

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

С.А. БАНКИН, В.А. ЩУРЕВИЧ

Усложнение современного электроэнергетического производства, развитие научных исследований в различных направлениях привело к необходимости измерять или контролировать одновременно сотни, а иногда и тысячи физических величин. При этом наметился переход к принятию решений на основании использования результатов не отдельных измерений, а потоков измерительной информации, интенсивность которых возрастает за счет увеличения частотного диапазона и числа измеряемых величин.

Естественная физиологическая ограниченность возможностей человека в восприятии и переработке больших объемов информации привела к возникновению такого вида средств измерений, как измерительные информационные системы (ИИС).

По функциональному назначению ИИС делят на измерительные системы, системы автоматического контроля, системы технической диагностики, что актуально в плане повышения надежности эксплуатации электрического оборудования электроэнергетических систем.

В последнее время получили распространение измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) – вид ИИС, в состав которых входит свободно программируемая ЭВМ, используемая не только для обработки результатов измерения, но и для управления самим процессом измерения, а также для формирования управляющих воздействий на объект исследования.

По организации алгоритма функционирования ИИС различают системы с жестким заранее заданным алгоритмом функционирования, программируемые системы и адаптивные системы. В системах с жестким алгоритмом функционирования алгоритм работы ИИС не меняется, в связи с чем такая система может применяться для исследования объектов, работающих в определенном режиме (трансформаторы, автотрансформаторы, реакторы). В программируемых системах алгоритм работы изменяется в соответствии с заранее заданной программой, которая составляется в зависимости от условий функционирования объекта исследования. В

адаптивных системах алгоритм работы, а иногда и структура ИИС изменяются, приспосабливаясь к изменениям измеряемых величин и условий работы объекта исследования, в связи с чем адаптивная система может применяться для исследований объектов, различающихся по своим характеристикам (генераторы, синхронные двигатели, двигатели собственных нужд). При построении адаптивной ИИС требуется меньшее количество предварительной информации, чем при построении измерительных информационных систем с жестким алгоритмом функционирования, что имеет большое значение при исследовании новых объектов, характеристики которых еще мало известны.

Наиболее перспективным методом проектирования ИИС в настоящее время является принцип агрегатно-модульного построения различных систем из сравнительно ограниченного набора выпускаемых промышленностью унифицированных узлов.

Агрегатно-модульный принцип построения ИИС предполагает применение стандартных интерфейсов, под которыми понимают как совокупность правил протоколов и программного обеспечения процесса обмена информацией, так и технические средства сопряжения модулей в системе. Наиболее распространенными для ИИС в настоящее время являются приборный интерфейс и интерфейс КАМАК. Приборный интерфейс отличается сравнительной простотой и может использоваться при построении относительно простых и медленно действующих систем. Интерфейс КАМАК применяется в ИИС, предназначенных для исследования сложных объектов с быстропротекающими процессами в электроэнергетических системах.

Исходя из функций ИИС, основными из которых являются получение измерительной информации от объекта исследования, ее обработка, представление информации оператору или ЭВМ, формирование управляющих воздействий на объект исследования, на рис. 1 представлена обобщенная структурная схема ИИС, содержащая следующие устройства:

- 1) устройство измерения, включающее

в себя первичные и вторичные измерительные преобразователи и собственно измерительное устройство, выполняющее операции сравнения с мерой, квантование, кодирование; в это же устройство может входить и коммутатор.

2) устройство обработки измерительной информации, выполняющее обработку измерительной информации по определенному алгоритму (сокращение избыточности, математические операции, модуляция и т. п.);

3) устройство хранения информации,

4) устройство представления информации в виде регистраторов и индикаторов;

5) устройство управления, служащее для организации взаимодействия всех узлов ИИС;

6) устройство воздействия на объект, включающее в себя генераторы стимулирующих воздействий.

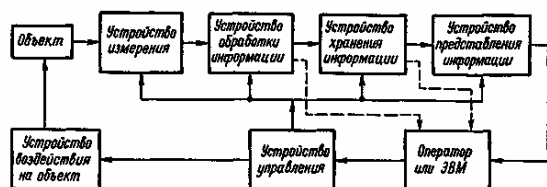


Рисунок 1 – Структурная схема ИИС

Информация от ИИС может выдаваться оператору или поступать в ЭВМ. Оператор и ЭВМ могут воздействовать на устройство управления ИИС, меняя соответственно программу ее работы. В ряде ИИС некоторые устройства и связи могут отсутствовать или видоизменяться. Так, могут отсутствовать устройства воздействия на объект, хранения и обработки информации. При наличии в составе ИИС ЭВМ информация к ЭВМ может поступать непосредственно от устройств обработки или (и) хранения.

В зависимости от способа организации передачи информации между функциональными узлами (ФУ), являющимися приемниками и передатчиками информации, различают цепочечную, радиальную и магистральную структуры ИИС.

В ИИС с цепочечной структурой (рис. 2, а) передача информации осуществляется последовательно от одного ФУ к другому, а все ФУ выполняют заранее заданную операцию над входным сигналом. ИИС с такой структурой относительно проста, но функциональные возможности ее ограничены.

