

Г. С. ПЕВЗNER
Э. И. ЦВЕТКОВ
М. Б. ЦОДИКОВ

**АГРЕГАТИРОВАНИЕ
В ЭЛЕКТРО-
ПРИБОРОСТРОЕНИИ**

ББК 34.9
П23
УДК 621.317-112

- П23 Певзнер Г. С. и др.
Агрегатирование в электроприборостроении /
Г. С. Певзнер, Э. И. Цветков, М. Б. Цодиков. — М.:
Энергия, 1981. — (Электронизмерительные при-
боры; Вып. 23) — 176 с., ил.

45 к.

Рассматривается проблема агрегатирования в электронизмерительной технике (ЭИТ).

Дан краткий анализ современного состояния ЭИТ в СССР и за рубежом, показаны основные тенденции и перспективы развития отдельных средств. Излагается постановка задачи агрегатирования. Описана конструктивно-элементная база АСЭТ, ее состояние и перспективы развития. Выделены организационные и экономические аспекты агрегатирования в ЭИТ, дан анализ этапов расчета экономического эффекта от создания АСЭТ и др.

Для работников, занятых разработкой и эксплуатацией информационно-измерительных систем и приборов.

П $\frac{30306-228}{051(01)-81}$ 191-80. 2302010000

ББК 34.9
6П2.1.033

ПЕВЗНЕР ГЕРМАН САМУИЛОВИЧ
ЦВЕТКОВ ЭРИК ИВАНОВИЧ
ЦОДИКОВ МИШЕЛЬ БОРИСОВИЧ

Агрегатирование в электроприборостроении

Редактор Е. А. Бейгул
Редактор издательства Н. А. Медведева
Технический редактор Н. Н. Хотулева
Корректор М. Г. Гулина
ИБ № 823

Сдано в набор 23.09.80 Подписано в печать 08.01.81 Т-00917
Формат 84 × 108¹/₃₂ Бумага типографская № 2 Гарн. шрифта литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 9,24 Уч.-изд. л. 9,3 Тираж 3600 экз.
Заказ 781 Цена 45 к.

Издательство «Энергия», 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Московская типография № 10 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

© Издательство «Энергия», 1981.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные тенденции в развитии электронизмерительной техники определяются, с одной стороны, усложнением объекта измерения и необходимостью комплексного его исследования во всей совокупности и многообразии его связей с другими объектами и средой и, с другой стороны, развитием микроэлектроники, позволившей реализовать при достаточной надежности функционирования сложные алгоритмы измерения, связанные с обработкой информации. Все это вызвало интенсивное развитие области электронизмерительной техники, связанной с созданием сложных ее видов — измерительных информационных систем (ИИС) и измерительно-вычислительных комплексов (ИВК). Основными областями применения этих изделий являются научные исследования в физике, биологии, медицине; промышленные испытания и исследования в черной и цветной металлургии, энергетике, машиностроении, приборостроении; стендовые и натурные испытания машин, механизмов и конструкций; лабораторная практика.

В этих условиях создание ИИС методом индивидуальной разработки, сопряженным с параллельной разработкой блоков системы, оказывается малоэффективным, ибо приводит к увеличению сроков создания систем (до 5,5 лет и более), высокой их трудоемкости и стоимости. Сокращение сроков разработки и трудозатрат при создании ИИС связано с переходом к компоновке их из агрегатных блоков (приборов), которые должны обладать целым рядом специфических характеристик и, прежде всего, совместимостью.

Курс на агрегатирование в электроприборостроении был взят еще в конце 60-х годов. Именно тогда началось создание агрегатного комплекса средств электронизмерительной техники (АСЭТ). И сейчас уже могут быть подведены определенные итоги и критически оценен опыт по внедрению принципов агрегатирования.

Настоящая книга имеет целью изложение основ агрегатирования в электроприборостроении, описание агрегатного комплекса средств электронизмерительной техники и его применений, а также основных направлений развития.

Книга состоит из шести глав. В гл. 1 рассматриваются принципы построения агрегатного комплекса, при

этом основное внимание уделяется анализу задач его создания, методологии определения структуры и состава агрегатного комплекса. В гл. 2 дано обоснование и показано формирование структуры АСЭТ. В ней приведена общая классификация средств АСЭТ. Рассматриваются рациональные параметрические ряды для всех основных групп АСЭТ и технический уровень средств комплекса, созданных в IX пятилетке. В гл. 3 дается описание унифицированных типовых конструкций, в которых разрабатываются средства АСЭТ. Рассматриваются требования и технический уровень микроэлектронной элементной базы для средств комплекса. В гл. 4 излагается метрологическое обеспечение АСЭТ. Рассматриваются все основные направления этой проблемы: определение и контроль метрологических характеристик, аппаратура метрологического обеспечения и автоматизация метрологических работ.

Применению средств АСЭТ посвящена гл. 5 — измерительные информационные системы (ИИС) и принципы их построения. В ней даются методические аспекты построения ИИС, рассматриваются информационная совместимость средств АСЭТ и типовые структуры систем на их основе.

В гл. 6 рассматриваются перспективы развития АСЭТ в 1976—1980 гг.

При написании книги авторы использовали плодотворные идеи в области агрегатирования и развития Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) Г. И. Кавалерова и результаты работ по агрегатированию в электроприборостроении И. Я. Каверкина.

В написании § 1-3 принимал участие Г. З. Щербаковский.

Авторы выражают искреннюю благодарность заслуженному деятелю науки и техники, профессору, доктору техн. наук А. С. Шаталову за внимательное и подробное рецензирование.

Замечания и пожелания по книге просьба направлять по адресу: 113114, Москва, Шлюзовая наб., 10, Энергоиздат.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

В-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Обеспечение интенсивных темпов развития науки, техники и производства в период научно-технической революции требует повышения эффективности производства приборов, средств автоматизации и систем управления, быстрого их обновления, коренного улучшения технологии и организации производства и роста на этой основе производительности труда при одновременном снижении затрат на производство продукции и повышении ее качества и надежности. Именно эти технико-экономические проблемы решает создание и развитие Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

Широкое применение принципов унификации в ГСП обеспечивает возможность создания информационных и управляющих систем, специализации приборостроительного производства, кооперирования и комплектации при выпуске сложных изделий, автоматизации конструирования устройств и проектирования систем, развития индустриальных методов их создания, изготовления и поставки, а кроме того, облегчает эксплуатацию приборов и систем, а также их модернизацию.

Дальнейшее развитие системного подхода к созданию комплексов измерительно-вычислительной аппаратуры на новой элементной базе нашло свое отражение в решениях XXV съезда партии, где сказано: «... развивать производство универсальных и управляющих вычислительных комплексов, периферийного оборудования, приборов, устройств регистрации и передачи информации для автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Обеспечить создание и выпуск новых видов приборов и радиоэлектронной аппаратуры, основанных на ши-

роком применении микроэлектроники, лазерной техники . . .».

С 1968—1970 гг. в различных организациях Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления проводятся работы по созданию агрегатных комплексов (АК) технических средств многопланового применения, являющихся одним из важнейших составных элементов системотехнического подхода в приборостроении.

Агрегатные комплексы делятся на АК широкого назначения и специализированные. К первым относятся комплексы технических средств локальных информационно-управляющих систем (КТС ЛИУС), АК средств сбора, регистрации и первичной обработки текстовой информации (АСПИ), контроля и регулирования (АСКР), электроизмерительной техники (АСЭТ), телемеханической техники (АСТТ), управляющей вычислительной техники (АСВТ), программного управления (АСПУ), хронометрической техники (АСХТ). Специализированными являются АК средств аналитической техники (АСАТ), рентгеновской техники (АСРТ), контроля материалов на прочность (АСИП), неразрушающего контроля (АСНК), измерения вибраций (АСИВ), измерения и дозирования масс (АСИМ), геофизической техники (АСГТ).

Агрегатные комплексы общего назначения решают задачи первичного преобразования и сбора информации, ее обработки и применения в самых различных областях народного хозяйства.

КТС ЛИУС предназначен для построения автоматизированных систем управления агрегатами, установками и технологическими процессами на предприятиях с непрерывным или непрерывно-дискретным характером производства в различных отраслях промышленности.

Этот комплекс включает технические и программные средства, необходимые для компоновки локальных АСУ с централизацией функций передачи, обработки, хранения и представления данных. Комплекс достаточно эффективен и для решения автономных задач при сложных алгоритмах управления, связанных с перестройкой структуры управляющих устройств.

АСПИ предназначен для организации второй периферии в автоматизированных, информационно-справочных и тому подобных системах управления производст-

вом, а также для децентрализованной подготовки и обработки информации в месте ее возникновения.

АСКР осуществляет первую ступень автоматизации различных технологических объектов и процессов. В связи с этим комплекс реализует следующие функции: циклические измерения и регистрацию текущих значений параметров в цифровой форме, непрерывную и циклическую сигнализацию отклонения параметров, многоточечное регулирование параметров по различным законам, сбор, первичную обработку и кодирование измерительной информации с последующей выдачей ее для дальнейшей обработки средствами вычислительной техники.

АСЭТ решает задачи измерения физических величин электрическими методами, начиная с этапа, на котором электрическая величина уже получена. Средства его осуществляют с достаточно высокими метрологическими характеристиками сбор, преобразование, представление, первичную обработку и хранение измерительной информации в измерительных информационных системах, применяемых в самых различных областях промышленности и научных исследованиях.

АСВТ является базой современных управляющих вычислительных машин. Разработка и внедрение этого комплекса решают задачи обеспечения средствами вычислительной техники самых разнообразных управляющих измерительно-вычислительных комплексов. Одновременно с созданием технических средств решаются задачи развития системы математического обеспечения, сокращающей затраты на программирование и позволяющей наиболее эффективным способом использовать ресурсы вычислительной техники.

Для удовлетворения потребностей народного хозяйства в средствах телемеханики малыми сериями устройств, различных по выполняемым функциям, объемам передаваемой информации и структуре построения, связанной с особенностями используемых каналов связи, создан АСТТ.

Специализированные АК предназначены прежде всего для реализации специфических для них функций извлечения и подготовки информации. Это — отбор, приготовление и обработка проб в АСАТ, возбуждение сил и нагружения в АСИП, образование полей и проникаю-

щих излучений в АСНК, измерение и дозирование масс в АСИМ и т. д.

В книге изложены основные проблемы агрегатирования в электронизмерительной технике, методы их решения, а также основные результаты создания АСЭТ I очереди в 1971—1975 гг.

В-2. СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ ЭИТ

Прогресс в развитии науки и техники в значительной степени зависит от уровня развития измерительной техники. В огромном арсенале средств современной измерительной техники видное место принадлежит средствам электронизмерительной техники (ЭИТ). Это обусловлено тем, что в ряде отраслей народного хозяйства, как, например, энергетике, радиоэлектронике и т. д., широко используются измерения электрических величин. Но еще большее значение средства ЭИТ приобретают в связи с тем, что многие неэлектрические величины путем их преобразования легко представляются и измеряются электрическими методами, что весьма удобно для регистрации, обработки и передачи информации на расстояние. В настоящее время разработаны и выпускаются средства ЭИТ, с помощью которых могут быть произведены измерения около 80 электрических величин, существенно отличающихся друг от друга по характеру и свойствам.

Перечень измеряемых электрических параметров включает в себя значения постоянного и переменного тока и напряжения, их отношение, частоту, фазу, активную и реактивную мощность в однофазных и трехфазных сетях, активное и реактивное сопротивление, емкость, индуктивность, проводимости и т. д.

Многообразие измеряемых величин, методов и способов построения средств ЭИТ, зависящих от значения измеряемой величины, диапазона ее изменения, частотного диапазона, точности измерений (в статике и динамике), параметров входных и выходных цепей, а также многообразие конструктивного оформления, определяемого требованиями схемных решений, условиями эксплуатации, технологией изготовления и т. д., привели к громадному многообразию технических средств, реализующих процесс электрических измерений,

В настоящее время электроизмерительное приборостроение выпускает в серийном производстве во все увеличивающемся объеме технические средства для измерения электрических и магнитных величин, параметров электрических цепей и электрофизических свойств материалов в диапазоне частот от постоянного тока до нескольких сотен килогерц.

Увеличение объема производства сопровождается значительным расширением номенклатуры выпускаемых приборов, как показано в табл. В-1.

Таблица В-1

Год	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980
Количество типов приборов	135	195	388	880	920	909	1400

За последние 20—25 лет предельная погрешность измерения выпускаемых приборов уменьшилась в 400 раз и достигла, например, для приборов постоянного тока 0,0005 %. За это же время диапазон измерения электрического тока расширился в 7000 раз, а напряжения — в 500 раз [1]. Значительно расширился диапазон измерения и других электрических величин в сторону наименьших и наибольших значений.

Все более глубоко проникает электронная техника в создание средств ЭИТ. Если в 1946 г. все электроизмерительные приборы были электромеханические, то в 1975 г. более 75 % выпускаемых типов изготавливаются с применением электронной техники.

Коротко остановимся на основных группах средств ЭИТ. Первичные измерительные преобразователи, преобразующие параметры тока в унифицированные сигналы напряжения постоянного тока 0—10 В и постоянный ток 0—5 мА, характеризуются в настоящее время следующими значениями основных параметров:

класс точности 1,0—0,5 для тока и напряжения постоянного и переменного тока; 0,5—0,25 для активной мощности и 1,0 для реактивной;

вероятность безотказной работы за 10 000 ч 0,77—0,8.

Появление новых элементов (полевых транзисторов, аналоговых интегральных схем) и схемотехнических решений позволяет в ближайшие годы увеличить точность

до 0,1 %, существенно расширить входной диапазон, а также увеличить технический ресурс измерительных преобразователей до 100 000 ч и более [2]. Все более широкое применение находят многоканальные и групповые измерительные преобразователи с дистанционным программным управлением.

Основные тенденции развития измерительных усилителей сводятся к улучшению метрологических характеристик (чувствительность и точность), динамических характеристик (быстродействие, рабочая полоса частот) и эксплуатационных характеристик (малые габариты, масса, устойчивость к внешним воздействиям и влияющим факторам). Современные измерительные усилители постоянного тока (УПТ) имеют нижний номинальный предел 1 мВ, основную погрешность 0,05—0,5 % за 2000 ч, гальваническое разделение входных цепей, быстродействие 0,5 с.

В X пятилетке планируется создание УПТ с быстродействием 10^{-3} — 10^{-5} с и серий широкополосных усилителей переменного тока с полосой $5 \cdot 10^5$ Гц, повышение чувствительности измерительных усилителей до 10^{-5} В классов точности до 0,02, а также разработка многофункциональных измерительных усилителей с автоматическим программированием [3].

Одной из наиболее важных и развивающихся групп средств являются аналого-цифровые, куда входят аналого-цифровые преобразователи, коммутаторы измерительные и цифровые измерительные приборы для измерения различных видов электрических величин. Переход с дискретной релейно-полупроводниковой элементной базы на микроэлектронику привел к снижению потребляемой мощности, габаритов и массы, увеличению функциональных возможностей, надежности и стабильности аппаратуры. Максимальная точность средств измерения на постоянном токе определяется классом 0,005—0,002, на переменном токе 0,5, сопротивления 0,01, индуктивности и емкости 0,05. Наименьшие пределы измерения на постоянном токе 10 мВ, на переменном токе 100 мВ, сопротивления 10^{-8} Ом и т. д. Созданы приборы с автоматическим выбором пределов и дистанционным управлением. Появились аналого-цифровые преобразователи с быстродействием до $5 \cdot 10^5$ преобразований/с и коммутаторы измерительные с минимальным коммутируемым напряжением 10 мВ, а также универсаль-

ные приборы, позволяющие измерять до девяти электрических величин в достаточно широком диапазоне с погрешностью 0,5—0,01%.

