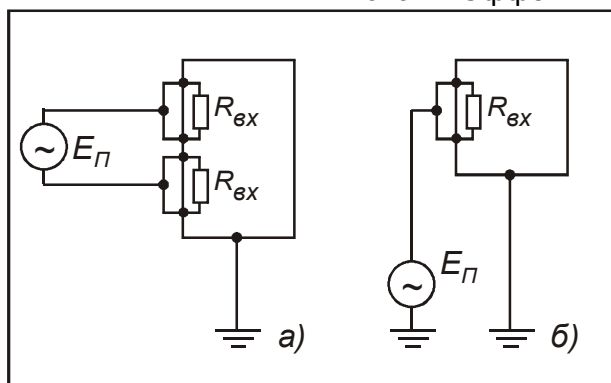


Рис. 3.23. Подача тестовых воздействий на аппаратуру

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.

Цифровые устройства, если они не являются какими-то особо чувствительными, или выполненными 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.

Испытания аппаратуры на помехозащищенность

Ввиду того, что учесть все паразитные связи между различными цепями реального устройства практически невозможно, единственным критерием должной помехозащищенности аппаратуры могут быть только ее натурные испытания. Причем, эти испытания должны проводиться по единым нормам, чтобы можно было сопоставлять оборудование разных фирм.

В части испытаний измерительных устройств и защитного оборудования во всем мире придерживаются рекомендаций Международной Электротехнической Комиссии (МЭК). Рекомендации МЭК в отношении помехоустойчивости отражены в нормах: МЭК 255-22-1, МЭК 255-22-2, МЭК 255-22-4. В какой-то мере, помехоустойчивость оборудования проверяется и по нормам МЭК 255-5 "Испытания диэлектрической прочности изоляции". Рекомендации и нормы МЭК лежат в основе большинства национальных стандартов.

Следует отметить, что подтверждение заявляемых разработчиками тех или иных характеристик выпускаемой аппаратуры дают лишь независимые сертификационные центры, располагающие соответствующим испытательным оборудованием. При этом, многие сертификационные центры специализируются на испытаниях только определенного вида.

В соответствии с нормами МЭК, при испытаниях тестовые воздействия прикладываются между любыми независимыми входами устройства (рис. 3.23, а) и между каждым входом и зем-

лей (рис. 3.23, б). Все зажимы, принадлежащие одному входу, при этом закорачиваются. В нормах МЭК подробно оговариваются параметры источников сигналов и методика испытания. Ниже мы рассмотрим лишь наиболее важные моменты в части проверки помехозащищенности устройств.

Испытание на высокочастотные помехи (МЭК 255-22-1). Рекомендуемое тестовое воздействие имитирует помехи коммутационного происхождения. Пачки затухающих высокочастотных колебаний возникают при включении или отключении линий в электрических сетях и при однофазных замыканиях. Частота колебаний, генерируемых сетью, может изменяться от единиц герц до десятков и сотен гигагерц. Все зависит от соотношения распределенных индуктивностей и емкостей сети в каждом конкретном случае. В качестве испытательного воздействия приняты наиболее реальные колебания.

Испытание на электростатический разряд (МЭК 255-22-2). При этом испытании внешний электрический заряд переносится на устройство либо через воздушный промежуток (исходный потенциал 8 кВ), либо через контакт (исходный потенциал 6 кВ).

Испытания кратковременными импульсами (МЭК 255-22-4)

Этот вид тестирующего воздействия также выбран из практических соображений. Импульсы, наводятся в жилах контрольных кабелей под воздействием грозовых разрядов. Для грозовых импульсов характерен крутой фронт и относительно медленный спад. Однако тестовые импульсы имеют срез и на спаде, что имитирует работу искровых разрядников, устанавливаемых на линиях для борьбы с грозовыми перенапряжениями. Обычно подается по три импульса разной полярности с интервалом 5 с.

Испытания диэлектрической прочности изоляции (МЭК 255-5). При испытании используется напряжение 2 кВ промышленной частоты, подаваемое на оборудование в течение 1 мин. Это испытание фактически дает гарантию безопасности обслуживания устройства, а не проверяет его помехостойкость. На практике подобным воздействиям аппаратура подвергается в случае ее неправильного подключения, переноса потенциалов из смежных цепей и т. д. Таким образом, этот тест в какой-то мере характеризует и помехостойкость аппаратуры.

Использование цифровых устройств в качестве 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. В настоящее время они строятся на основе персональных компьютеров и специализированных устройств, с помощью которых обеспечивается связь с датчиками информации, обработка получаемой информации и представление ее в удобном виде для диспетчерского управления.