В ИИС с радиальной структурой (рис. 2, б) обмен сигналами между ФУ происходит через

центральное устройство управления – контроллер, который задает режим работы ФУ, изменяет число и состав взаимодействующих ФУ, а также связи между ними, что приводит к изменению функций ИИС. В этой структуре каждый ФУ подключается к контроллеру посредством индивидуальных шин. Недостатком радиальной структуры является усложнение контроллера при увеличении числа ФУ.

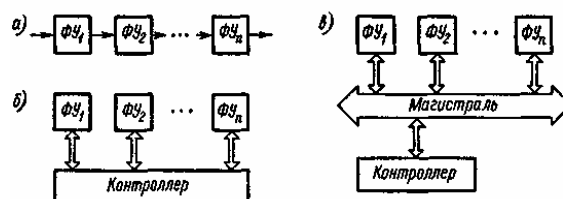


Рисунок 2 – Цепочечная (а), радиальная (б) и магистральная (в) структурные схемы передачи данных

В ИИС с магистральной структурой (рис. 2, в) существует общая для всех ФУ магистраль, по которой передаются сигналы взаимодействия ФУ. Такая структура позволяет легко наращивать число функциональных узлов в системе.

Существует также радиально-цепочечные и радиально-магистральные структуры, представляющие собой комбинации рассмотренных структур.

Физические величины, измеряемые и контролируемые с помощью ИИС, весьма разнообразны. Для того чтобы ИИС были универсальными, т. е. пригодными для измерения и контроля разнообразных величин, измеряемые и контролируемые величины представляют унифицированными электрическими сигналами. Унификация заключается в линеаризации зависимости информативного параметра сигнала от измеряемой величины и в приведении максимального и минимального размера информативного параметра к заданным значениям.

В ИИС применяют следующие унифицированные сигналы:

1. Непрерывные сигналы в виде постоянных и переменных токов и напряжений, параметры которых (мгновенные, средние, действующие значения, частота, период, угол фазового сдвига между двумя переменными токами или напряжениями) являются информативными параметрами. Диапазоны изменения параметров некоторых непрерывных унифицированных сигналов нормированы государственными стандартами. Эти сигналы называют нормированными. Приве-

дение (нормирование) параметров сигналов к определенному уровню осуществляется так называемыми нормирующими измерительными преобразователями.

2. Импульсные сигналы в виде серии импульсов постоянного тока, параметры которых (амплитуда, частота, длительность импульсов или интервалов) являются информативными параметрами.

3. Кодово-импульсные сигналы, например, в виде импульсов постоянного тока или напряжения, комбинации которых передают значения кодированных измеряемых величин.

Применение тех или иных унифицированных сигналов зависит от требуемых характеристик ИИС, вида канала связи, формы представления измерительной информации (аналоговая или цифровая), используемой элементной базы и др.

Одним из разделов ИИС, является измерительные системы. К измерительным системам (ИС) относят ИИС, в которых преобладает функция измерения, а функции обработки и хранения незначительны или отсутствуют совсем. Измерительные системы делят на системы ближнего действия и системы дальнего действия – телеизмерительные системы.

На вход ИС поступает множество величин $\{x_i\}_1^n$, изменяющихся во времени и (или) распределенных в пространстве. На выходе ИС получают результаты измерений в виде именованных чисел или отношений измеряемых величин. Такие системы могут выполнять прямые, косвенные, совместные и совокупные измерения. Наиболее распространены измерительные системы для прямых измерений.

Для всех ИС характерным является наличие воспринимающих элементов – первичных измерительных преобразователей, в дальнейшем именуемых датчиками (D), элементов сравнения (C), мер M и элементов выдачи результата BP . Перечисленные элементы являются основой для построения ИС. В зависимости от вида и числа различных элементов в структуре ИС делят на многоканальные ИС или ИС с параллельной структурой; сканирующие ИС или ИС с последовательной структурой; мультиплицированные ИС или ИС с общей мерой; многоточечные ИС или ИС с параллельно-последовательной структурой.

Многоканальные ИС. Эти системы представляют собой один из самых распространенных видов ИС и содержат в каждом изме-

рительном канале полный набор элементов (рис. 3). Многоканальные ИС обладают наиболее высокой надежностью, наиболее высоким быстродействием при одновременном получении результатов измерений, возможностью индивидуального подбора средств измерений к измеряемым величинам, что исключает иногда необходимость унификации сигналов. Недостаток таких систем – повышенная сложность и стоимость. Имеются также трудности в организации рационального представления измерительной информации оператору.

Сканирующие ИС. Эти системы последовательно во времени выполняют измерения множества величин с помощью одного канала измерения и содержат один набор элементов и так называемое сканирующее устройство (СкУ) (рис. 4). Сканирующее устройство перемещает датчик, называемый в этом случае сканирующим датчиком, в пространстве, причем траектория движения датчика может быть заранее запрограммирована (пассивное сканирование) либо может изменяться в зависимости от полученной в процессе сканирования информации (активное сканирование).