Основной тенденцией в развитии этой группы приборов также является дальнейшее совершенствование совокупности метрологических и эксплуатационных характеристик на основе улучшения схемотехнических решений, агрегатного принципа построения самих приборов и использования интегральных схем с большей степенью интеграции, например больших аналоговых ИС частного применения. Предполагается достигнуть точности измерения, соответствующей на постоянном токе классам 0,001 — 0,0005, на переменном токе 0,05 — 0,02 в частотном диапазоне от 40 Гц до 100 кГц. Точность измерения сопротивления достигнет класса 0,001. Создаются универсальные приборы, измеряющие до 13 величин с погрешностью 0,01 — 0,005%, серия щитовых приборов с более высокими метрологическими характеристиками, приборы для измерения магнитных величин, аналого-цифровые преобразователи в приборном и модульном исполнении с быстродействием до $5 \cdot 10^6$ преобразований/с и погрешностью 0,01%, а также измерительные коммутаторы с минимальным коммутируемым напряжением 1 мкВ и числом каналов до 1000. Все большее внимание, особенно с развитием микропроцессов, будет уделяться расширению функций цифровых измерительных приборов, связанных как с выполнением самих измерительных процедур, так и с первичной обработкой измерительной информации. Значительно расширится гамма приборов для измерения вероятностных характеристик случайных процессов [4, 5].

В группу измерительных регистрирующих средств и средств представления информации входят обычные (щитовые и переносные) и быстродействующие самописцы — одноканальные и многоканальные, двухкоординатные графопостроители, алфавитно-цифровые, графические и универсальные (дисплей), индикаторы, алфавитно-цифровые печатающие устройства, регистрирующие графопостроители с цифровым входом (обычные и с возможностью печати отдельных значений).

Самопишущие приборы имеют предельный класс точности I и чувствительность 1 мм/мкВ, для быстродействующих приборов частотный диапазон регистрации равен 150 Гц. Двухкоординатные графопостроители,

построенные по принципу следящего преобразования, имеют класс 0,5 и чувствительность 0,1 мм/мкВ. Алфавитно-цифровые и цифровые регистрирующие приборы характеризуются следующим быстродействием: электро-механические 500 символов/с, немеханические 20 000 символов/с; число символов в строке от 16 до 128.

Общей тенденцией развития самопишущих приборов является расширение номенклатуры выпускаемых приборов, улучшение качества записи и надежности путем применения новых способов записи и новых носителей, создание универсальных приборов за счет дополнительных сменных функциональных блоков, выполняющих ряд математических операций, повышение плотности и информативности записи посредством регистрации нескольких величин на одном носителе, использования знакографической и многоцветной форм записи [6].

Развитие алфавитно-цифровых регистрирующих электро-механических устройств, достигших предела в быстродействии, идет по пути уменьшения габаритов, увеличения числа регистрируемых символов и совершенствования эксплуатационных характеристик, немеханических — по пути совершенствования способов записи и технических характеристик. Развитие получают и универсальные индикаторные устройства на запоминающих, знакографических и цветных электронно-лучевых трубках (ЭЛТ), индикаторы с объемным изображением, со сменой фоновой информации и документированием изображения. Появляются модели этих устройств с нормированием метрологических характеристик [7].

Наиболее сложными и современными средствами ЭИТ являются измерительные информационные системы (ИИС), включающие все упомянутые выше группы средств. В свою очередь весьма часто они являются составной частью систем более высокого порядка сложности, как, например, АСУ ТП, измерительно-управляющих комплексов. Характеристики ИИС отличаются значительным многообразием:

пределы измерения значений величин изменяются от единиц милливольт до 1000 В и от единиц наноампер до десятков ампер на постоянном и переменном токе в весьма широком частотном диапазоне (до сотен килогерц); от единиц герц до мегагерц при измерении частоты

ты; от 0,001 Ом до десятков мегаом при измерении сопротивления и т. д.;

погрешность ИИС составляет 0,01 — 0,1% без учета погрешности первичных измерительных преобразователей;

емкость системы (число измеряемых каналов) колеблется от 10 до 10 000;

быстродействие системы, оцениваемое числом измерений в секунду, колеблется от 1 до 10^5 ;

подавление помех общего вида достигает 120 дБ на частоте 50 (60) Гц и т. д.

Современные ИИС оснащены широким набором выходных устройств регистрации, хранения и представления измерительной информации.

Ввиду разнородности задач и требований к ИИС в последнее время определились тенденции создания систем с гибкой перестраиваемой структурой, построенных по агрегатному принципу, обеспечивающему возможность набора необходимых блоков для каждой конкретной измерительной системы на основе комплексов различной контрольно-измерительной аппаратуры, как в процессе изготовления системы, так и в процессе ее эксплуатации. В связи с этим большое внимание уделяется унификации сигналов, конструктивных и эксплуатационных характеристик средств, входящих в ИИС, стандартизации условий сопряжения и другим вопросам совместимости средств ЭИТ, которые существенно упрощают методы проектирования систем и сокращают сроки создания ИИС [8].

Метрологические характеристики ИИС в целом в значительной степени определяются характеристиками входящих в их состав блоков. Поэтому их повышение зависит от роста технического уровня отдельных блоков и в первую очередь первичных измерительных преобразователей. В настоящее время возрастает степень автоматизации измерительных и вспомогательных процессов. Кроме того, намечается переход к самонастраивающимся системам, к совершенствованию устройств вывода информации, увеличению объема информации, повышению надежности за счет использования блоков на основе больших интегральных микросхем, самоконтроля [9]. Особо следует отметить тенденцию к применению ЭВМ для управления, статистической обработки данных и других видов первичной обработки измерительной ин-

формации в ИИС, что связано с развитием в последнее время мини-ЭВМ и особенно с появлением микропроцессоров.

В-3. АГРЕГАТИРОВАНИЕ — ОСНОВА СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПОДХОДА К СОЗДАНИЮ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Краткий анализ современного уровня развития ЭИТ показывает, что очевидна неуклонная тенденция к усложнению и росту многообразия измерительной аппаратуры. Кроме автономного применения эта аппаратура находит все более широкое применение в различного рода информационных системах: ИИС, АСУ ТП, УВК и т. д. Это накладывает свой отпечаток на принципы проектирования, изготовления и эксплуатации электроизмерительной аппаратуры, в основе которых может лежать только современный системный подход.

Системный подход в данном случае означает, что решение проблемы создания средств ЭИТ есть решение комплекса работ, направленных на:

достижение предельного уровня унификации и стандартизации средств ЭИТ, причем в первую очередь элементной и конструктивной баз;

установление номенклатуры и состава, обеспечивающих выполнение требований, предъявляемых к ЭИТ, оптимальным числом модификаций средств одного типа (с позиций совокупных затрат на проектирование, изготовление и эксплуатацию);

углубление предметной и технологической специализации предприятий-разработчиков и изготовителей.

Реализацию этого комплексного подхода и преследует создание агрегатного комплекса средств электроизмерительной техники (АСЭТ).

Средства комплекса — это средства ЭИТ, предназначенные для совместного использования по установленным правилам компоновки при создании ИИС различного назначения — от элементарных систем, представляющих собой объединение всего лишь нескольких средств ЭИТ, до сложных многофункциональных ИИС широкого назначения или специализированных систем для автоматизации измерения и управления в отдельных областях промышленности и научных исследований.

Кроме того, такие средства комплекса, как измерительная аппаратура, могут использоваться в качестве автономных приборов или в составе простейших соединений, обеспечивающих автоматизацию измерений и регистрацию данных.

Таким образом, создание АСЭТ предусматривает удовлетворение требований народного хозяйства в средствах измерения электрических и магнитных величин в различных отраслях и в первую очередь в машиностроении, металлургии, энергетике и научных исследованиях.

Переход к созданию средств ЭИТ в рамках АСЭТ обеспечивает возможность замены индивидуальной разработки сложных измерительных устройств ИИС в целом их проектной компоновкой с максимальной преемственностью решений и последующим переходом к проектированию с помощью ЭВМ [10].

Разработка и внедрение в производство средств АСЭТ позволяет:

сократить затраты на разработку устройств ЭИТ и ИИС;

повысить удельный вес заимствованных, специализированных и кооперированных деталей, узлов, блоков и средств, т. е. в конечном счете повысить производительность труда;

увеличить объем производства на действующих мощностях за счет повышения производительности труда;

сократить затраты на производство и сократить капиталовложения на развитие мощностей.

В общем случае принцип агрегатирования состоит в следующем.

1. Машины, системы и другие сложные технические устройства представляют собой агрегат, состоящий из нескольких независимых средств, блоков или узлов.

2. Расчленение на эти средства, блоки или узлы производится так, чтобы каждый из них выполнял определенную функцию, присущую ряду агрегатов, и имел конструктивно-техническую законченность.

3. Виды сопряжений средств, блоков или узлов выбираются так, чтобы их можно было собирать в агрегат с заданными технико-эксплуатационными характеристиками.

4. Функциональное многообразие агрегатов достигается различным сочетанием средств, блоков и узлов,

а также возможностью наращивания структуры агрегатов в процессе их эксплуатации.

5. Средства одного функционального назначения образуют параметрические ряды.

Специфика агрегатирования в приборостроительной промышленности при создании средств автоматизации и систем измерения, контроля, регулирования и управления связана с большим числом характеристик средств, их разнохарактерностью и сложностью описания. Отсюда возникают такие особенности, как:

- необходимость расширения понятия совместимости средств, развития ее видов, отражающих сопряжение средств по различным характеристикам;

- законченность и аттестованность по значительно большему числу параметров, чем, например, в машиностроении;

- многомерность параметрических рядов;

- усложнение процедуры компоновки агрегата с заданными технико-эксплуатационными характеристиками [11].

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА АСЭТ

1-1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПРИ СОЗДАНИИ АГРЕГАТНОГО КОМПЛЕКСА

При создании агрегатного комплекса надлежит решить ряд задач по следующим направлениям [10, 12, 13].

1. Теоретико-методические исследования:

разработка базовых моделей ИИС, измерительно-вычислительных и управляющих комплексов, определение их важнейших характеристик и параметров с учетом прогнозов на 10—15 лет;

разработка принципов построения комплекса и установление его структуры;

определение номенклатуры средств комплекса, обеспечивающих его функциональную полноту;

разработка принципов совместимости средств;

создание методов построения рациональных рядов средств агрегатных комплексов (АК) и определение рядов.

2. Информационное обеспечение, организация и технико-экономические исследования:

создание единого научно-методического и организационного центра разработки и развития АК, облеченного необходимыми правами, подбор организаций-исполнителей по основным задачам его создания;

сетевое планирование и управление созданием АК в целом на основе соответствующего информационного обеспечения;

разработка методов и организация изучения потребности в средствах комплекса, а также требований к их ключевым параметрам;

анализ состояния и тенденций развития основных видов средств комплекса и формирование прогноза на 15—20 лет;

на основе структуры комплекса и его рациональных рядов установление и совершенствование принципов специализации предприятий разработчиков и изготовителей и взаимных кооперированных поставок средств комплекса, типовых унифицированных конструкций, элементной базы, средств метрологического обеспечения, технологического оборудования и оснастки;

определение рациональной очередности разработки и освоения в серийном производстве средств АК;

создание эффективной системы комплектации изготавливаемых средств АК, их комплектной поставки заказчикам по требуемой номенклатуре и авторского надзора в процессе эксплуатации;

создание и систематическая актуализация машинного информационного банка данных о комплексе, его идеологических основах, базах и обеспечениях, характеристиках входящих средств и систем, строящихся на их основе, опыте их эксплуатации и т. д. как основной информационной базы разработчиков и потребителей измерительной аппаратуры;

создание методов исследования технико-экономической эффективности агрегатирования в разработке, производстве и эксплуатации как для комплекса в целом, так и для систем, komponуемых на его основе.

3. Создание и производство средств АК в соответствии с рациональными рядами на основе унифицированных конструкций, общей (преимущественно микроэлектронной) элементной базы и применения перспективных технологических процессов.

4. Разработка общих принципов конструирования и создание достаточно полного и экономически целесообразного набора типовых унифицированных конструкций в соответствии с определенной иерархической системой, обеспечивающего конструктивную совместимость и предназначенного для централизованного серийного производства.

5. Элементная база — ограниченная номенклатура элементов, для создания и применения которой необходимы анализ структуры средств АК, определение общности их функциональных элементов и создание их рациональных рядов с учетом перспектив развития интегральных микросхем, прогрессивной технологии изготовления и освоения функциональных элементов в производстве.

6. Техническая база, создаваемая на основе анализа возможных конструкторских и технологических решений, а также разработки и освоения типовых технологических процессов, технологического оборудования и оснастки.

7. Метрологическое обеспечение:

анализ состояния метрологического обеспечения средств АК с учетом перспектив его развития и типизации задач;

исследование и разработка теоретических основ метрологического обеспечения (методы нормирования метрологических характеристик средств измерений комплекса в статическом и динамическом режимах, методы определения метрологических характеристик систем в целом, оценка функций влияния, методы аттестации и проверки метрологических характеристик и т. п.);

определение состава средств метрологического обеспечения, их разработка и освоение в производстве.

8. Проектирование систем на базе АК:

разработка частных и обобщенных критериев эффективности систем;

анализ и синтез систем на основе средств комплекса, предусматривающие разработку математических моделей сигналов, средств АК и измерительных трактов систем, а также оптимизацию последних по выбранным критериям на основе этих моделей;

построение базовых моделей систем и их измерительных трактов агрегатным способом и типовые расчеты их технико-эксплуатационных и прежде всего метрологических характеристик по аттестованным значениям характеристик входящих в них средств.

9. Нормативное обеспечение — разработка и пополнение по мере создания АК рациональной системы регламентирующей и нормативной документации в ранге государственных и отраслевых стандартов, руководящих технических материалов и методик, распространяющихся на:

структуру и область применения комплекса, технические требования к средствам комплекса;

конструктивную, элементную и техническую базу комплекса, его метрологическое обеспечение;

группы технических средств комплекса, обеспечивающих требуемые технические и эксплуатационные харак-

теристики и совместимость при создании систем и других видов сложной измерительной аппаратуры;

типовые методы проектирования систем на основе АК и методы расчета метрологических, эксплуатационных и других технических характеристик проектируемых агрегатных систем.

Масштабы работ по созданию АК в целом, значительные сроки его разработки и внедрения, участие большого числа исполнителей различного ведомственного подчинения выдвигают на первый план проблему координации работы научных, проектных, конструкторских и технологических организаций на всех этапах и иерархических уровнях разработки.

В книге рассмотрены методы решения некоторых из перечисленных выше основных задач при реализации проблемы агрегатирования в ЭИТ на примере создания агрегатного комплекса средств электроизмерительной техники (АСЭТ) в девятой пятилетке.

1-2. ТРЕБОВАНИЯ К АГРЕГАТНОМУ КОМПЛЕКСУ И ЕГО СРЕДСТВАМ

Основным условием агрегатирования является совместимость агрегатных средств.