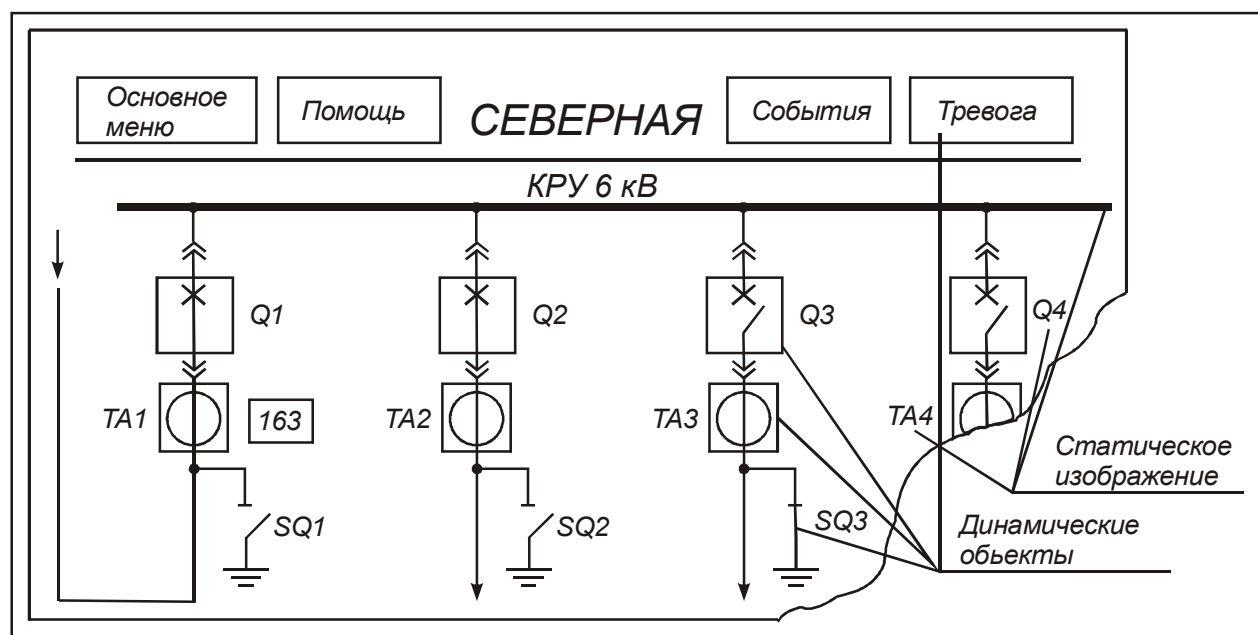


Рис. 3.24. Вывод информации на дисплей

С позиций АСУ ТП цифровые устройства РЗ являются оконечными 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. 3.24) 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.

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 (устройство, терминал 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.

Большинство микропроцессорных устройств оснащены интерфейсом RS485 для организации дистанционной связи (подключения к компьютерной сети удаленной передачи информации). Для подключения к сети микропроцессорные устройства 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 устройства предприятия могут быть объединены в 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 сортировкой или без). 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, и переключение с одной их группы на другую. Любое дистанционное управление защищается паролем соответствующего уровня доступа.

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

Техническое обслуживание цифровых устройств

Виды технического обслуживания устройств РЗА, программы и периодичность их проведения регламентируются правилами технического обслуживания устройств релейной защиты и автоматики. Однако цифровые устройства защиты более информативны и существенно отличаются по конструктивному исполнению от их аналоговых предшественников. Поэтому, их техническое обслуживание имеет свои особенности. 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. При наладке производится ранжирование устройства, т.е. создание внутренней схемы: назначение входов, выходных реле, светодиодов, ввод или вывод отдельных ступеней защиты. Традиционный способ проверки устройства РЗА путем подачи внешних сигналов от устройства проверки с контролем основных параметров (порога срабатывания, коэффициента возврата, времени срабатывания и т. д.) микропроцессорных устройств также упрощается. Во-первых, малое потребление по цепям тока и напряжения позволяет автоматизировать процесс проверки, используя автоматизированные устройства. 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 устройств легко могут быть получены через ЭВМ и, при необходимости, оформлены в виде документа. В то же время следует иметь в виду, что устройство может быть проверено полностью с помощью обычных проверочных устройств. Конечно, в данном случае речи об автоматизации проверки и оформления результатов идти не может. При обслуживании микропроцессорных устройств РЗА практически неотъемлемым атрибутом становится переносной компьютер, (ноутбук). Он значительно облегчает работу с микропроцессорными устройствами: ранжирование, изменение уставок, съем информации. Следует иметь в виду, что в настоящее время стоимость ноутбуков, пригодных для работы с реле составляет 600-800 у.е, то есть меньше, чем стоит самое дешевое микропроцессорное устройство защиты.