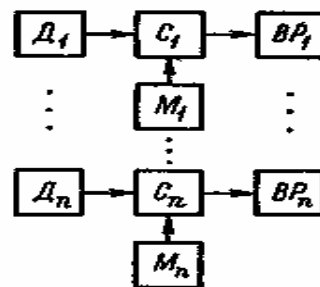


Рисунок 3 – Структурная схема многоканальной ИС

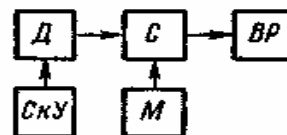


Рисунок 4 – Структура сканирующей ИС

Сканирующие ИС применяют в случае, когда измеряемая величина распределена в пространстве. При исследовании параметрических полей (температур, давлений, механических напряжений в баке трансформатора) такие ИС дают количественную оценку значений параметров полей в заданных точках. Иногда с помощью сканирующих ИС определяют экстремальные значения параметров исследуемых полей либо находят места рав-

ных значений этих параметров. Недостатком этих ИС является относительно малое быстродействие из-за последовательного выполнения операций измерения для всех измеряемых величин.

Мультиплицированные ИС. Эти системы позволяют в течение одного цикла изменения известной величины (развертки) выполнить сравнение со всеми измеряемыми величинами, т. е. определить множество величин без применения коммутирующих узлов. Мультиплицированные системы содержат в каждом измерительном канале элементы D , C , BP и общий для всех каналов элемент M (рис. 5). Мультиплицированные ИС называют еще системами с развертывающим уравниванием.

Обычно в этих системах измеряемая величина x сравнивается с линейно изменяющейся величиной x_k . Если зафиксировать момент начала развертки и момент равенства x и x_k , то может быть сформирован интервал t_x , пропорциональный значению x_k в момент равенства x и x_k . В системе с числом измерительных каналов, большим одного, при необходимости выдачи результата на одно общее устройство регистрации или индикации могут возникнуть трудности в разделении сигналов от элементов сравнения C . В этом случае рабочий диапазон сигнала x_k делят на зоны по числу измеряемых величин, причем каждой измеряемой величине соответствует своя зона. При этом, кроме момента равенства x и x_k , должны фиксироваться моменты достижения сигнала x_k нижней границы каждой зоны.

Если измеряемые величины $\{x_i\}_1^n$ сравниваются со ступенчато изменяющейся величиной x_k , то значительно упрощается получение результата измерения в цифровом виде. На рис. 6 показана мультиплицированная ИС, где мера M содержит цифро-аналоговый преобразователь $ЦАП$, пересчетную схему $ПС$, генератор импульсов $Г$, входы останова и запуска которого через логические элементы ИЛИ, реализующие операцию логического сложения, соединены соответственно с выходами элементов сравнения C и выдачи результатов BP . В момент равенства измеряемой величины одного или нескольких измерительных каналов и известной величины на выходе $ЦАП$ соответствующие элементы сравнения срабатывают и генератор $Г$ останавливается. На выходе $ПС$ окажется значение измеренных величин в коде, подаваемое на элементы BP (индикаторы, регистраторы и т. п.). По окончании

выдачи результата генератор вновь запускается и работа системы продолжается. При общем для всех измерительных каналов элементе BP (например, при вводе информации в ЭВМ) одновременно с регистрацией значений измеряемой величины необходимо фиксировать номер датчика или применять иные способы, позволяющие относить полученные результаты измерения к соответствующим датчикам.

Мультиплицированные системы имеют меньшее число элементов по сравнению с ИС параллельного действия и при наличии индивидуальных элементов BP могут обеспечить практически такое же быстродействие. Недостатком мультиплицированных ИС является большое число элементов сравнения, равное числу измеряемых величин. При измерениях сигналов низкого уровня элементы сравнения обычно значительно усложняются.

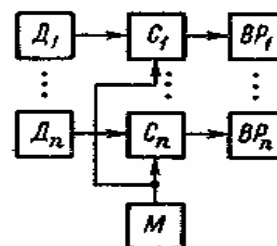


Рисунок 5 – Структурная схема мультиплицированной ИС

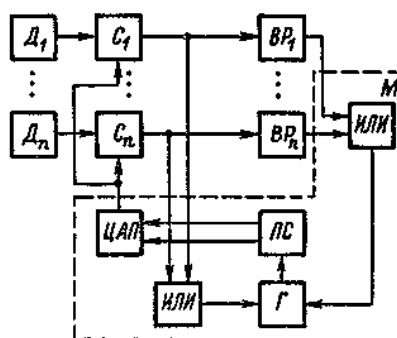


Рисунок 6 – Структурная схема мультиплицированной цифровой ИС

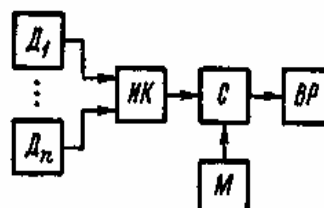


Рисунок 7 – Структурная схема многоточечной ИС

Многоточечные ИС. Эти системы применяют для исследований сложных объектов с большим числом измеряемых величин. Число измерительных каналов в таких системах может достигать нескольких тысяч. Многократное последовательное использование отдельных узлов измерительного тракта приводит к последовательно-параллельному принципу действия таких систем и к минимальной сложности ИС.

Для согласования действия узлов ИС, работающих параллельно и последовательно во времени, в таких системах применяют измерительные коммутаторы ИК для коммутации аналоговых сигналов датчиков D (рис. 7). Измерительные коммутаторы должны обладать заданными метрологическими характеристиками (погрешность коэффициента передачи, быстродействие коммутатора и др.).