Совместимость обеспечивает возможность непосредственного сопряжения (механического, сигнального) технических средств АК, создаваемых в рамках нескольких организаций, ведомств, министерств, фирм, государств или международных объединений в заранее предусмотренных сочетаниях без необходимости разработки и применения дополнительных приспособлений и устройств. Она позволяет на основе совокупности правил компоновки создавать ИИС и ИВК различной сложности проектным путем.

Концепция совместимости, включающая в настоящее время требования удовлетворения таким ее видам, как энергетическая, информационная, метрологическая, конструктивная и эксплуатационная, основана на последовательных унификации и стандартизации свойств и характеристик технических средств — блоков системы.

Для непосредственного сопряжения рассматриваемых средств при их совместном применении в рамках системы принципиально необходимы для их функционирования энергетическая, информационная и для некоторых условий эксплуатации — конструктивная и

эксплуатационная совместимости. Однако для создания систем с заданными техническими характеристиками при оптимизации их по стоимостным критериям весьма важными становятся требования метрологической совместимости.

Остановимся кратко на каждом виде совместимости.

Энергетическая совместимость обеспечивает выбор единого рода используемой энергии носителя сигналов в измерительном тракте (в канале связи), применяемой для сбора, преобразования, передачи измерительной информации и команд управления.

В настоящее время применяются следующие виды вспомогательной энергии: электрическая, пневматическая и гидравлическая. Для средств АСЭТ в качестве вспомогательной энергии применена только электрическая, поэтому в настоящей работе она и будет рассматриваться.

Метрологическая совместимость обеспечивает сопоставимость результатов измерений, вытекающую из требований единства измерений, сохранение номинальных значений метрологических характеристик сопрягаемых средств и возможность расчетного определения метрологических характеристик формируемого на их основе измерительного тракта. Метрологическая совместимость предписывает выполнение следующих требований при создании и описании измерительных средств: рациональный выбор нормируемых метрологических характеристик, их единообразное нормирование, а также согласование параметров входных и выходных цепей.

Статистические методы нормирования метрологических характеристик средств измерений, разработанные с общих позиций (например, ГОСТ 8009-78) и конкретизированные для всех групп системных средств измерений, обеспечивают возможность расчета установленных метрологических характеристик систем. Весьма существенным требованием является согласованность входных и выходных цепей сопрягаемых средств измерений (достигаемая, в частности, соответствующим выбором их полных сопротивлений), обеспечивающая сохранение (изменение в допустимых пределах) номинальных значений метрологических характеристик этих средств. Последнее требование позволяет корректно поставить задачу структурно-параметрического синтеза ИИС на основе средств АК.

Конструктивная совместимость обеспечивает согласованность конструктивных параметров, механическое сопряжение средств, согласованность эргономических и эстетических требований. Она достигается рациональным выбором единых форм элементов конструкций, рядов типоразмеров элементов конструкций, установочных и присоединительных размеров, применением единых прогрессивных технологических процессов изготовления и сборки конструкций, соблюдением единого стиля оформления средств.

Основой конструктивной совместимости является иерархическая структура конструкций, которая реализуется базовыми конструкциями нескольких уровней (порядков) и предусматривает входимость конструкций низших иерархических уровней в конструкции высших.

Возможность автономного использования изготовленных средств обеспечивается трансформацией их конструкции без переделок и вскрытия (нарушения пломб).

Эксплуатационная совместимость обеспечивает согласованность характеристик, определяющих действие внешних факторов на средства в рабочих условиях, и согласованность характеристик надежности и стабильности функционирования этих средств. Эксплуатационная совместимость достигается единообразием номенклатуры характеристик и способов нормирования параметров, что предусматривается в общих технических требованиях на средства с помощью:

разделения средств по виду исполнения на группы в зависимости от условий окружающей среды, климатических и механических воздействий;

единых требований к электрической изоляции;

единых требований к источникам питания;

единых методов нормирования параметров надежности;

типовых методик контроля технических характеристик средств систем в процессе испытаний и эксплуатации и единых требований к поставке и гарантиям поставщика.

Эксплуатационная совместимость обуславливает возможность компоновки системы с заданными значениями параметров надежности и рабочих условий эксплуатации.

Как указывалось, при проектировании ИИС агрегатным способом первостепенное значение имеет *информа-*

ционная совместимость, обеспечивающая согласованность входных и выходных сигналов сопрягаемых средств по номенклатуре, виду, информативным параметрам, уровню значений, типу логики, пространственно-временным и логическим соотношениям [14]. Информационная совместимость реализуется на основе иерархического принципа, который предполагает наличие нескольких уровней (рангов) совместимости:

на нулевом уровне обеспечивается совместимость внутри средства между его частями (функциональными элементами);

на первом уровне обеспечивается совместимость средств внутри системы;

на втором уровне обеспечивается совместимость между системами в рамках более высокого иерархического уровня.

Рассмотрим более детально вопросы информационной совместимости.

Для обеспечения информационной совместимости необходимо соблюдение двух условий: унификация измерительных сигналов и применение стандартных интерфейсов.

Под унификацией измерительных сигналов (иногда этот раздел выделяют под названием электрическая совместимость) понимается оведение всего многообразия сигналов к ограниченному множеству разрешенных для использования (по виду сигнала, по виду информативного параметра сигнала) и единообразное нормирование значений параметров сигнала.

В зависимости от вида унифицированного параметра ГСП предусматривает сигналы четырех групп:

- 1) сигналы тока и напряжения электрические непрерывные;
- 2) сигналы частотные электрические непрерывные;
- 3) сигналы электрические кодированные;
- 4) пневматические сигналы.

В АСЭТ используются унифицированные сигналы только первых трех групп.

В соответствии с ГОСТ 9895-78 сигналы первой группы в зависимости от вида информативного параметра включают сигналы постоянного тока, сигналы напряжения постоянного тока и сигналы напряжения переменного тока.

В соответствии с ГОСТ 14853-76 ко второй группе относятся сигналы, у которых в качестве информативного параметра выступает частота переменного тока или частота импульсов.

Сигналы электрические кодированные определены ГОСТ 12814-74. В соответствии с этим стандартом разрешено использование единичного нормального, двоичного нормального и двоично-десятичного кодов. Цифровые знаки 1 и 0 кодированного сигнала представляются соответственно отрицательным напряжением и остаточным напряжением постоянного тока (это соответствует так называемому отрицательному типу логики).

Каждый из перечисленных стандартов нормирует пределы изменения измеряемых сигналов.

Под интерфейсом в узком смысле понимаются условия, которые определяют логические, электрические и конструктивные требования к соединяемым функциональным блокам, средствам, устройствам систем и к связям между ними.

Логические условия, т. е. номенклатура сигналов, их виды, логические и временные соотношения между сигналами взаимодействия функциональных блоков в системе, определяют алгоритм и соответственно структуры систем.

Электрические условия определяют требования к параметрам сигналов взаимодействия и к способам их передачи.

Конструктивные условия устанавливают конструктивные требования к аппаратурным средствам интерфейса, в том числе виду разъема, расположению его на плате или блоке и распайке его контактов.

В широком смысле в понятие интерфейс входят также аппаратурные средства интерфейса, т. е. интерфейсные блоки, узлы, карты и линии связи, обеспечивающие совместную работу функциональных устройств и блоков, и программные средства интерфейса, обеспечивающие работу аппаратурных средств. Однако применение программных средств не является обязательным, так как в ряде случаев связь между функциональными блоками в ИИС осуществляется только аппаратурными средствами.

Для пяти агрегатных комплексов ГСП: АСПИ, КТС ЛИУС, АСТТ, АСКР и АСЭТ был разработан и введен

в действие единый интерфейс¹ ЕИ-1. Его положения закреплены двумя отраслевыми стандартами Министерства приборостроения, средств автоматизации и систем управления: ОСТ 25.190-73 «ГСП. Агрегатные комплексы приборов и средств автоматизации. Интерфейс ЕИ-1. Логические условия» и ОСТ 25.452-74 «ГСП. Агрегатные комплексы приборов и средств автоматизации. Интерфейс ЕИ-1. Электрические и конструктивные условия».

Основным требованием к АК в целом как совокупности технических средств ЭИТ, предназначенных для построения ИИС, является его полнота. Это понятие имеет два уровня детализации: первый — функциональная полнота и второй более детальный — структурная.

Функциональная полнота — свойство АК, выражающееся в возможности выполнения средствами комплекса любого из ограниченного множества функциональных преобразований любого из ограниченного множества сигналов.

Структурная полнота — свойство комплекса, обеспечивающее возможность структурного синтеза любой ИИС на основе функционально полного набора классов средств для решения установленного круга задач.

При этом под классом средств понимается совокупность средств, реализующих определенное функциональное преобразование определенного сигнала (вида и информативного параметра), соответствующее требованиям совместимости, с неоговоренными метрологическими характеристиками. Полнота агрегатного комплекса в целом и совместимость его средства позволяют окончательно определить структуру АСЭТ.

Формирование и нормализация параметрических рядов для всех классов средств установленной структуры позволяет сформировать состав АСЭТ.

Параметрический ряд средств АК есть ограниченная совокупность одинаковых по функциональному назначению технических средств, обладающих взаимозаменяемостью по требованиям совместимости и упорядоченных по значениям ключевых параметров по установленному критерию.

¹ В настоящее время утвержден ОСТ 25.857-79 «АСЭТ. Взаимодействие средств (Приборный интерфейс)», в основу которого положены требования интерфейса программируемых приборов, рекомендованного МЭК (публикация 625.1).

Таким образом, можно определить АСЭТ как совокупность параметрических рядов всех классов средств ЭИТ, входящих в его состав.

1-3. МЕТОДОЛОГИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА АСЭТ

Вопросы определения структуры и состава АСЭТ рассматривались в ряде работ [10, 15, 16]. На основании изложенного ранее практически наиболее приемлемым оказался подход к определению структуры и состав АСЭТ, представляющий собой последовательность выполнения следующих логически связанных этапов:

- обеспечение функциональной полноты;
- задание множества измерительных сигналов и сигналов взаимодействия;
- обеспечение структурной полноты;
- формирование и нормализация параметрических рядов.

Функциональная полнота, как указывалось в предыдущем параграфе, обеспечивает возможность выполнения техническими средствами АСЭТ функциональных преобразований над электрическими сигналами с целью представления содержащейся в них измерительной информации в требуемом для потребителя виде. Эти преобразования включают:

- преобразование исследуемой характеристики объекта в электрический сигнал;
- преобразование электрического сигнала с произвольными параметрами в унифицированный сигнал;
- преобразование унифицированного сигнала одного вида в унифицированный сигнал другого вида;
- усиление мощности и гальваническую развязку цепей при подаче сигнала с предшествующего блока одновременно на несколько последующих;
- функциональное преобразование унифицированного электрического сигнала;
- задание данных в цифровой и аналоговой формах;
- коммутацию цепей с целью установления соединений между средствами в соответствии со структурой и алгоритмом работы;
- измерение в аналоговой форме;
- измерение в цифровой форме;
- объединение сигналов от всех источников информации в общий поток, введение в этот поток дополнитель-

ных служебных данных, необходимых для последующего выделения и привязки ко времени сообщений отдельных источников;

запись, хранение и последующее воспроизведение данных априорной и измерительной информации;

выполнение математических и логических операций над данными;

представление данных потребителями в требуемом виде.

Помимо перечисленных, технические средства комплекса должны выполнять и вспомогательные функции:

контроль состояния средств и управление режимом работы ИИС в целом и отдельных средств;

ввод дополнительных данных с вещественных носителей;

энергоснабжение средств в составе системы.

Некоторые функции могут быть детализованы, как, например, коммутация измерительных цепей, где нормируется погрешность коммутации, и коммутация неизмерительных цепей, измерение с индикацией полученных результатов и измерение с регистрацией данных, представление данных в алфавитно-цифровой, графической или совмещенных формах и т. д.

Элементом рассматриваемого множества функциональных преобразований $A = \{a_i\}^n$ является функциональная единица a_i , соответствующая элементарному функциональному преобразованию.

Технические средства АСЭТ должны обеспечивать выполнение перечисленных выше операций над электрическими сигналами. В ЭИТ такими сигналами — носителями измерительной информации являются:

аналоговые непрерывные и дискретные сигналы с амплитудной модуляцией;

аналоговые с частотной, время-импульсной и фазовой модуляцией;

кодовые.

Конкретный перечень видов этих сигналов и их измеряемых информативных параметров дан в табл. 1-1, где представлены как неунифицированные, так и унифицированные сигналы, упомянутые в предыдущем параграфе, т. е. все множество сигналов $C = \{c_j\}^m$.

С введением понятия сигнала множество функциональных преобразований расширяется и превращается во множество структурных единиц. Каждый элемент

Перечень видов сигналов и их измеряемых информативных параметров

Вид сигнала	Информативные параметры	Обозначение
Аналоговый сигнал постоянного тока	Текущее значение тока	AM_0 (ток)
Аналоговый сигнал напряжения постоянного тока	Текущее значение напряжения	AM_0 (напряжение)
Аналоговый сигнал, модулирующий гармоническую несущую напряжения (тока)	Текущее значение амплитуды (эффективное, среднее) модулированного сигнала	AM
	Текущее значение частоты (периода) модулированного сигнала	$ЧМ$
	Текущее значение фазового угла модулированного сигнала	$\Phi М$
Аналоговый сигнал, модулирующий последовательность импульсов	Текущее значение амплитуды (эффективного, среднего) модулированного сигнала	$АИМ$
	Текущее значение частоты (периода) следования импульсов модулированного сигнала	$ЧИМ$
	Длительность импульса (продолжительность паузы, фазовый угол) модулированного сигнала	$ШИМ$ ($ВИМ$)
Кодовый сигнал в форме импульсов (последовательных во времени или параллельных)	Кодовые комбинации электрических импульсов, соответствующие принятой системе кодирования	$КИМ$

этого расширенного множества (структурная единица) представляет собой класс средства, выполняющих одно элементарное функциональное преобразование сигнала конкретного вида в составе ИИС определенной структуры.

К формальной постановке задачи определения структурной полноты АСЭТ можно перейти на основе таблицы, в которой по горизонтали отложен перечень функциональных единиц, а по вертикали — перечень измеряемых информативных параметров сигналов. Составим матрицу \mathbf{B} принципиально необходимых структурных единиц АСЭТ размерностью $n \times m$, где n — количество строк в таблице; m — количество столбцов в таблице.

Элементы b_{ij} матрицы \mathbf{B} определяются следующим образом:

$$b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если над } i\text{-м информативным параметром нужно} \\ & \text{совершить } j\text{-е функциональное преобразование;} \\ 0 & \text{— в противном случае,} \end{cases}$$

где $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$.

В каждый текущий период времени можно составить матрицу \mathbf{B}^k , характеризующую совокупность структурных единиц агрегатного комплекса на k -й период времени. Элементы b^k_{ij} матрицы \mathbf{B}^k определяются следующим образом.:

$$b^k_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если хотя бы одним устройством из состава} \\ & \text{АСЭТ на } k\text{-й период времени осуществляется} \\ & \text{функциональное преобразование } i\text{-го информативного} \\ & \text{параметра;} \\ 0 & \text{— в противном случае,} \end{cases}$$

где $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$.