Микропроцессорные устройства содержат встраиваемые системы самодиагностики и контроля, которые, 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.

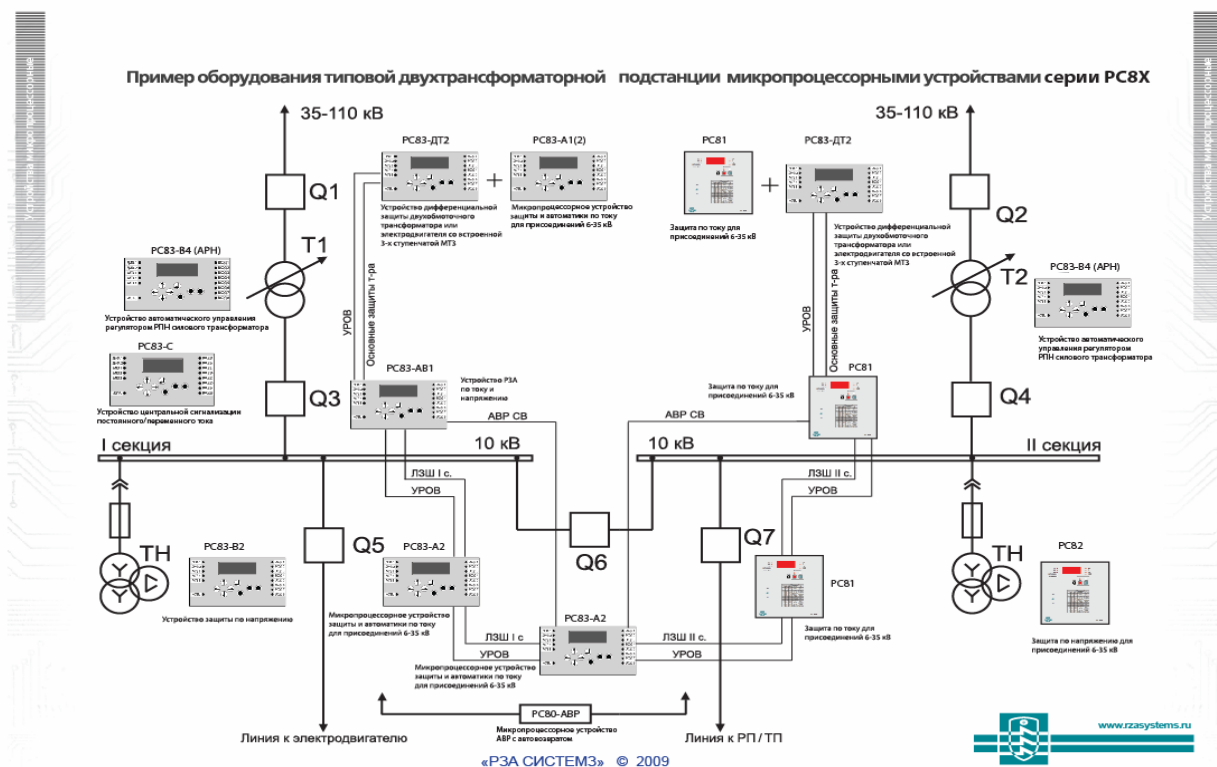
При работе с микропроцессорными устройствами РЗ следует принимать все меры, исключающие повреждения электронных компонентов статическим электричеством. При ремонте аппаратура должна располагаться на заземленном токопроводящем столе. Тело работающего должно иметь потенциал стола, что обычно обеспечивается с помощью заземленного кольца или браслета. Такие меры защиты обусловлены тем, что электрический заряд, находящийся на теле человека, способен разрушать полупроводниковые структуры. Причем, статическое электричество может и не вызвать выход изделия из строя сразу же, но predispose это изделие к отказу в будущем. Высокая плотность монтажа, использование многослойных печатных плат, отсутствие принципиальных схем и полной информации по алгоритмам функционирования узлов делают цифровые устройства защиты ремонтно-пригодными только до уровня отдельных конструктивных модулей.

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 сооб-

ражениями 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.

3.4. ПРИМЕРЫ УСТРОЙСТВ РЗА НА МИКРОПРОЦЕССОРАХ

Ниже, в качестве примера, приведено обустройство подстанции 35-110 кВ микропроцессорными устройствами защиты и автоматики серии РС8хх производства «Систем РЗА» которые заменяют устройства серии УЗА и УЗА-10.



Устройства выполняют все необходимые согласно ПУЭ функции РЗА, а также могут быть включены в сеть через интерфейс RS485 по протоколу Modbus, а также имеют порт USB для местной связи с устройством. Устройства имеют больше ступеней защиты, а также оснащены встроенным регистратором и осциллографом.