Относительная погрешность коэффициента передачи коммутатора определяется по формуле

$$\delta = (A_{\text{вых}} - A_{\text{вх}}) / A_{\text{вх}} = A_{\text{вых}} / A_{\text{вх}} - 1 = \beta_k - 1,$$

где $A_{\text{вых}}$, $A_{\text{вх}}$ – информационные параметры сигналов на выходе и входе коммутатора; β_k – коэффициент передачи коммутатора. Погрешность δ определяется, главным образом, остаточными параметрами ключевых элементов, используемых в коммутаторе, а именно остаточными ЭДС и сопротивлениями замкнутого и разомкнутого ключей. Погрешность зависит также от числа измерительных каналов и от выходного сопротивления датчика и входного сопротивления следующего после коммутатора узла (например, элемента С).

Быстродействие коммутатора обычно определяется допустимым числом переключений в секунду и зависит прежде всего от применяемых элементов.

Наибольшее распространение получили электронные коммутаторы, состоящие из ключей и устройства управления. Коммутаторы могут быть одноступенчатые и многоступенчатые. Число ступеней коммутации зависит от числа датчиков, а также от условий эксплуатации ИС.

Достоинством многоточечных ИС является меньшее количество оборудования по сравнению с многоканальными системами, возможность наращивания числа измерительных каналов за счет коммутатора. Недостатком этих систем по сравнению с рассмотренными выше ИС является пониженное быстродействие при большом числе опраши-

ваемых датчиков и некоторое снижение точности за счет остаточных параметров ключей коммутатора.

В настоящее время для обеспечения бесперебойной работы энергетического оборудования широкое распространение получили системы автоматического контроля (САК) и системы технической диагностики (СТД), являющиеся также разновидностью ИИС, с помощью которых осуществляется контроль за состоянием различных объектов.

Отличием СТД от САК является то, что СТД не только выдает информацию о исправности или неисправности контролируемого объекта, но и указывает место неисправности. Практически любая СТД имеет в своем составе устройство воздействия на объект в виде генераторов стимулирующих воздействий, в то время как САК может не иметь таких устройств.

Системы автоматического контроля. Современные САК делят на системы, в которых осуществляется непрерывный контроль параметров объекта, и системы с дискретным последовательным контролем этих параметров. Система с непрерывным контролем параметров объекта, структурная схема канала которой представлена на рис. 8, содержит в каждом канале контроля сравнивающее устройство СУ и устройство индикации отклонений ИО, причем число этих устройств в каждом канале зависит от числа установленных границ изменения параметра. Практически таких границ (норм) может быть от одной до четырех: предупредительная «меньше», предупредительная «больше», аварийная «меньше» и аварийная «больше». Устройство выработки и хранения норм H может быть общим для многих каналов или индивидуальным для отдельных каналов. Системы с непрерывным контролем требуют большого количества оборудования и потому применяются только для контроля наиболее ответственных параметров, для которых необходимо обеспечить высокую надежность контроля и своевременность выдачи результата контроля.

Системы автоматического контроля с дискретным последовательным контролем являются наиболее распространенными. Они требуют меньшего количества оборудования и потому более дешевы. Структурная схема такой системы представлена на рис. 9. Контролируемые величины, преобразованные в унифицированные сигналы, например напряжения $U_1 - U_n$, через измерительный коммутатор ИК поочередно поступают на сравни-

вающее устройство СУ, где сравниваются с нормами. При наличии нескольких норм у одного контролируемого параметра норма может меняться во время контроля данного параметра. Изменение норм и переключение ИК осуществляется с помощью устройства управления УУ. Средство представления информации СПИ может содержать устройства индикации отклонений (общие, групповые или индивидуальные) и устройства цифровой регистрации. Кроме суждений о состоянии контролируемого параметра, СПИ также выдает и регистрирует номер контролируемого канала (от УУ) и время наступления события (от устройства формирования сигналов времени УФВ).

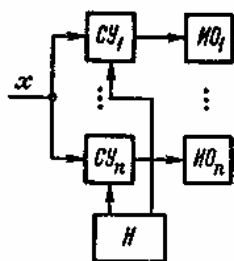


Рисунок 8 – Структурная схема одного канала САК с непрерывным контролем

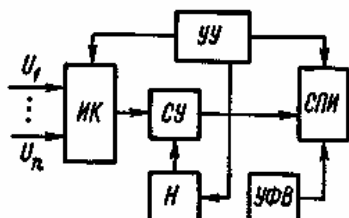


Рисунок 9 – Структурная схема САК с дискретным контролем

Недостаток этих систем – большая избыточность операций контроля, так как частота проведения контроля выбирается с учетом экстремальных динамических свойств контролируемых параметров. В то же время из-за недостаточности предварительных сведений о динамических свойствах объекта или невозможности построения САК в соответствии с этими экстремальными свойствами может возникнуть ситуация, когда один или несколько параметров выйдут за пределы норм вследствие ожидания обслуживания и может быть пропущен предаварийный или даже аварийный режим работы объекта.

Выпускаемые промышленностью САК обычно являются комбинированными, т. е. наиболее важные параметры контролируются непрерывно, а по всем остальным параметрам

осуществляется дискретный последовательный контроль.

Системы технической диагностики. По целевому назначению системы технической диагностики (СТД) делят на собственно диагностические и прогнозирующие. Собственно диагностические системы предназначены для установления диагноза, т. е. для обнаружения неисправности или подтверждения исправности проверяемого объекта. Прогнозирование является более трудной задачей и заключается в том, что по результатам проверки в предыдущие моменты времени предсказывается поведение объекта в будущем.