Условие функциональной полноты:

$$b_{ij} = b^k_{ij} + \Delta^k_{ij},$$

где Δ^k_{ij} — требуемые структурные единицы, отсутствующие в k -й период времени для всех $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$.

С ростом k

$$b^k_{ij} \rightarrow b_{ij}; \quad \Delta^k_{ij} \rightarrow 0.$$

В качестве характеристики обеспечения структурной полноты можно ввести коэффициент структурной полноты в момент k , представляющий собой отношение имеющихся структурных единиц к числу требуемых:

$$L^k = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b^k_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m b_{ij}}. \quad (1-1)$$

Аналогичные оценки можно сделать для каждой группы агрегатного комплекса в случае анализа развития отдельных групп средств АСЭТ.

Необходимые структурные единицы средств АСЭТ для задач, которые решаются комплексом и ИИС, построенными на основе его средств в 1970—1980 гг., показаны в табл. 1-2.

Как уже указывалось, каждой структурной единице соответствует один или несколько классов — средств ЭИТ. Состав же каждого класса средств АСЭТ определяется параметрическим рядом. Именно оптимизацией параметрических рядов средств АСЭТ можно обеспечить оптимальную номенклатуру большинства групп изделий ЭИТ.

Основным инструментом оптимизации номенклатуры изделий ЭИТ являются экономико-математические методы и модели в сочетании с современной электронно-вычислительной техникой. При разработке, производстве и эксплуатации средств АСЭТ имеются две противоречивые тенденции. В процессе разработки и производства с точки зрения разработчиков и заводов-изготовителей выгоднее иметь сокращенный ряд приборов, так как при этом уменьшаются затраты на разработку, проектирование и освоение в серийном производстве и, кроме того, увеличивается серийность выпускаемых изделий. Для потребителя желательно, чтобы ряд приборов был более частым, ибо в этом случае уменьшаются потери, связанные с приобретением моделей, избыточных по отношению к требуемым значениям основных характеристик, а следовательно, более дорогих. Эти противоречия должны решаться путем определения оптимального параметрического ряда изделий, который удовлетворял бы потребности народного хозяйства при мини-

мальных затратах на их разработку, производство и эксплуатацию, являющихся в данном случае критерием оптимальности [17].

В качестве критерия оптимальности могут быть выбраны и такие показатели, как минимум числа типономиналов в ряде, максимум объема реализованной продукции, максимальное повышение серийности, минимум суммарной себестоимости или трудоемкости в производстве и др.

Найденные в результате расчетов оптимальные параметрические ряды следует рассматривать как основу для их практического выбора. При практическом выборе параметрического ряда могут допускаться обоснованные отклонения от найденных оптимальных значений, вызванные, например, округлением последних до значений предпочтительных чисел или другими соображениями. Целесообразность таких отклонений, естественно, обосновывается техническим анализом и путем оценки вызванного ими увеличения общих затрат по сравнению с общими затратами на удовлетворение потребностей при оптимально выбранном параметрическом ряде.

Для решения задачи определения параметрических рядов средств агрегатного комплекса необходимо:

определить «функцию спроса», т. е. зависимость потребности в средствах от значений их ключевых параметров;

определить «функцию затрат», т. е. зависимость стоимости средств на проектирование (разработку), подготовку производства, производство и эксплуатацию от значений их ключевых параметров при фиксированном объеме выпуска;

определить зависимость стоимости средств каждого класса от объема серийного производства.

Кроме того, требуются данные о наличии ограничений на производственные ресурсы.

В зависимости от учета фактора времени при формировании исходных данных различают статические, динамические и кинестатические задачи оптимизации параметрических рядов [18].

Статические задачи ставятся с целью нахождения оптимальных параметрических рядов, пригодных для сравнительно небольшого отрезка времени, в течение которого можно считать неизменными все исходные зависимости, определяющие затраты и структуру «спроса»

Перечень структурных единиц

Информативный параметр сигнала	Функциональное												
	Первичное измерительное				Вторичное измерительное однород								
	I_-	U_-	U_{\sim}	φ	Усиление	Сложение	Умножение	Деление	Дифференцирование	Интегрирование	Возведение в степень	Извлечение квадратного корня	
Текущее значение постоянного тока I_-	В	Р		Н	В			Р	Р	Н	Н	Н	Н
Текущее значение напряжения постоянного тока U_-	В	Р		Н	В			Р	Р	Н	Н	Р	Р
Текущее значение амплитуды переменного тока I_{\sim}	В	Р	Н	Н									
Текущее значение амплитуды напряжения переменного тока U_{\sim}	В	Р	Н	Н	Р								
Текущее значение частоты переменного тока f	В	Р											
Текущее значение фазового угла φ	Н	Н		Н									
Текущее значение частоты следования импульсов Ω	Н	Н		Н									
Текущее значение продолжительности импульсов τ													
Текущее значение активной мощности однофазной P_{a1}	В	Н		Н									
Текущее значение активной мощности трехфазной P_{a3}	В	Р		Н									
Текущее значение реактивной мощности однофазной P_{p1}	В	Н		Н									
Текущее значение реактивной мощности трехфазной P_{p3}	Н	Р		Н									

Удств АСЭТ на 1970—1980 гг.

Образование

Логарифиро- вание	Вторичное из- мерительное неоднородное				Аналого-цифровое	Аналого-цифровое функциональ- ное	Цифро-аналоговое	Коммутация	Измерение			Представле- ние показыва- ющее			Представ- ление реги- стрирующе- е	
	I	U	U_{\sim}	\varnothing					цифровое	аналоговое пока- зывающее	аналоговое реги- стрирующее	графическое	знаковое	знако-графическое	графическое	знаковое
Н		Р		Р	В		В	В	В	В	В					
Р	В			Р	В	Р	В	В	В	В	В					
		Р							В		Р					
	Н	В		Н	Р			В	В	Н	Р					
									В	Н	Р					
									Р							
	Н	Н							В							
									В							
									Р							
									Н							
									Р							
									Н							

Информативный параметр сигнала	Функционал										
	Первичное измерительное				Вторичное измерительное одн						
	I_-	U_-	U_{\sim}	φ	Усиление	Сложение	Умножение	Деление	Дифференцирование	Интегрирование	Возведение в степень
Текущее значения сопротивления R	В	Р		Н							
Текущее значение сопротивления изоляции постоянного току $R_{из-}$	В	Р		Н							
Текущее значение сопротивления изоляции переменному току $R_{из\sim}$	В	Р		Н							
Текущее значение индуктивности L	Н	Н		Н							
Текущее значение емкости C	Н	Н		Н							
Единичный последовательный код											
Двоичный код											
Двоично-десятичный код											
Текущее значение напряженности постоянного магнитного поля H_-	Н	В		Р							
Текущее значение напряженности переменного магнитного поля H_{\sim}	Н	В		Н							
Текущее значение индукции постоянного магнитного поля B_-	Н	Р		Н							
Текущее значение индукции переменного магнитного поля B_{\sim}	Н	Р		Н							

Разование

Логарифмирование	Вторичное измерительное неоднородное				Аналого-цифровое	Аналого-цифровое функциональное	Цифро-аналоговое	Коммутация	Измерение			Представление показывающее			Представление регистрирующее	
	I	U	U_{\sim}	ω					цифровое	аналоговое показывающее	аналоговое регистрирующее	графическое	ковое	знако-графическое	графическое	знаковое
							Р	В	В							
							Р	Н	В							
							Р	Н	В							
								В					В		В	В
											Р	В	Р	В	В	
										Р						
										Р						
										Н						

Информативный параметр сигнала	Функционал										
	Первичное измерительное				Вторичное измерительное однок.						
	I	U	U_{\sim}	ω	Усиление	Сложение	Умножение	Деление	Дифференцирование	Интегрирование	Возведение в степень
Текущее значение магнитного потока ψ	Н	Н									
Моменты случайных процессов											
Корреляционная функция случайных процессов											
Плотность вероятностей случайных процессов											

Условные обозначения: В — серийно выпускаемые средства АСЭТ; Р — печения функциональной полноты АСЭТ.

в зависимости от значений ключевых параметров средств. В этих задачах имеются две разновидности: без фиксированных моделей в ряду и с фиксированными моделями в ряду. Первая разновидность имеет смысл при определении оптимального параметрического ряда для нового класса средств или средств, предназначенных для каких-либо специфических условий. В большинстве случаев практическое применение имеет вторая разновидность, когда определяется оптимальный параметрический ряд на определенный интервал времени вперед при имеющемся некотором числе уже выпускаемых средств данного класса.

Динамические задачи значительно сложнее. В них исходные данные и искомые параметрические ряды считаются функциями времени. Решение таких задач необходимо для определения оптимальных параметрических рядов с оптимальными сроками замены одного ряда другим. Важность таких задач очевидна. Исследования по

преобразование

ное	Вторичное измерительное неоднородное				Аналого-цифровое	Аналого-цифровое функциональное	Цифро-аналоговое	Коммутация	Измерение			Представление показывающее			Представление регистрирующее	
	Линеаризация	Логарифмирование	I	U					U_{\sim}	ρ	цифровое	аналоговое локальные	аналоговое регистрирующее	графическое	знаковое	знако-графическое
											Р					
											В					
											В					
											В					

ства АСЭТ, разрабатываемые в составе II очереди; Н — средства, необходимые для обеспечения

нахождению эффективных методов их решения еще только ведутся.

Кинетостатические задачи занимают промежуточное положение между статическими и динамическими задачами оптимизации параметрических рядов. В этих задачах учитывается зависимость во времени для функций «спроса» и «затрат», однако сроки начала производства и продолжительности эксплуатации продукции для каждого значения параметра не оптимизируются, а считаются заданными. Такой подход позволяет в известной мере учесть изменение потребностей и затрат во времени и одновременно использовать достаточно простые методы оптимизации, разработанные для статических задач.

В ЭИТ все средства характеризуются несколькими ключевыми параметрами. Поэтому практически необходимо решить задачу оптимизации многомерного параметрического ряда.

Кратко остановимся на формализации задачи определения параметрического ряда средств агрегатного комплекса.

Общая постановка задачи в соответствии с [19] имеет следующий вид. Рассматривается некоторая номенклатурная группа средств, характеризующаяся совокупностью ключевых параметров $\alpha_1, \dots, \alpha_n$, описывающих рассматриваемые средства с требуемой полнотой. Задача заключается в определении рядов номинальных значений ключевых параметров, оптимальных в установленном смысле. Иначе говоря, если

$$\exists = \exists \{ \{ \alpha_{ij} \}^n |, j = \overline{1, n}; i = \overline{1, m} \}$$

есть критерий оптимальности, значение которого определяется рядами $\{ \alpha_{ij} \}$, где i — индекс, характеризующий место элемента в последовательности номинальных значений j -го ключевого параметра, а j — порядковый номер ключевого параметра, то требуется установить значения α_{ij} , минимизирующие (максимизирующие) значение \exists .

Более детально разработана модель, позволяющая получить решение при наличии информации о потребности в измерениях техническими средствами данного класса и стоимости изготовления этих средств [20]. Вводится пространство ключевых параметров E^n . В этом пространстве каждому техническому средству соответствует n -мерный вектор. Определяются в пространстве E^n область работы рассматриваемого класса V^n и в этой области функция стоимости технического средства в зависимости от значений ключевых параметров (при фиксированной серийности C). Поскольку рассматриваемая задача относится к классу задач стандартизации, то вводится некоторый закон замены одного технического средства другим, т. е. закон определения некоторой области V_i в V^n , в которой средство i может заменить (иногда говорят «накрыть») средство k .

Кроме того, для средств ЭИТ характерно то, что для большинства ключевых параметров значения последнего могут быть не любые в пределах некоторого отрезка оси, а только соответствовать определенному ряду предпочтительных чисел. Следовательно, каждому ключевому параметру можно сопоставить некоторый отрезок натурального ряда от 1 до h_3 , где 1 соответствует минимально возможное значение ключевого параметра, а

h_3 — номер максимально возможного значения 3-го ключевого параметра.

Необходимо отметить также, что количество средств каждого типа, вошедшего в ряд, может быть лишь целым числом, т. е. рассматриваемая задача принадлежит к классу задач с неделимостями.

Упомянутые выше ограничения позволили решать задачу оптимизации на дискретной решетке [19]. Аналитическое выражение, полученное в результате формализации задачи, приведено для случая двух ключевых параметров, что, однако, не снизило общности подхода. Выглядит оно следующим образом. Найти x_{ij}^{uv} — количество средств (l, j) -типа, предназначенных для удовлетворения потребности в приборах (u, v) -типа, которое обеспечивает минимум функции потерь

$$\pi = \sum_{l=1}^p \sum_{j=1}^n c_{lj} \sum_{u=1}^p \sum_{v=1}^n x_{ij}^{uv} \psi(x_{lj}),$$

где c_{lj} — стоимость одного технического средства при фиксированной серийности; $\psi(x_{lj})$ — функция серийности, характеризующая закон изменения стоимости одночного прибора (l, j) -типа при изменении его серийности, при условиях:

1) рассмотрения в положительном октанте, т. е. $x_{ij}^{uv} \geq 0$;

2) закона замещения

$$x_{ij}^{uv} = \begin{cases} x_{ij}^{uv}, & \text{если } u, v \in \Omega_{lj}; \\ 0, & \text{если } u, v \notin \Omega_{lj}; \end{cases}$$

здесь Ω — рассматриваемая двумерная решетка; Ω_{lj} — область действия технического средства;

3) производить лишь такое количество технических средств x_{ij}^{uv} , чтобы сумма всех средств, предназначенных для замены (u, v) -типа, в точности равнялась потребности f_{uv} в этих приборах

$$\sum_{u=1}^p \sum_{v=1}^n x_{ij}^{uv} = f_{ij}, \quad l, u = \overline{1, p}; \quad j, v = \overline{1, n}.$$

Большое практическое значение имеет трансформация задачи, когда целью ставится оптимальная расстановка фиксированного числа разрабатываемых типов средств, определяемая ресурсом на их разработку и минимумом затрат при производстве, т. е. решение задачи сводится к формированию плана разработки новых типов средств [21]. Обычно эта постановка характерна для кинестатических задач, ибо рассматривается оптимальная расстановка дополнительных средств при наличии фиксированного числа уже имеющихся.

Аналитическое выражение в этом случае в общем виде почти не отличается от уже приведенного. Только число сумм выражается двумя членами, первый из которых определяет количество разработанных типов, а второй — количество типов, которые должны разрабатываться.

Как видно из вышеизложенного, с математической точки зрения определение параметрического ряда технических средств агрегатного комплекса заключается в минимизации целевой функции с учетом ряда ограничений, т. е. представляет собой задачу математического программирования. В силу нелинейности целевой функции и наличия в ограничениях требования целочисленности переменных задача относится к одному из классов задач нелинейного целочисленного программирования — к классу экстремальных комбинаторных задач, основная особенность которых состоит в следующем: число возможных вариантов (т. е. вариантов, допускаемых ограничениями) настолько велико, что простой перебор невозможен. Поэтому для решения задачи перебор возможных вариантов нужно упорядочить.

Наиболее просто находится однопараметрический ряд технических средств, что имеет место, когда последние описываются одним ключевым параметром. Задача решается методом динамического программирования, причем изучение свойств задачи позволяет существенно уменьшить количество рассматриваемых при решении вариантов [22].

С большими трудностями приходится сталкиваться при решении двух- и многопараметрических задач. К ним метод динамического программирования при общей постановке задачи неприменим. В настоящее время предложено несколько методов решения подобных задач [23, 20, 18].

В одном из них [18] предлагается путем сознательного уменьшения числа возможных вариантов распределения технических средств на сетке свести задачу к однопараметрическому случаю. Этот метод подкупает своей простотой, однако не дает оценки степени близости получаемых на его основе результатов к оптимальным.

Другой путь решения [20] основан на методе ветвей и границ. Этот подход более сложный, нежели первый, но он приводит к глобальному экстремуму, что, безусловно, делает его наиболее предпочтительным.

Следует отметить, что для всех упомянутых методов составлены программы расчета на ЭВМ, что автоматизирует процедуру определения параметрических рядов для конкретных классов технических средств агрегатного комплекса при наличии требуемых технико-экономических данных.

Кратко рассмотрим методические вопросы получения технико-экономических данных для расчета параметрических рядов.

Определение потребности в технических средствах агрегатного комплекса

Для технических средств каждого класса анализируются области применения.

Общие сведения о текущей и перспективной потребности и в основном о ее качественной стороне выясняют у традиционных и возможных потребителей, изучая, какие задачи в области измерений решаются при автоматизации технологических процессов, процессов управления, испытаний и исследований в настоящее время и в перспективе. Сведения о количественных данных потребности получают в Союзглавприборе, союзных объединениях Минприбора, управлении материально-технического снабжения и на заводах-изготовителях.

Основным методом определения как качественной, так и количественной потребности является по-прежнему анкетирование, т. е. составление, рассылка и анализ полученных опросных листов. В этих листах потребитель в таблицах устанавливает количественную оценку спроса измерительной аппаратуры в соответствии с возможными значениями ее технических и эксплуатационных характеристик. Градации значений этих характери-

стики определяются ГОСТ, опытом отечественных организаций-разработчиков и зарубежных фирм, а также перспективами улучшения качества данного класса технических средств в ближайшее время. Форма опросного листа обычно выбирается удобной для ввода данных в ЭВМ с целью их дальнейшей обработки.

Анализ данных опросных листов позволяет рассчитать зависимости потребности технических средств рассматриваемого класса от значений ключевых параметров.

Определение суммарных затрат на разработку, производство и эксплуатацию технических средств агрегатного комплекса

В соответствии с назначением эти затраты состоят из трех основных частей: затраты на разработку Z_p , затраты на производство $Z_{пр}$ и затраты на эксплуатацию $Z_э$. Затраты на разработку определяются статистическим анализом финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также рядом нормативных документов.

Затраты на производство характеризуются главным образом себестоимостью технического средства. Если себестоимость выпускаемых средств известна, то разрабатываемых, а тем более предполагаемых к разработке, неизвестна и в ряде случаев оценка ее затруднена. Определить себестоимость любого требуемого средства можно при помощи моделей себестоимости на основе корреляционного анализа [24]. Модели себестоимости позволяют определить аналитическую форму связи и использовать расчеты по ней для выравнивания стоимостных соотношений на все средства параметрического ряда, а также для определения расчетной себестоимости новых средств, входящих в данный параметрический ряд.

Выбор формы связи изменения себестоимости при изменении параметров агрегатных средств осуществляется с учетом того, парная или многофакторная зависимость (корреляция) исследуется. Для электроизмерительных средств характерна именно многофакторная зависимость: $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

В многофакторных моделях важное значение приобретает качественный анализ характера связи каждого из

факторов с зависимым показателем. Если эта связь линейная или близка к ней, то применяется линейное уравнение множественной корреляции, которое для n факторов имеет вид:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n.$$

Если воздействие каких-либо факторов не может считаться линейным, то соответствующие независимые переменные включаются в уравнение не только в первой, но и более высоких степенях. Определение коэффициентов a_i многофакторной корреляции способом наименьших квадратов сводится к решению системы нормальных уравнений.

Когда число параметров больше двух, процесс определения коэффициентов корреляции ручным способом становится очень трудоемким, поэтому приемлемы методы расчета с помощью ЭВМ. Для образования многофакторных корреляционных моделей разработаны алгоритмы, блок-схемы и программы [24].

Определение затрат на эксплуатацию агрегатных средств производится по данным, получаемым от ряда предприятий-потребителей, путем расчета и последующего обобщения. Затраты на эксплуатацию включают расходы на заработную плату, амортизационные отчисления, затраты на текущий ремонт прибора и стоимость расходуемой прибором электроэнергии. Методики расчета всех этих составляющих есть в соответствующей литературе (см., например, [25]).

При выполнении расчетов по суммарным затратам необходимым условием является приведение их к единому моменту времени (дисконтирование затрат). По рекомендациям [26] коэффициент дисконтирования следует выбирать в пределах $E_0 = 0,08 \div 0,12$. Все затраты приводятся к моменту начала промышленного производства, совпадающему с окончанием разработки и началом реализации готовой продукции ($t=0$).

В [26] выведены формулы приведения любых затрат к моменту $t=0$:

$$Z^{\text{п}} = \alpha\sigma; \quad Z^{\text{эксп}} = \beta\mu\phi; \quad Z^{\text{ср}} = \gamma\varepsilon\tau,$$

где σ , μ , ε , ϕ , τ — соответственно полные затраты на разработку, цена, годовые эксплуатационные затраты и полная потребность народного хозяйства в данной продукции и срок ее службы; α , β , γ — поправочные коэффициенты, определяемые из таблиц.

Как указывалось ранее, при постановке и формализации задачи построения параметрических рядов в число необходимых данных входит зависимость себестоимости от серийности изготовления агрегатных средств. Это очень важный фактор при установлении правил замены. Ведь в параметрическом ряду при замене одного средства другим с целью сокращения числа выпускаемых типов программа выпуска второго средства должна быть увеличена, чтобы не нарушался принцип удовлетворения потребностей народного хозяйства. Увеличение программы выпуска обычно вызывает снижение себестоимости, что объясняется изменением технологии, существенным повышением производительности труда и т. д.

Требуемая зависимость обычно строится по фактическим данным об изменении себестоимости технического средства в зависимости от программы выпуска (за несколько последних лет), получаемым на ряде заводов — изготовителей данного класса агрегатных средств. Аналитически эта зависимость в общем виде выглядит следующим образом [27]:

$$c'_i = f(c_i; P_i; P'_i),$$

где c_i — себестоимость агрегатного средства при некоторой программе выпуска P_i ; c'_i — себестоимость того же средства при программе выпуска P'_i .

Наиболее часто последнее выражение используется в другом виде [27]:

$$c'_i = c_i \left(\frac{P'_i}{P_i} \right)^b,$$

а при учете фактических данных по стоимости материалов и комплектующих изделий, которая в приборостроении может составлять до 40% и более, это выражение принимает вид:

$$c'_i = (c_i - c_m) \left(\frac{P'_i}{P_i} \right)^b + c_m,$$

где c_m — стоимость материалов и комплектующих изделий; b — рекомендуемый в [27] коэффициент (в пределах 0,5—0,7).

СТРУКТУРА АСЭТ И СОСТАВ ЕГО I ОЧЕРЕДИ

2-1. СТРУКТУРА АСЭТ

Решение методических вопросов определения структуры АСЭТ, изложенных в § 1-3, позволило разработать структуру АСЭТ, исходя из удовлетворения требований функциональной и структурной полноты комплекса. Она включает четыре основные укрупненные группы (рис. 2-1):

устройства сбора и преобразования информации (первичные и вторичные измерительные преобразователи, коммутаторы и др.);

устройства измерения и представления информации;

устройства управления и блоки связи;

устройства вспомогательные.

В свою очередь каждая из указанных групп включает номенклатурные группы средств АСЭТ.

Номенклатурными группами средств АСЭТ являются:

измерительные преобразователи, реализующие определенную функциональную зависимость и предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи и дальнейшего преобразования, но не поддающейся непосредственному восприятию человеком;

коммутаторы измерительные, обеспечивающие передачу и подключение по определенной программе или периодически сигналов, представленных в виде аналоговых электрических величин или цифровых кодов, от одних средств к другим;

дискриминаторы (компараторы, устройства сравнения), предназначенные для выдачи сигналов, характеризующих соотношение между текущим и заранее заданным значениями измеряемой (контролируемой) величины;

аналого-цифровые преобразователи, осуществляющие автоматическое преобразование аналоговой величины в цифровой код;

цифро-аналоговые преобразователи, осуществляющие автоматическое преобразование сигналов, представленных в виде цифровых кодов, в аналоговые электрические величины;

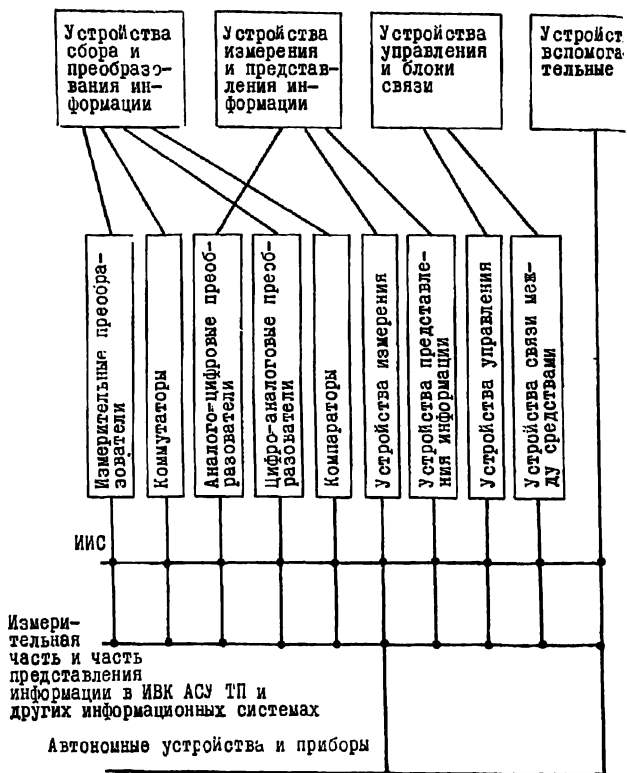


Рис. 2-1. Структура агрегатного комплекса средств электронизмерительной техники (АСЭТ).

устройства измерения электрических величин, обеспечивающие измерение значений электрических величин и представление результатов измерения в форме, доступной для восприятия человеком или ЭВМ;

средства представления информации, предназначенные для представления (индикации или регистрации) информации об исследуемой величине в форме, доступной для восприятия человеком;

средства управления, предназначенные для организации совместной работы всех блоков системы по определенному алгоритму.

Каждая из перечисленных номенклатурных групп представляет собой широкую гамму агрегатных средств, которые могут быть классифицированы по критериям применения в системах на подгруппы, причем в большинстве случаев по нескольким уровням.

Измерительные преобразователи (ИП)

Так как ИП связывают объект автоматизации, испытаний или исследований с измерительной частью любой ИИС, АСУ ТП или ИВК, то наличие на его входах и выходах унифицированного сигнала является важным для построения систем по агрегатному принципу.

ИП делят на первичные и вторичные (рис. 2-2). Первичные ИП преобразуют любую входную физическую величину в электрический сигнал. Они подразделяются в свою очередь на первичные ИП с неунифицированным выходным сигналом (называемые также датчиками) и первичные ИП с унифицированным выходным сигналом. Неунифицированный сигнал на выходе характерен обычно для ИП неэлектрических величин, ибо эти технические средства имеют «естественные» выходные сигналы, определяемые используемыми физическими эффектами, например термодары, тензометры и т. д. [28]. При преобразовании любых электрических и магнитных величин нет принципиальных трудностей для получения на выходе унифицированного сигнала. Получение же электрического унифицированного сигнала при измерении неэлектрических величин в агрегатных системах целесообразно достигнуть совместным использованием первичных ИП с неунифицированным выходом и ИП с унифицированным выходом. Вторичные ИП имеют на входе и выходе электрический унифицированный сигнал.

Иллюстрацией возможных связей первичных и вторичных ИП и последовательности преобразований сигналов является рис. 2-3, на котором стрелками указаны направления передачи неунифицированных и унифицированных сигналов. Поскольку все преобразуемые и измеряемые физические величины принято подразделять по своей природе на электромагнитные (электрические и магнитные) и неэлектрические, то соответствующее деление принято (рис. 2-2) и для первичных ИП:

первичные ИП электрических величин;

первичные ИП магнитных величин;

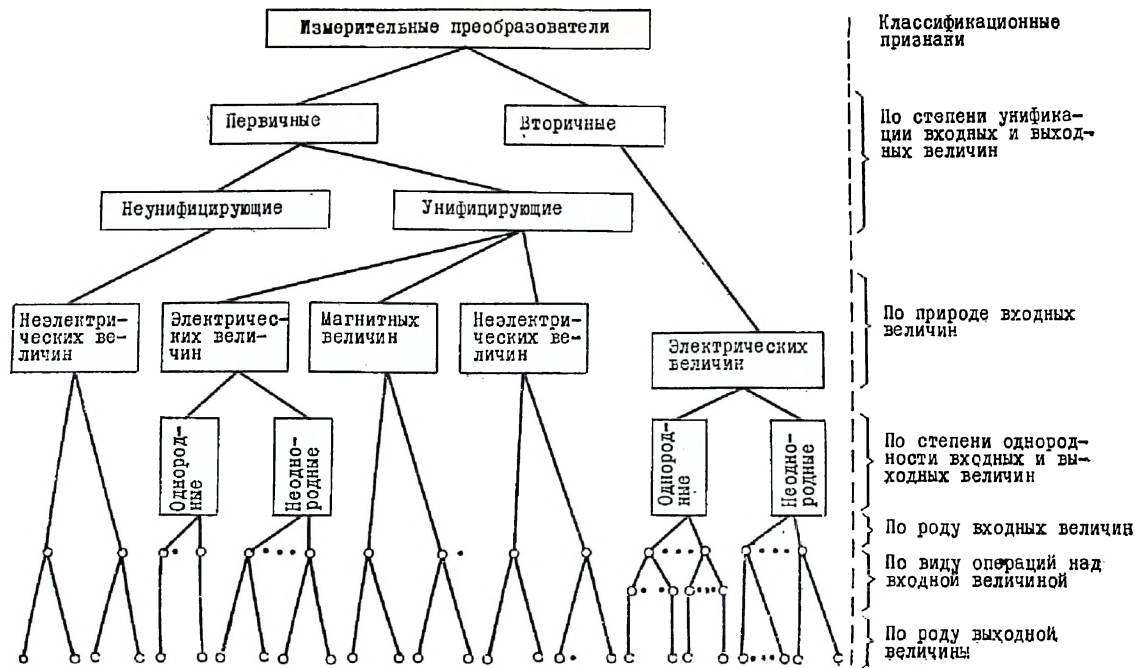


Рис. 2-2. Классификация измерительных преобразователей.

первичные ИП неэлектрических величин¹.

В связи с тем, что унифицированными принято считать несколько величин, целесообразно для ИП электрических величин ввести дополнительный классификационный признак: однородность и разнородность величины на входе и выходе. Поэтому следующая степень деления первичных ИП электрических величин и вторичных ИП — однородные и неоднородные.

Основой дальнейшего деления в пределах каждой подгруппы ИП является род входной преобразуемой величины (неунифицированной для первичных ИП и унифицированной для вторичных ИП).