По характеру процедуры выработки оценки состояния объекта диагностики СТД делят на статистические и детерминированные.

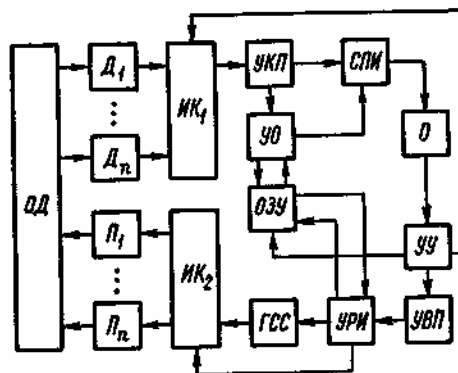


Рисунок 10 – Структурная схема системы технической диагностики

При статистической оценке состояния объекта решение выносится на основании измерений или проверок сигналов, характеризующих объект, а при детерминированной – параметры проверяемого объекта сравнивают с параметрами объекта, принятого за образцовый. Обычно вместо образцового объекта используют сигналы, имитирующие его поведение. Эти сигналы хранятся в соответствующих устройствах СТД.

Существуют следующие виды проверок: функциональная, алгоритмическая и логически-комбинационная. При функциональной проверке выявляют наличие сигнала на выходе объекта при поступлении сигнала на его вход; отсутствие выходного сигнала является отказом. При алгоритмической проверке в соответствии с алгоритмом работы объекта проверяется последовательность выполнения функций. Логически-комбинационная проверка, называемая также тестовой, позволяет обнаруживать неисправности на любом

уровне. На вход проверяемого объекта в этом случае подаются специальный диагностический тест, специальные стимулирующие сигналы.

Наиболее сложной задачей, возникающей при диагностике, является задача отыскания узла, вызвавшего неисправность. При этом каждая очередная проверка должна выполняться с учетом функциональной значимости каждого узла, относительных вероятностей возможных причин неисправности, относительных затрат времени, необходимого для осуществления проверки, а также полученной ранее информации. Существуют различные методы оптимизации программ диагностики, разработанные на основе указанных принципов.

Одна из возможных структурных схем системы технической диагностики представлена на рис. 10. Информация от объекта диагностики *ОД* через датчики $D_1 - D_n$ с унифицированными выходными сигналами и измерительный коммутатор $ИК_1$ поступает на устройство контроля параметров $УКП$, содержащее устройства измерения и сравнения параметров с нормами. Результаты контроля поступают в устройство обработки $УО$, где могут сравниваться с образцовыми результатами, получаемыми из оперативного запоминающего устройства $ОЗУ$. Кроме того, в $ОЗУ$ может быть записана программа проверки, поступающая от устройства ввода программы $УВП$ через устройство распределения информации $УРИ$, которое управляет также работой генератора стимулирующих сигналов $ГСС$ и измерительного коммутатора $ИК_2$, на вход которого подаются напряжения от $ГСС$. Эти напряжения с выходов $ИК_2$ преобразуются преобразователями $П_1 - П_n$ в соответствующие сигналы, воздействующие на *ОД*. Такими сигналами могут быть как электрические сигналы, так и неэлектрические. Представление информации оператору *О* осуществляется средством представления информации $СПИ$. В зависимости от полученной информации оператор через устройство управления $УУ$ может воздействовать на $УВП$, изменяя программу проверки.

Увеличивающаяся потребность в различных ИИС привела к необходимости создания систем на основе агрегатных комплексов, т. е. наборов отдельных узлов и приборов, обладающих необходимой совместимостью. Наиболее распространенным принципом построения ИИС в настоящее время является блочно-модульный, предусматривающий построение системы из отдельных моду-

лей, представляющих собой конструктивно и функционально законченные элементы (блоки) различных уровней сложности и степени эксплуатационной законченности. Наибольший эффект блочно-модульный принцип дает при создании ИИС на основе метода проектной компоновки, заключающейся в максимальном использовании средств агрегатных комплексов с применением расчетных методов определения характеристик ИИС по характеристикам отдельных узлов. Этот подход позволяет выбрать наилучший вариант построения ИИС, сократить сроки разработки.

Использование агрегатного принципа построения ИИС позволяет строить системы, легко перестраиваемые в процессе эксплуатации при изменении требований к системе, а отдельные функциональные узлы можно легко заменять на более совершенные.

В соответствии с требованиями ГОСТа устанавливаются функциональный, структурный и параметрический уровни описания агрегатных средств, соответствующих определенному этапу проектирования ИИС: функциональному, параметрическому и структурному синтезу.

В настоящее время разработано около 20 агрегатных комплексов как широкого назначения, так и специализированных. Наиболее применимыми для построения ИИС являются агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники (АСЭТ) и агрегатный комплекс средств вычислительной техники (АСВТ). Промышленность серийно выпускает некоторые типы ИИС на основе агрегатных комплексов, различающихся числом измерительных каналов, типом датчиков, применяемой элементной базой.

Исходя из весьма объемного спектра решаемых задач ИИС, необходимо широко использовать измерительно-вычислительные средства (ИВС) – совокупность технических средств, обеспечивающих измерение, сбор, вычислительную обработку и распределение измерительной информации в системах управления технологическими процессами и объектами, при научных исследованиях и комплексных испытаниях систем и т. д.