Например, к первичным ИП электрических величин относятся преобразователи, входными сигналами которых могут быть постоянный ток, частота, напряжение переменного тока, мощность и т. д.; к первичным ИП магнитных величин — преобразователи с входными сигналами в виде напряженности магнитного поля, магнитной проницаемости, индукции и т. д.; к первичным ИП неэлектрических величин — преобразователи, входными величинами которых являются температура, давление, уровень, деформация, перемещение и т. д.

Если иметь в виду одно из основных назначений ИП — унификацию выходных сигналов, то становится очевидной целесообразность введения в классификацию еще одного признака. Таким признаком оказывается род выходной унифицированной величины. Следует при этом отметить, что для первичных и вторичных однородных ИП род входных и выходных унифицированных величин будет совпадать. Отличие состоит лишь в значениях этих величин. Так, если входная величина первичного однородного ИП — напряжение постоянного тока, то унифицированной величиной на его выходе будет также напряжение постоянного тока, значение которого равно одному из значений ряда, принятых в качестве унифицированных.

Для первичных и вторичных однородных ИП существенным является вид операций преобразования, выполняемых над входными сигналами. Такими операциями, в частности, могут быть деление (тока, напряжения), умножение (усиление напряжения, тока), дифференцирование, логарифмирование, интегрирование, воз-

¹ Устройства заимствованные и подлежат разработке в составе других комплексов ГСП.

ведение в степень, суммирование и т. д. При выполнении этих операций род входной величины сохраняется и на выходе преобразователя.

Для неоднородных вторичных и первичных ИП электрических величин, а также преобразователей магнитных и неэлектрических величин каждая из входных величин данного рода может быть преобразована в любую из унифицированных величин другого рода.

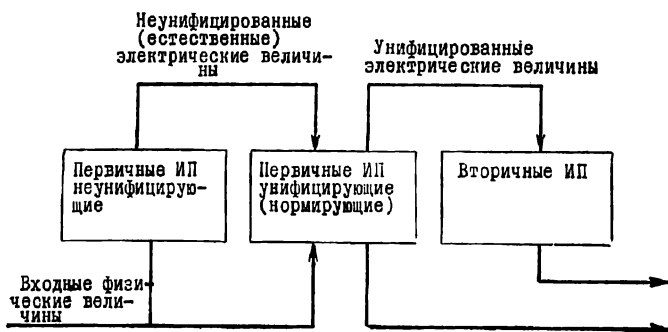


Рис. 2-3. Схема связей ИП при преобразовании физических величин.

Например, для первичных ИП электрических величин — напряжение переменного тока в унифицированные сигналы в виде напряжения постоянного тока, частоты, постоянного тока; для первичных ИП магнитных величин — напряженность магнитного поля в унифицированные сигналы, представленные в виде напряжения постоянного и переменного тока, частоты, постоянного тока; для первичных ИП неэлектрических величин — перемещение в унифицированные сигналы в виде частоты, напряжения постоянного тока, постоянного тока; для вторичных ИП — постоянного тока в унифицированные же сигналы в виде напряжения постоянного тока, частоты и т. д.

Рассмотренная классификация обладает тем достоинством, что может быть распространена на все ИП безотносительно к тому, насколько они различны по принципам построения, структуре, сложности, конструктивному оформлению, характеру и диапазонам преобразуемых величин. В то же время она сохраняется не-

изменной и в тех случаях, когда возникает необходимость пополнения перечня ИП на любом ее иерархическом уровне.

Коммутаторы

Основное назначение коммутаторов — переключение электрических цепей и передача измерительной и служебной информации в соответствии с командами.

Коммутаторы используются для построения многоканальных ИИС, применяются в сочетании с ИП, аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) и цифровыми измерительными приборами.

Коммутаторы, как номенклатурная группа, входят в основную группу устройств сбора и преобразования информации и делятся на коммутаторы измерительные (КИ) сигналов и коммутаторы без нормируемой погрешности.

Поскольку технические требования, предъявляемые к КИ, не позволяют создать единой унифицированной модели (либо это экономически не оправдано), целесообразно провести классификацию КИ в зависимости от вида ИП на КИ параметрических ИП и КИ генераторных ИП.

К первым относятся ИП активного сопротивления R , емкости C и индуктивности L . В соответствии с этим данная группа коммутаторов подразделяется на КИ сопротивления активного, КИ сопротивления емкостного и КИ сопротивления индуктивного. Коммутаторы параметрических ИП требуют применения ключей с минимальными и максимальными значениями сопротивления соответственно в замкнутом и разомкнутом состояниях. Большое значение для точности КИ имеет значение вариацыи этих сопротивлений.

К генераторным ИП относятся ИП токовых сигналов (постоянный ток) и ИП потенциальных сигналов (постоянного и переменного напряжения, частоты и импульсных сигналов).

Все КИ генераторных ИП характеризуются повышенными требованиями к остаточному напряжению ключей и уровню их собственных шумов.

Поскольку унифицированных ИП с входным сигналом переменного тока практически нет, то в группе КИ токовых ИП предусмотрены только КИ токовых ИП постоянного тока.

Коммутаторы потенциальных ИП подразделяются на КИ преобразователей напряжения постоянного тока и КИ преобразователей напряжения переменного тока.

Коммутаторы напряжения переменного тока должны обеспечить неискаженную передачу спектра частот коммутируемого сигнала, т. е. требуют минимального значения реактивного сопротивления ключей.

Коммутаторы без нормируемой погрешности применяются для коммутации цифровых и отдельных служебных импульсных сигналов. В этом случае основным является требование неискаженной передачи кодовых комбинаций и отдельных импульсов, обеспечивающее их безошибочное восприятие последующим устройством.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)

Аналого-цифровые преобразователи по своему назначению могут входить в укрупненную группу устройств сбора и преобразования информации и представляют собой по сути неоднородные вторичные ИП, поскольку на входе и выходе этих агрегатных средств — унифицированные сигналы, но разного рода: на входе аналоговый, на выходе цифровой код. Однако этот тип обычно выделяют в отдельную номенклатурную группу, ибо в процессе преобразования аналоговой величины в кодовый эквивалент происходит сравнение с эталоном (характерное свойство устройств измерения).

Так как на вход АЦП могут поступать любые аналоговые унифицированные сигналы, то их целесообразно разделить на АЦП постоянного тока, АЦП напряжения постоянного тока, АЦП напряжения переменного тока и АЦП частоты (временных интервалов).

Выходной сигнал АЦП — двоичный нормальный код.

Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП)

Эти преобразователи осуществляют преобразование, обратное по отношению к средствам предыдущей номенклатурной группы. Они также по существу являются неоднородными вторичными ИП. Выделение их в самостоятельную номенклатурную группу объясняется тем, что эти агрегатные средства широко используются для формирования управляющих воздействий на объект.

На вход их поступают унифицированные сигналы в виде двоичного нормального и двоично-десятичного

юда с весами 8—4—2—1, на выходе ЦАП — аналоговые электрические величины. Это прежде всего унифицированные сигналы: постоянный ток, напряжение постоянного и переменного тока и частота. В последнее время в связи с ростом автоматизации поверочных и контрольных работ в области измерений появились точные ЦАП — калибраторы перечисленных аналоговых величин. Калибраторы кроме упомянутых величин позволяют формировать сигналы с эталонным сдвигом по фазе, импульсные последовательности эталонной частоты эталонные сопротивления, емкости и индуктивности

Дискриминаторы (устройства сравнения)

Эти устройства относятся к измерительным преобразователям, осуществляющим логические операции. Они выполняют сравнение текущего значения измеряемой (контролируемой) величины с значением этой величины, заданным заранее, и выдают сигналы, соответствующие трем ситуациям: текущее значение меньше, равно и больше заданного. Использование дискриминаторов позволяет контролировать определенные зоны значений измеряемой величины и выдавать управляющие сигналы для регулирования или управления процессами, которые характеризуются этими величинами.

По виду сигнала, представляющего текущее и заданное значение измеряемой (контролируемой) величины, дискриминаторы можно разделить на аналоговые и цифровые. Сравнение в аналоговом виде в дискриминаторах обычно производится по одному из видов унифицированного сигнала, т. е. по напряжению постоянного тока, напряжению переменного тока, постоянному току и частоте. Возможно построение аналого-цифровых дискриминаторов, в которых текущее значение имеет вид аналогового сигнала, а заданное значение — цифровой вид, т. е. с использованием ЦАП.

Устройства измерения

Для данной группы в качестве классификационных использованы следующие признаки: назначение, вид отображения информации, вид отображаемой информации, форма представления информации, вид входного сигнала.

По виду отображения информации устройства измерения разделены на аналоговые и цифровые. Ана-

логовые по длительности фиксирования информации; носители в свою очередь делятся на регистрирующие; показывающие.

К регистрирующим отнесены устройства, фиксирующие информацию на каком-либо носителе, обладающие свойствами долговременной памяти. Эта информация может быть воспринята человеком и использована многократно в течение неограниченно длительного промежутка времени.

К показывающим относятся устройства, отображающие информацию на носителе, не обладающем возможностью ее хранения и допускающем считывание только за сравнительно непродолжительный промежуток времени.

В цифровых измерительных устройствах рассматриваются только показывающие приборы.

Цифровые электроизмерительные приборы (ЦИИ) предназначены для измерения электрических величин с выдачей информации в цифровой форме. Они могут использоваться как автономные приборы, а также в составе многоканальных ИИС или измерительной части других систем.

В зависимости от того, для измерения каких величин они предназначены, ЦИИ делятся на шесть больших подгрупп: вольтметры, амперметры, измерители параметров электрических цепей, приборы частотно-временной группы, комбинированные приборы и фазометры.

В свою очередь вольтметры и амперметры подразделяются по роду измеряемого тока на приборы постоянного и переменного тока, а среди вольтметров появляется класс для измерения амплитуды импульсов.

Измерители параметров электрических цепей подразделяются на омметры и процентные омметры, измерители емкости, измерители индуктивности и универсальные измерители параметров электрических цепей.

Как правило, измерители емкости и индуктивности позволяют измерять тангенс угла потерь и процентное отклонение.

Универсальные измерители параметров электрических цепей позволяют кроме емкости и индуктивности измерять также сопротивление, проводимость, тангенс угла потерь, процентное отклонение, постоянную времени цепи.

Вольтметры и омметры позволяют дополнительно производить измерение отношений напряжения и сопротивления.

Приборы частотно-временной группы подразделяются на частотомеры, измерители временных интервалов и счетчики импульсов.

Частотомеры кроме измерения частоты, измерения периода T и промежутка времени между импульсами t иногда позволяют производить измерение процентного отклонения частот Δf , длительности импульсов $\tau_{и}$, отношения частот f_1/f_2 и деления частоты f/n .

Счетчики импульсов, как правило, позволяют производить прямой, реверсивный и с предустановкой счет импульсов, а также деление частот.

Комбинированные приборы включают широкую гамму приборов, так как соединение в одном приборе возможности измерять два и более вышеприведенных параметров дает уже комбинированный прибор, например вольтамперметр, вольтамперфарадометр и т. д. Измерение может происходить как на постоянном, так и на переменном токе.

К АСЭТ относятся аналоговые показывающие щитовые и панельные приборы, диапазоны показаний которых соответствуют ГОСТ 9895-78 (при измерении тока и напряжения) и ГОСТ 14853-76 (при измерении частоты). Эти приборы как более простые и дешевые по сравнению с цифровыми еще находят применение в некоторых типах ИИС для дублирования измерений наиболее важных величин при относительно небольшом их количестве.

В соответствии с вышесказанным аналоговые показывающие приборы могут быть классифицированы по измеряемой величине на амперметры постоянного тока, вольтметры постоянного и переменного тока и частотомеры.

Используя в качестве классификационного признака форму представления измерительной информации, регистрирующие устройства измерения можно подразделить на графические, отображающие измерительную информацию в графической форме, и знакографические, отображающие информацию в графической форме с оцифровкой отдельных точек.

Группу графических регистрирующих устройств измерения составляют светолучевые осциллографы, само-

писцы и двухкоординатные приборы с нормированной погрешностью.

Имеется тенденция к возникновению группы знакографических регистрирующих устройств измерения, которую образуют те же самые устройства, но отличающиеся возможностью регистрировать значения измеряемой величины в отдельных точках в цифровой форме (с оцифровкой отдельных точек или алфавитно-цифровой, фоновой, служебной информации).

При отнесении к АСЭТ аналоговых регистрирующих устройств измерения применяется тот же принцип, что и в показывающих приборах, т. е. в АК входят щитовые и панельные, а также лабораторные приборы, диапазоны показаний которых соответствуют ГОСТ 9859-78 (при измерении тока и напряжения) и ГОСТ 14853-76 (при измерении частоты).

Классификация регистрирующих устройств измерения по измеряемой величине аналогична классификации показывающих приборов, но добавляется еще один класс — двухкоординатные приборы, входным сигналом у которых в большинстве случаев является напряжение постоянного тока.

Устройства представления информации

К этой группе относятся устройства, предназначенные только для отображения результатов измерения и обработки, выполненных другими устройствами. В связи с этим входным сигналом всех этих устройств является дискретный сигнал и лишь в отдельных случаях к нему может дополняться аналоговый.

Признаки классификации устройств представления информации аналогичны классификационным признакам устройств измерения.

По виду отображения измерительной информации они разделены на регистрирующие и показывающие, каждая из которых в свою очередь делится на подгруппы в зависимости от формы представления информации. Так, показывающие устройства разбиваются на графические аналоговые устройства представления знаковой информации и знакографические. Для последних и характерно на входе сочетание аналогового и кодового сигналов.

Графические устройства представления информации отображают в графической форме и разбиваются на два

класса: непрерывные, в которых информация представляется непрерывными линиями, и дискретные, в которых информация представляется в виде гистограмм.

Подгруппу устройств представления знаковой информации образуют индикаторы событий, пиктографические индикаторы ячейки мнемосхем, алфавитно-цифровые индикаторы и мнемосхемы.

Подгруппу показывающих устройств представления информации знакографических составляют устройства, позволяющие отображать информацию как в аналоговой, так и знаковой форме, т. е. универсальные индикаторы (дисплеи).

Регистрирующие устройства представления информации делятся на графические, знаковые и знакографические; графические регистрирующие устройства представления информации на непрерывные и дискретные. Эти подгруппы составляют графопостроители различного типа с цифровым входом.

Знаковые регистрирующие устройства представления информации подразделяются на цифropечатающие и алфавитно-цифровые печатающие устройства. В подгруппу знакографических регистрирующих устройств представления информации входят графопостроители с цифровым входом, имеющие возможность оцифровки отдельных точек графиков.

Устройства управления и блоки связи

Группа устройств управления и блоков связи весьма специфична, так как средства, входящие в нее, в значительной степени зависят от структур систем, алгоритмов функционирования, степени централизации управления, режимов обмена информации между средствами, установленных стандартных интерфейсов, а также уровня интеграции элементной базы, степени применения вычислительных устройств и ряда других факторов.

В настоящее время можно предложить разделить устройства управления на три подгруппы, а блоки связи на четыре подгруппы.

В первую подгруппу устройств управления входят таймеры и часы, которые формируют сигналы, используемые в качестве служебных, а также кодовые эквиваленты значения текущего времени.

Второй подгруппой в устройствах управления являются программные устройства (контроллеры), которые

управляют работой отдельных агрегатных средств в системах.