К ИВС относятся как измерительные приборы, так и измерительные комплексы, содержащие аналоговые, цифровые или гибридные вычислительные (процессорные) средства. Соответственно различают измерительно-вычислительные приборы (ИВП) и измерительно-вычислительные комплексы (ИВК).

На основе ИВС создают информационно-измерительные приборы и системы (ИИС) нового поколения, отличительными чертами которых являются:

расширенные функциональные возможности в результате перепрограммирования в процессе обработки массивов измерительной информации;

улучшенные метрологические характеристики, например, в результате статистической обработки измерительных данных с учетом влияния внешних факторов.

На вычислительные средства, используемые в средствах измерений, могут быть возложены следующие функции:

фильтрация помех, выявление отклонений измеряемых величин от заданного уровня; внесение поправок в результаты измерений; учет влияния внешних факторов; вычисление результатов косвенных, совокупных и совместных измерений; определение статистических характеристик измеряемых величин; адаптация к условиям измерений и т. п.;

накопление, хранение и сервисная обработка измерительной информации (представление ее в виде таблиц, моделей и т. п.); управление узлами средств измерений с целью организации запросов, очередности приоритетов, диалогового режима с операторами, обращение к памяти; контроль работоспособности узлов, контроль их метрологических характеристик и т. п.

В общем случае вычислительные средства, используемые в средствах измерений, обеспечивают автоматизацию измерительных процедур от начала измерения физических величин до получения окончательных результатов измерения.

Особое значение для развития ИВС имеют цифровые микропроцессоры (МП). В настоящее время микропроцессоры нашли применение в цифровых вольтметрах, самопишущих приборах, генераторах сигналов, осциллографах, графопостроителях, медицинских контрольно-измерительных приборах и других средствах измерений, работающих автономно и в составе ИИС.

Важным компонентом ИВС являются устройства сопряжения – интерфейсные модули, обеспечивающие согласование узлов как внутри средств измерений, так и с внешними устройствами. Интерфейсные модули также могут выполняться с использованием средств вычислений.

Современные ИИС, создаваемые на основе ИВС, входят в состав автоматизирован-

ных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), автоматизированных систем научных исследований и комплексных испытаний (АСНИКИ), систем автоматизации проектирования (САПР), гибких автоматизированных производств (ГАП), автоматизированных обучающих систем (АОС) и др.

Основными компонентами ИВС являются аналоговые измерительные преобразователи, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи; аналоговые, цифровые и гибридные вычислительные средства и устройства сопряжения. Сочетание этих компонентов и их структурная организация обеспечивают требуемые функции и установленную погрешность измерительного канала (ИК).

Измерительный канал на основе ИВС. Измерительный канал (рис. 11) содержит аналоговый измерительный преобразователь АИП, аналого-цифровой преобразователь АЦП и цифровое вычислительное средство ЦВС. При этом в процессе измерения величины x на канал действуют внешние случайные факторы ψ (электрические помехи, изменение температуры, влажности и т. п.), от которых зависит результат измерения y .

Одной из основных задач при проектировании ИК является выбор числа разрядов АЦП.

Рассмотрим задачу выбора числа разрядов АЦП при заданной общей предельной погрешности δ_z канала и заданном соотношении c между предельной погрешностью квантования δ_k и пределом остальных составляющих, т. е. при $c = \delta_k / \delta_s$.

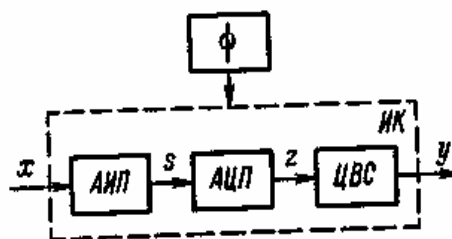


Рисунок 11 – Структура измерительного канала

Принимая законы распределения равномерными для погрешности квантования и для суммы остальных составляющих погрешности канала, получим

$$\delta_z = K \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_k^2} = K \delta_k \sqrt{\frac{1+c^2}{3c^2}} = K \frac{\Delta S}{2} \sqrt{\frac{1+c^2}{3c^2}},$$

где K – коэффициент, зависящий от закона распределения δ_z и принятой доверительной вероятности; $\sigma_k = \delta_k \sqrt{3}$ – среднее квадра-

тическое отклонение погрешности квантования δ_k ; $\sigma_s = \delta_s / \sqrt{3}$ – среднее квадратическое отклонение всех составляющих погрешности канала, кроме погрешности квантования; ΔS – шаг квантования. Полученные выражения позволяют по заданным δ_z и c , определенному коэффициенту K найти шаг квантования ΔS , а следовательно, и число разрядов АЦП.

Рассмотрим задачу оценки достоверности аналого-цифрового преобразования величины S при воздействии на АЦП аддитивной случайной помехи h с нормальным законом распределения

$$q(S) = P(-\Delta S/2 \leq h \leq +\Delta S/2) = \int_{-\Delta S/2}^{+\Delta S/2} \omega(h) dh = \frac{2}{\sigma(h)\sqrt{2\pi}} \int_0^{\Delta S/2} e^{-h^2/[2\sigma^2(h)]} dh =$$

$$= \Phi\left\{\Delta S / \left[2\sqrt{2}\sigma(h)\right]\right\},$$

где Φ – функция Лапласа.