К третьей подгруппе относятся наиболее сложные устройства управления, включающие в себя вычислительные средства (мини-ЭВМ и микропроцессоры, которые позволяют не только осуществлять программное управление, но и калибровку, коррекцию температурной погрешности, линеаризацию, диагностику неисправностей, первичную обработку измерительной информации и т. д.). Эту подгруппу устройств управления часто называют активными контроллерами.

Блоки связи решают задачу согласования потоков информационных и служебных сигналов между сопрягаемыми агрегатными средствами в соответствии с принятыми интерфейсами. В блоки связи входят групповые пассивные контроллеры, индивидуальные пассивные контроллеры, расширители, устройства согласования входных и выходных сигналов по уровням и мощности.

Устройства вспомогательные

Классификация устройств этой группы будет проводиться в дальнейшем по мере накопления опыта построения ИИС, ИВК и АСУ ТП.

В настоящее время эту группу составляют источники питания, блоки формирования и задания уставок, блок самоконтроля и т. д.

2-2. ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ АСЭТ

Полное представление о всей структуре и классификации отдельных групп и подгрупп средств АСЭТ дает приводимый ниже в речь.

1. Измерительные преобразователи
 - 1.1. Первичные
 - 1.1.1. Унифицированные
 - 1.1.1.1. Электрических величин
 - 1.1.1.1.1. Напряжения постоянного тока (в том числе усилители)
 - 1.1.1.1.2. Напряжения переменного тока (в том числе усилители)
 - 1.1.1.1.3. Постоянного тока (в том числе усилители)
 - 1.1.1.1.4. Переменного тока (в том числе усилители)
 - 1.1.1.1.5. Мощности
 - 1.1.1.1.5.1. Активной мощности
 - 1.1.1.1.5.2. Реактивной мощности
 - 1.1.1.1.6. Частоты

- 1.1.1.1.7. Фазы
 - 1.1.1.1.8. Сопротивления изоляции сетей переменного и постоянного тока
 - 1.1.1.1.9. Сопротивления
 - 1.1.1.1.10. Емкости
 - 1.1.1.1.11. Индуктивности
 - 1.1.1.2. Магнитных величин
 - 1.1.1.2.1. Напряженности постоянного магнитного поля
 - 1.1.1.2.2. Напряженности переменного магнитного поля
 - 1.1.1.2.3. Градиента напряженности магнитного поля
 - 1.1.1.2.4. Магнитного потока в образце
 - 1.1.1.2.5. Магнитной индукции
 - 1.1.1.2.6. Магнитной проницаемости
 - 1.2. Вторичные
 - 1.2.1. Однородные
 - 1.2.1.1. Напряжения постоянного тока (в том числе усилители)
 - 1.2.1.1.1. Алгебраического сложения
 - 1.2.1.1.2. Умножения
 - 1.2.1.1.3. Деления
 - 1.2.1.1.4. Дифференцирования
 - 1.2.1.1.5. Интегрирования
 - 1.2.1.1.6. Логарифмирования
 - 1.2.1.1.7. Возведения в степень
 - 1.2.1.1.8. Извлечения корня
 - 1.2.1.1.9. Линеаризации
 - 1.2.1.2. Постоянного тока (включает позиции 1.2.1.1.—1.2.1.1.8., в том числе усилители)
 - 1.2.1.3. Напряжения переменного тока (включая позиции 1.2.1.1.1.—1.2.1.1.8., в том числе усилители)
 - 1.2.1.3.1. Частотного анализа
 - 1.2.1.3.4. Частоты
 - 1.2.1.3.4.1. Деления
 - 1.2.1.3.4.2. Умножения
 - 1.2.2. Неоднородные
 - 1.2.2.1. Напряжения постоянного тока в частоту
 - 1.2.2.2. Напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока
 - 1.2.2.3. Напряжения переменного тока в постоянный ток
 - 1.2.2.4. Напряжения переменного тока в частоту
 - 1.2.2.5. Частоты в напряжение постоянного тока
 - 1.2.2.6. Частоты в напряжение переменного тока
 - 1.2.2.7. Частоты в постоянный ток
 - 1.2.2.8. Постоянного тока в напряжение постоянного ток
 - 1.2.2.9. Постоянного тока в частоту
2. Коммутаторы
 - 2.1. Измерительные (с нормированием погрешности)
 - 2.1.1. Напряжения постоянного тока
 - 2.1.2. Напряжения переменного тока
 - 2.1.3. Постоянного тока
 - 2.1.4. Сопротивления
 - 2.1.5. Индуктивности
 - 2.1.6. Емкости
 - 2.2. Неизмерительные (без нормирования погрешности)

3. Аналого-цифровые преобразователи
 - 3.1. Напряжения постоянного тока
 - 3.2. Напряжения переменного тока
 - 3.3. Постоянного тока
 - 3.4. Частоты (временных интервалов)
4. Цифро-аналоговые преобразователи
 - 4.1. Напряжения постоянного тока
 - 4.2. Постоянного тока
 - 4.3. Напряжения переменного тока
 - 4.4. Частоты
 - 4.5. Фазы
 - 4.6. Частоты следования импульсов
 - 4.7. Сопротивления
 - 4.8. Емкости
 - 4.9. Индуктивности
5. Компараторы
 - 5.1. Аналоговые
 - 5.1.1. Напряжения постоянного тока
 - 5.1.2. Напряжения переменного тока
 - 5.1.3. Постоянного тока
 - 5.1.4. Частоты
 - 5.2. Цифровые
6. Устройства измерения
 - 6.1. Цифровые
 - 6.1.1. Показывающие
 - 6.1.1.1. Амперметры
 - 6.1.1.1.1. Постоянного тока
 - 6.1.1.1.2. Переменного тока
 - 6.1.1.2. Вольтметры
 - 6.1.1.2.1. Постоянного тока
 - 6.1.1.2.2. Переменного тока
 - 6.1.1.2.3. Импульсные
 - 6.1.1.3. Омметры
 - 6.1.1.4. Измерители емкости
 - 6.1.1.5. Измерители индуктивности
 - 6.1.1.6. Универсальные измерители параметров электрических цепей
 - 6.1.1.7. Частотомеры (измерители временных интервалов)
 - 6.1.1.8. Счетчики импульсов
 - 6.1.1.9. Фазометры
 - 6.1.1.10. Комбинированные приборы
 - 6.2. Аналоговые
 - 6.2.1. Показывающие. Щитовые и панельные, диапазоны которых соответствуют ГОСТ 9895-78 (при измерении тока и напряжения) и ГОСТ 14853-76 (при измерении частоты)
 - 6.2.1.1. Амперметры постоянного тока
 - 6.2.1.2. Вольтметры
 - 6.2.1.2.1. Постоянного тока
 - 6.2.1.2.2. Переменного тока
 - 6.2.1.3. Частотомеры

- 6.2.2. Регистрирующие. Щитовые и панельные, диапазоны показания и регистрации которых соответствуют ГОСТ 9895-78 (при измерении тока и напряжения) и ГОСТ 14853-76 (при измерении частоты)
 - 6.2.2.1. Амперметры постоянного тока
 - 6.2.2.2. Вольтметры
 - 6.2.2.2.1. Постоянного тока
 - 6.2.2.2.2. Переменного тока
 - 6.2.2.3. Частотомеры
 - 6.2.2.4. Двухкоординатные приборы
- 7. Устройства представления (устройства с дискретным входным сигналом)
 - 7.1. Показывающие
 - 7.1.1. Графические (аналоговые)
 - 7.1.1.1. Непрерывные
 - 7.1.1.2. Дискретные
 - 7.1.2. Устройства представления знаковой информации
 - 7.1.2.1. Индикаторы событий
 - 7.1.2.2. Пиктографические индикаторы
 - 7.1.2.3. Алфавитно-цифровые индикаторы
 - 7.1.2.4. Мнемосхемы
 - 7.1.3. Знакографические
 - 7.2. Регистрирующие
 - 7.2.1. Графические
 - 7.2.1.1. Непрерывные (по виду отображаемой информации)
 - 7.2.1.2. Дискретные (по виду отображаемой информации)
 - 7.2.2. Знаковые
 - 7.2.3. Знакографические
- 8. Устройства управления и блоки связи
 - 8.1. Устройства управления
 - 8.1.1. Активные контроллеры
 - 8.1.2. Программные устройства (беспроцессорные)
 - 8.1.3. Таймеры
 - 8.2. Блоки связи
 - 8.2.1. Групповые пассивные контроллеры
 - 8.2.2. Индивидуальные пассивные контроллеры
 - 8.2.3. Расширители
 - 8.2.4. Устройства согласования входных и выходных сигналов

2-3. СОСТАВ СРЕДСТВ АСЭТ I ОЧЕРЕДИ

В приведенной в предыдущем параграфе общей классификации средств АСЭТ последней ступенью детализации структуры АСЭТ является класс средств. В некоторых случаях деление производилось и на подклассы, так как одним параметрическим рядом иногда не удастся закрыть все разновидности средств данного класса, а имеются совокупности их, обладающие общей спецификой по отдельным требованиям совместимости. Например, первичные или вторичные ИП напряжения

постоянного тока (нормирующие усилители постоянного тока) по условиям применения и эксплуатационной совместимости могут быть общего применения, с гальванической развязкой и для тяжелых эксплуатационных условий.

Для каждого класса или подкласса средств АСЭТ строится параметрический ряд в соответствии с методическими материалами, указанными в § 1-3.

Однако построение оптимальных параметрических рядов в начале IX пятилетки было затруднено, а в ряде случаев — практически невозможно в связи с необходимостью получения и обработки большого статистического материала по технико-экономическим показателям средств ЭИТ с целью определения исходных данных для расчета этих рядов — функций спроса, затрат и серийности. Поэтому задача построения оптимальных параметрических рядов была сведена к построению рациональных параметрических рядов средств АСЭТ эвристическим методом на основе известных данных о потребности в этих средствах, состоянии и уровне развития каждой группы, подгруппы и класса в СССР и за рубежом, а также определения тенденций и прогноза их развития.

В процессе разработки и формирования рациональных параметрических рядов средств АСЭТ каждого класса и подкласса определились ключевые параметры, диапазоны их изменения и устанавливались ряды предпочтительных чисел для значений выбранных ключевых параметров.

Рациональные параметрические ряды учитывают в основном четыре ключевых параметра: диапазон входного сигнала, погрешность, динамическую характеристику (быстродействие, постоянную времени или полосу частот) и выходной сигнал. Однако для некоторых видов средств АСЭТ дополнительно учитывают такие существенные параметры, как входное сопротивление, нагрузка, размеры чувствительного элемента и т. д.

Создание полной номенклатуры средств комплекса, удовлетворяющего всем требованиям основных отраслей-потребителей, задача весьма сложная. Она может решаться, исходя из имеющихся ресурсов разработчиков и производителей (технических, производственных, экономических и т. д.) лишь последовательно в несколько этапов (очереди) пополнением и расширением каж-

дый раз имеющейся номенклатуры средств при условии ужесточения требований к их совместимости.

К средствам АСЭТ I очереди относятся средства комплексов, серийный выпуск которых (или хотя бы первая промышленная партия) освоен в период 1971—1975 гг.

В результате выполнения планов IX пятилетки в состав АСЭТ I очереди входят около 250 типов (с модификациями) средств ЭИТ, которые реализуют около 80 моделей в рациональных параметрических рядах. Это количество определяется составляющими по основным номенклатурным группам:

Номенклатурная группа	Количество модификаций
Первичные измерительные преобразователи электрических и магнитных величин	25
Вторичные измерительные преобразователи	74
Коммутаторы, аналого-цифровые преобразователи и цифровые приборы	102
Устройства представления информации	31
Устройства управления	10

Все средства АСЭТ соответствуют общим техническим требованиям, изложенным в ОСТ 25.170-73. Коэффициент функциональной полноты для АСЭТ I очереди в соответствии с выражением (1-1) и табл. 1-2 $K_{АСЭТ I} = 46/151 \approx 0,3$.

Ниже приведен перечень устройств АСЭТ I очереди [29—33].

Измерительные преобразователи

Первичные ИП электрических величин

Напряжение постоянного тока E714M, E714Mc, P724, E742, E7003

Постоянного тока E727M, E743, E727, E7002

Активной мощности E728H/1—3, E728Y/1,2, E746, E747ИПм, E748H/1,2, E748Y/1,2, E812

Сопrotивления изоляции сетей E745, E7005

Напряжения переменного тока E722, E740, E800/1,2, E7000

Переменного тока E708, E810, E7001

Реактивной мощности E729/1,2, E729H/1,2, E813, E814, E7007

Частоты переменного тока E713M/1,2, E744, E810, E7004

Первичные ИП магнитных величин (магнитометры)
Г73, Г74

Вторичные ИП

Серия нормирующих усилителей постоянного тока Ф756, Ф757

Серия нормирующих усилителей постоянного тока с гальванической развязкой Ф758, Ф759

Серия усилителей постоянного тока, устойчивых к механическим воздействиям, Ф7024, Ф7025

Серия усилителей постоянного тока с гальванической развязкой, устойчивых к механическим воздействиям, Ф7028, Ф7029

Функциональный преобразователь E811/1,2

Согласующий усилитель E717M, E718M, E726

Преобразователь напряжения переменного тока в напряжение постоянного тока Ф7132

Коммутаторы

Ф240, Ф799/1—3, Ф7017, Ф7019, Ф7100, П1750

Аналого-цифровые преобразователи

Ф722/1—4, Ф733/1,2, Ф4207/1,2, Ф4221, Ф4880, Ф4881, Ф4890, Ф8121

Преобразователи кодов и блоков связи

Ф250, Ф7060, Ф7160, П215, П216, П1200

Компараторы

Цифровой компаратор Щ68200

Цифро-аналоговый преобразователь

Ф723/1,2

Устройства измерения

Устройства измерения показывающие (аналоговые)

Амперметры и вольтметры постоянного тока М333К, М1530, М1531, М1730Р, М1743, М1770, М1830

Амперметры и вольтметры постоянного тока с применением

газоразрядных индикаторов Ф212, Ф213

Вольтметры постоянного и переменного тока (цифровые)

Щ1312, Щ1413, Щ1513, Щ1516, Щ1514, Ф4830, щитовые Ф2000—Ф2003, Ф200, Ф203, Ф204, Ф210, Ф211, Ф220

Омметры (цифровые)

Щ30, Щ32, Щ34, Щ400, Ф4206

Частотомеры и счетчики числа импульсов (цифровые)

Ф205, Ф206, Ф209, Ф5007, Ф5034

Комбинированные приборы (цифровые)

Универсальный прибор переменного тока Ф4800

Ампервольтметры Р386, Ф30

Вольтфарадометр Р385

Мост переменного тока 85010, Ф5016

Комбинированный процентный прибор Щ33

Цифровой комбинированный прибор для измерения электрических и магнитных величин Щ4310

Универсальный вольтметр Щ35, Щ36

Ампервольтметр Щ68000

Регистрирующие устройства

Серия быстродействующих многоканальных самописцев Н338/1—8

Серия щитовых самописцев Н392—Н398

Двухкоординатный самописец П306

Щитовой регистратор к приборам АСК

Самопишущие и регулирующие приборы Н332К

Средства статистических измерений

Многофункциональный кодирующий прибор для измерения статистических характеристик случайных сигналов Ф790

Анализатор спектра Ф4327

Анализатор спектра С4-35 (Ф728)

Коррелометр Ф7016

Устройства представления информации

Цифровое индикаторное устройство Ф207

Устройство индикации Ф5071

Устройства индикации Ф5072—Ф5074

Двухкоординатный самописец с кодовым входом Н710

Универсальное цифропечатающее устройство для приборов частотно-временной группы Ф5033

Быстродействующее цифровое регистрирующее устройство Н708

Цифропечатающее устройство Ф595К, Щ68000К

Цифровое электромеханическое регистрирующее устройство с транскриптором Ф253

Устройства управления

Ф260, Ф7020, Ф7141, Ф7144, Ф7145, Ф7161, Ф7162

Рассмотрим состав средств АСЭТ I очереди по отдельным номенклатурным группам.