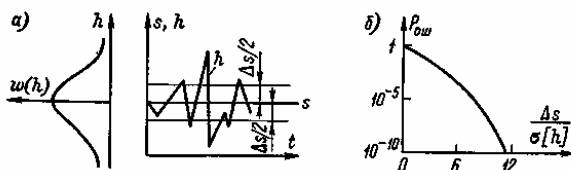


Рисунок 12 – Оценка достоверности аналого-цифрового преобразования

При этом $P_{ow}=1-q(s)$ есть вероятность того, что в процессе аналого-цифрового преобразования величины мгновенное значение h выйдет за пределы шага квантования. Характер зависимости

$P_{ow} = f(\Delta S; \sigma[h])$ представлен графически на рис. 12, б.

После определения числа разрядов АЦП и оценки достоверности аналого-цифрового преобразования возникает задача, связанная с определением разрядности цифровых вычислительных средств, которая может оказаться выше разрядности АЦП вследствие увеличения точности оценки результатов измерений благодаря статистической обработке измерительных данных.

В общем случае в измерительном канале может быть использована совокупность аналого-цифровых и цифро-аналоговых вычислительных устройств (АЦВУ и ЦАВУ), время-импульсных, частотно-импульсных и т. п., образующих гибридное измерительно-вычисли-

$$\omega(h) = \frac{1}{\sigma(h)\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-h^2 / \left[2\sigma^2(h)\right]\right\},$$

где $\sigma(h)$ – среднее квадратическое значение помехи. Графическая иллюстрация постановки задачи представлена на рис. 12, а. Примем, что вероятность $q(s)$ правильного аналого-цифрового преобразования величины S определяется вероятностью того, что мгновенное значение помехи h не выйдет за пределы шага квантования, т. е.

тельное устройство (ГИВУ), выполняющее вычислительные операции над аналоговыми и цифровыми величинами. В отличие от этого цифровые вычислительные средства обеспечивают чисто цифровую обработку измерительной информации.

Сочетание ГИВУ и микропроцессоров (МП) можно рассматривать как гибридный измерительно-вычислительный комплекс (ГИВК). Обобщенная структура ГИВК представлена на рис. 13, на котором обозначены: S и N – обобщающие символы, соответственно, аналоговой и цифровой форм представления информации; KY_S и KY_N – коммутирующие устройства, соответственно, аналоговых и цифровых сигналов. Для ГИВК справедливо следующее:

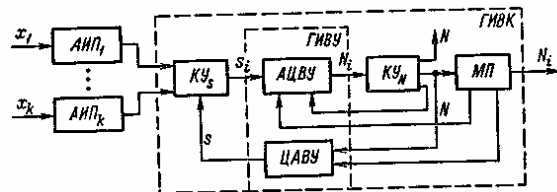


Рисунок 13 – Структура гибридного измерительно-вычислительного комплекса

1) аналоговые и аналого-цифровые преобразователи, для которых организация первичной обработки измерительной информации имеет первостепенное значение;

2) первичная обработка измерительной информации осуществляется посредством ГИВУ с использованием функций управле-

ния и хранения вспомогательной информации в микропроцессоре МП;

3) основную обработку измерительной информации производит микропроцессор, а вспомогательную – ГИВУ, обеспечивая МП результатами первичной обработки измерительной информации.

4) разделить однозначно измерительные процедуры на относящиеся к первичной или основной (вторичной) обработке затруднительно, поскольку это зависит от конкретных условий задачи;

5) гибридные вычислительные устройства (ГВУ) приобретают свойства измерительных приборов, т.е. могут быть названы гибридными измерительно-вычислительными устройствами (ГИВУ) только в том случае, если в ГВУ наряду с вычислительными операциями производятся измерительные преобразования и ГВУ имеет аттестованные метрологические характеристики.

Микропроцессорные средства. Микропроцессор (МП) представляет собой законченное программно-управляемое малоразрядное устройство, выполненное по технологии больших интегральных микросхем (БИС) и предназначенное для обработки данных и управления. Микропроцессор может быть реализован в виде одного или нескольких кристаллов, содержащих до трех и более тысяч компонентов в одном кристалле. Технологичность МП и его высокая эффективность (малая стоимость при относительно высокой производительности) определяются модульным принципом конструирования, который предполагает изготовление МП в виде набора БИС с небольшим числом внешних выводов (24–48) и программным принципом организации его работы. Микропроцессорный набор БИС представляет собой совокупность совместимых БИС, специально разработанных для построения различных МП-систем. Обычно в МП-набор входят БИС, образующие собственно МП, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), перепрограммируемое ЗУ (ППЗУ), БИС микропрограммного управления (МПУ), БИС ввода-вывода и др. (до 20 видов).

Различают следующие основные виды вычислительных средств (рис. 14) на основе микропроцессоров:

1) собственно МП – одна или несколько БИС, обеспечивающих функции: арифметико-логического устройства (АЛУ), внутренних регистров (Р_г), устройства управления (УУ) и

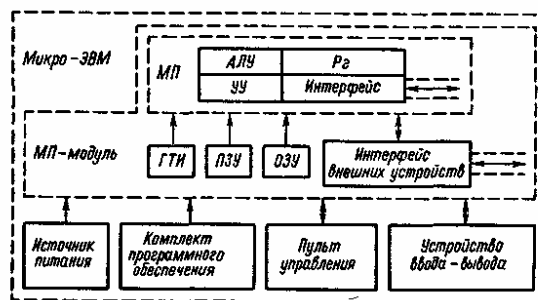


Рисунок 14 – Виды вычислительных микропроцессорных средств

внутреннего «Интерфейса», который обеспечивает связь перечисленных устройств между собой и с внешней аппаратурой;

2) МП-модуль – функционально законченное и выполненное конструктивно в виде одной платы изделие, содержащее в своем составе БИС микропроцессора (МП), запоминающего устройства (ОЗУ, ПЗУ), «Интерфейса внешних устройств», а также генератор тактовых импульсов (ГТИ); такой МП-модуль (без источника питания, корпуса, пульта управления и внешних устройств) может выполнять функции микроконтроллера (устройства управления) или микро-ЭВМ при встраивании его в МП-систему;

микро-ЭВМ (рис. 15), в отличие от МП-модуля, представляет собой конструктивно завершенное цифровое вычислительное устройство, реализованное на основе МП-набора БИС или МП-модулей и конструктивно оформленное в виде автономного устройства со своим источником питания, внешними устройствами ввода-вывода, комплектом программного обеспечения и пультом управления.

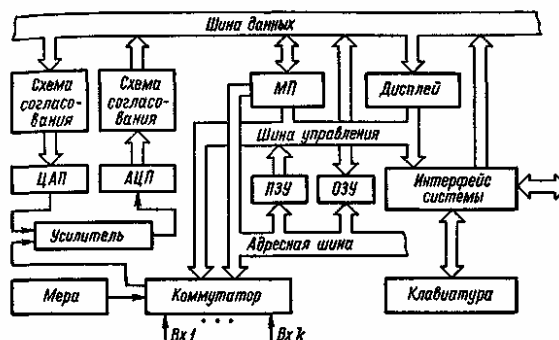


Рисунок 15 – Структура микро-ЭВМ

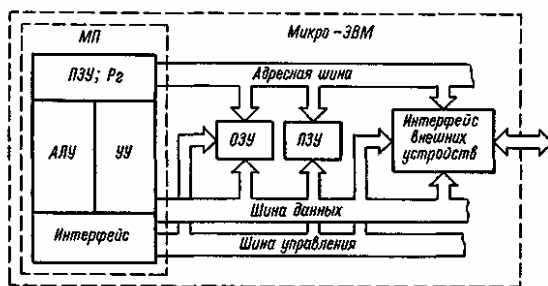


Рисунок 16 – Структура цифрового измерительного прибора со встроенным микропроцессором

Основой программного обеспечения микро-ЭВМ, используемых в средствах измерений, являются:

формализация измерительной задачи, которая предусматривает перечень измеряемых величин, форм представления результатов измерения, критериев обработки измерительной информации и т. п., представленных в виде математических или логических выражений;

алгоритмизация измерительной задачи, предусматривающая последовательность действия функциональных узлов средств измерений с учетом объема и характера обработки измерительной информации.

В качестве примера на рис. 16 приведена обобщенная структурная схема цифрового измерительного прибора со встроенным микропроцессором (МП). В этой схеме можно выделить две части: измерительную (АЦП, ЦАП, усилитель, коммутатор, мера) и аппаратуру программного управления и обработки данных (МП, ОЗУ, ПЗУ, «Клавиатура», «Дисплей», «Интерфейс»). Режим работы прибора устанавливается клавиатурой, с помощью которой выбирают измеряемую величину, режим измерений и диапазон измерений. Сигналы с клавиатуры преобразуются с по-

мощью шифратора в коды и поступают на «Шину данных».

Микропроцессор МП в соответствии с подпрограммой установки режима анализирует данные с клавиатуры, сравнивая их с константами из ПЗУ, при этом МП вырабатывает управляющие коды: на ЦАП для обеспечения требуемого диапазона измерений, на коммутатор для подключения канала и т. п. Вводимая информация с клавиатуры отображается на специальном устройстве – «Дисплее».

Режим измерений начинается с подачи команды «Пуск» с «Клавиатуры». Сформированные в АЦП коды поступают в МП, где производится их обработка по программе. Коррекция погрешности ЦИП, а также его диагностика, производятся при подаче от МП кода на коммутатор для подключения к АЦП встроенной «Меры» (например, источника известного напряжения). При этом код с АЦП, соответствующий значению меры, поступает в МП, сравнивается с константой из ПЗУ и вычисляется значение поправки, которая учитывается МП при обработке данных до следующего цикла калибровки прибора.

Приведенная структура ЦИП дает возможность выбора различных видов измерений. В этом случае производится замена ПЗУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернявский Е.А., Недосекин Д.Д., Алексеев В.В. Измерительно-вычислительные устройства и комплексы. – Л.: Изд-во ЛЭТИ, 1984.
2. Шляндин В.М. Цифровые измерительные устройства. – М.: Высшая школа, 1981.
3. Ильин В.А. Телеуправление и телеизмерения. – М.: Энергоиздат, 1982.
4. Авдеев Б.Я., Антонюк Е.М., Душин Е.М. Основы метрологии и электрические измерения. – Л.: Энергоатомиздат, 1987.