Первичные измерительные преобразователи. (ПИП) электрических величин

Из шестнадцати параметров преобразуемых электрических величин средства АСЭТ охватывают девять, причем для каждого параметра имеется несколько подгрупп типов серийно выпускаемых ПИП различного назначения. Коэффициент функциональной полноты для данной группы равен 0,21.

Полная программа создания различных групп ПИП электрических величин, входящих в структуру АСЭТ, определена рациональными параметрическими рядами, которые составлены для ИП напряжения постоянного тока, действующего и среднего значений напряжения переменного тока, постоянного тока, действующего и среднего значений переменного тока, активной и реактивной мощности трехфазных цепей (в том числе реверсивных), частоты, фазы, сопротивления изоляции сетей переменного и постоянного тока. В табл. 2-1 приведены эти ряды и в них отмечены модели, которые реализованы в серийно выпускаемых преобразователях. Арабскими цифрами в таблицах показаны номера моделей агрегатных средств в пределах каждого класса. Параметры каждой конкретной модели могут быть найдены

в заголовках строк и столбцов, в пересечении которых указаны данные модели. Нахождение одного и того же числа одновременно в разных столбцах соответствует различным диапазонам одного и того же параметра, характеризующего модификацию данной модели. Например, для модели ПИП напряжения постоянного тока цифра 4 обозначает преобразователь, работающий в диапазоне 75 мВ, 100 мВ, 1 В и 10 В с погрешностью 1% и временем восстановления более 0,5 с, имеющий на выходе унифицированный сигнал 0—5 мА. Данная модель может иметь модификации с временем восстановления 0,05—0,5 с, выходным унифицированным сигналом 0—10 В, 0—1 В или частотным сигналом.

Всего в состав АСЭТ I очереди входит 23 типа с модификациями ПИП электрических величин, которые закрывают 17 моделей в рациональных параметрических рядах.

Эти преобразователи выполнены в специальных конструкциях, соответствующих требованиям их установки и эксплуатации на объектах, имеют унифицированные сигналы по постоянному току и напряжению (5 мА и 10 В) и рассчитаны на фиксированную нагрузку (в соответствии с ГОСТ 9895-78).

Тяжелые условия эксплуатации (наличие вибраций, ударов, резкие перепады и широкий диапазон рабочих температур, повышенная влажность), обусловленные использованием ИП в качестве периферийных устройств, заставили идти разработчиков по пути создания полностью статических устройств, не имеющих подвижных частей. Выбору этого направления также в значительной степени способствовало требование непрерывной работы ИП без калибровки и регулировки в течение длительного срока службы [34].

В преобразователях тока и напряжения постоянного тока в большинстве случаев постоянный ток измеряют косвенным способом по падению напряжения на шунте. В этих преобразователях используется метод модуляции-демодуляции, преимуществами которого являются простота усиления на переменном токе, не связанная с дрейфом нуля, и обеспечение гальванического разделения входных и выходных цепей. Разрешающая способность, естественно, зависит от выбора типа модулятора. В выпускаемых и разрабатываемых ИП применяются полупроводниковые и магнитные модуляторы.

Рациональные параметрические ряды

Наименование позиции номенклатуры АСЭТ	Позиция номенклатуры АСЭТ	Значения входных величин
ПИП напряжения постоянного тока	1.1.1.1.1.	75; 100 мВ; 1; 10 В
		300; 450; 600; 750; 1000; 1500; 5000 В
ПИП напряжения переменного тока (действующие значения)	1.1.1.1.2.	100 мВ; 1; 10 В
		100; 300; 450; 600 В
		100 мВ; 1; 10 В
		300; 600 В
ПИП напряжения переменного тока (среднее значение)	1.1.1.1.2.	100 мВ; 1; 10 В
		100; 300; 450; 600 В
		100 мВ; 1; 10 В
		300; 600 В
ПИП постоянного тока	1.1.1.1.3.	5 мА; 75 мВ; от шунта
ПИП переменного тока (действующее значение)	1.1.1.1.4.	1; 2; 5; 10 А
ПИП переменного тока (среднее значение)	1.1.1.1.4.2.	1; 2; 5; 10 А
		1; 2; 5; 10 А
ПИП активной мощности, трехфазные	1.1.1.1.5.2.	1 А; 80—120 В; $\cos \varphi = 0 \pm 1$
		1; 2; 5 А; 80—120 В; $\cos \varphi = 0 \pm 1$
ПИП реактивной мощности, трехфазные	1.1.1.1.5.2.2.; 1.1.1.1.5.2.3. (реверсивные)	1; 2,5 А; 80—120 В; $\cos \varphi = 0 \pm 1$
ПИП частоты	1.1.1.1.6.	45—55; 47—52; 59—51; 280—600 Гц
ПИП фазы	1.1.1.1.7	60—0—60 эл. град
		90—0—90 эл. град
ПИП сопротивления изоляции сетей переменного тока	1.1.1.1.8.	100 кОм
		1 МОм
		40—200 кОм

для ПИП электрических величин

Погрешность, %							
0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0	10,0
1	2	3	4				
		5	6*	7			
1	2	3	4	5			
6	7	8	9	10	11		
12	13	14	15	16			
		17	18	19	20		
		1	2	3			
		4*	5*	6	7		
		8	9	10			
		11	12	13	14		
1	2	3	4*				
1	2	3	4	5	6		
		7	8	9	10		
		1*	2*	3	4		
		5	6	7	8		
1	2*	3*	4*	5			
11	12	13	14*	15	16		
		1	2*	3	4		
		5	6*	7	8		
			1	2	3*		
		1	2	3	4		
		5	6	7	8		
						1	2
						3	4*
						5	6

Наименование позиции номенклатуры АСЭТ	Быстродействие (время восстановления)		Значения I B
	0,05—0,5 с	Более 0,5 с	
ПИП напряжения постоянного тока	1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4
	5; 6; 7	5; 6*; 7	5; 6; 7
ПИП напряжения переменного тока (действующие значения)	1; 2; 3; 4; 5	1; 2; 3; 4; 5	1; 2; 3; 4; 5
	6; 7; 8; 9; 10; 11	6; 7; 8; 9; 10; 11	6; 7; 8; 9; 10; 11
	12; 13; 14; 15; 16	12; 13; 14; 15; 16	12; 13; 14; 15; 16
	17; 18; 19; 20	17; 18; 19; 20	17; 18; 19; 20
ПИП напряжения переменного тока (среднее значение)	1; 2; 3	1; 2; 3	1; 2; 3
	4; 5; 6	4; 5*; 6*; 7	4; 5; 6; 7
	8; 9; 10	8; 9; 10	8; 9; 10
	11; 12; 13; 14	11; 12; 13; 14	11; 12; 13; 14
ПИП постоянного тока	1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4*	1; 2; 3; 4
ПИП переменного тока (действующее значение)	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6
	7; 8; 9; 10	7; 8; 9; 10	7; 8; 9; 10
ПИП переменного тока (среднее значение)	1; 2; 3; 4	1*; 2*; 3; 4	1; 2; 3; 4
	5; 6; 7; 8	5; 6; 7; 8	5; 6; 7; 8
ПИП активной мощности, трехфазные	2; 3*; 4*; 5	1; 1; 3; 4; 5	1; 2; 3; 4; 5
	13; 14; 15; 16	11; 12; 13; 14; 15; 16	11; 12; 13; 14; 15; 16
ПИП реактивной мощности, трехфазные	2*	1; 2*; 3; 4	1; 2; 3; 4
		5; 6*; 7; 8	
ПИП частоты	1; 2; 3	1; 2; 3*	1; 2; 3

Выходных величин			Примечание
10 В	5 мА	Частотный сигнал	
1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4	
5; 6; 7	5; 6*; 7	5; 6; 7	
1; 2; 3; 4; 5	1; 2; 3; 4; 5		
6; 7; 8; 9; 10; 11	6; 7; 8; 9; 10; 11		На фиксированную частоту 50 Гц
	12; 13; 14; 15; 16		На фиксированную частоту 40 Гц
	17; 18; 19; 20		
1; 2; 3	1; 2; 3		На фиксированную частоту 50 Гц
4; 5; 6; 7	4; 5*; 6*; 7		
	8; 9; 10		На фиксированную частоту 400 Гц
	11; 12; 13; 14		
1; 2; 3; 4	1; 1; 3; 4*	1; 2; 3; 4	
1; 2; 3; 4; 5; 6	1; 2; 3; 4; 5; 6		На фиксированную частоту 50 Гц
	7; 8*; 9; 10		На фиксированную частоту 400 Гц
1; 2; 3; 4	1*; 2*; 3; 4		На фиксированную частоту 50 Гц
	5; 6; 7; 8		На фиксированную частоту 400 Гц
1; 2; 3; 4; 5	1; 2*; 3*; 4*; 5		Частота 50 Гц
11; 12; 13; 14; 15; 16	11; 12; 13; 14; 15; 16		Реверсивный, частота 50 Гц
1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4		Частота 50 Гц
	5; 6*; 7; 8		
1; 2; 3	1; 2; 3*		

Наименование позиции номенклатуры АСЭТ	Быстродействие (время восстановления)		Значения
	0.05—0,5 с	Более 0,5 с	
ПИП фазы		1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4
		5; 6; 7; 8	5; 6; 7; 8
ПИП сопротивления изоляции сетей переменного тока		1; 2	1; 2
		3; 4*	3; 4
		5; 6	5; 6

Примечание. Знак * означает, что данная модель реализована в составе АСЭТ.

Так, первичный ИП постоянного тока типа Е727 является магнитополупроводниковым усилителем и выполнен по схеме с отрицательной обратной связью по напряжению.

Аналогично построены Е742 и Е743, где обратная связь заведена с выхода фильтра прямого тракта на вход преобразователя, а сам тракт обратной связи представляет собой соединение модулятора, элемента гальванической развязки, демодулятора и фильтра.

В ИП постоянного тока типа Е7002 общую связь уже удалось исключить. В последних разработках ИП постоянного тока и напряжения постоянного тока с целью максимального использования микроэлектронной элементной базы, обеспечивающей существенное уменьшение массы и габаритов и увеличение надежности, применяется метод широтно-импульсной модуляции входного сигнала [35].

Среди преобразователей тока и напряжения переменного тока широкое применение находят преобразователи прямого преобразования выпрямительного типа, причем наиболее распространены преобразователи действующего значения напряжения. Эти преобразователи, как правило, выполнены на термоэлементах, для линейности охвачены отрицательной обратной связью и используют как пассивные, так и активные фильтры. Применяется и принцип детектора со скользящим смещением. При

Выходных величин			Примечание
10 В	5 мА	Частотный сигнал	
1; 2; 3; 4	1; 2; 3; 4		Частота 50 Гц
5; 6; 7; 8	5; 6; 7; 8		
1; 2	1; 2		
3; 4	3; 4*		
	5; 6		Частота 400 Гц

I очереди.

значительных искажениях формы кривой измеряемого переменного тока перспективны с позиций метрологических и надежностных характеристик ИП методы широтно-импульсной и время-импульсной модуляции [36].

Особое значение для противоаварийной автоматики энергосистем, целого ряда систем автоматического контроля и регулирования имеют ИП как активной, так и реактивной мощности. Использование в схемах квадратирующих нелинейных сопротивлений позволило создать ИП активной мощности высокой надежности и класса точности 1,5 (Е728). Дальнейшее повышение точности и увеличение надежности достигается использованием принципов время-импульсной модуляции. В соответствии с классификацией [37] интервал сопоставления (минимальный интервал, в течение которого осуществляется функциональная связь между входными и выходными сигналами) значительно меньше периода основной гармоники входных измеряемых сигналов. В настоящее время разработаны ИП мощности, у которых интервал сопоставления равен периоду основной гармоники входных сигналов, что позволяет упростить схему и повысить надежность преобразователя.

В энергетических системах требуется весьма точное поддержание заданного значения частоты, поэтому требуется ИП частоты переменного тока достаточно

высокой чувствительности. Из существующих различных методов построения ИП частоты наибольшее распространение для низких частот получили резонансный и конденсаторный методы. Именно на конденсаторном методе, основанном на перезарядке конденсатора при питании преобразователя стабилизированным по амплитуде напряжением, построены ИП частоты Е713М, Е744 и др. Широкое применение микроэлектроники позволяет строить ИП частоты, основанные на коммутации источников образцового напряжения в течение определенного интервала времени, что позволяет повысить точность преобразователей в 5 раз.

В состав ИП электрических величин входят разработанные и выпускаемые серийно ИП сопротивления изоляции сетей переменного тока (Е745, Е7005). Перспективным для этих ИП является метод, основанный на использовании вспомогательного источника питания в сочетании с высокоомным добавочным сопротивлением, включаемым последовательно с измеряемым сопротивлением.

Сравнение основных параметров показывает, что для измерения напряжения переменного тока, активной и реактивной мощности трехфазных цепей на 50 Гц в 2 раза улучшена точность и почти в 2 раза уменьшена постоянная времени, а также улучшены показатели надежности.

Первичные измерительные преобразователи магнитных величин

В 1971—1975 гг. в состав АСЭТ вошли два магнитометра: магнитометр Г73 для измерения действующих значений напряженности слабых переменных и постоянных магнитных полей и магнитометр Г74 для измерения напряженности постоянного магнитного поля. Магнитометры Г73 и Г74 основаны на наиболее распространенном методе построения — магнитомодуляционном. Эти магнитометры выполнены в конструктивах АСЭТ и имеют на выходе унифицированные сигналы — напряжение постоянного тока соответственно 20 мВ и 1В. Отношение магнитометров к группе ИП несколько условно. Действительно, они преобразуют напряженность магнитного поля в унифицированный сигнал АСЭТ, но в то же время это сложные измерительные устройства, имеющие

Рациональные ряды устройств для измерения напряженности магнитных полей

Наименование изделий	Наименование и номер номенклатурной группы АСЭТ	Диапазон измеряемой величины, А/м	Погрешность, %								Полоса частот, Гц (быстродействие)		
			0,001	0,002	0,2	0,5	1,0	1,5	2	2,5	5,0	1000	5·10 ³
ПИП напряженности постоянного магнитного поля	Магнитомодуляционные 1.1.1.2.1.	0—2,4·10 ⁻² 0—8·10 ⁻² 0—2,4·10 ⁻¹ 0—8·10 ⁻¹ 0—2,4						1	1	2			
	Радиоспектроскопические (ядерно-магнитный резонанс) 1.1.1.2.1.	2,4·10 ⁴ —2,4·10 ⁶ 4·10 ⁴ —4·10 ⁶	16	15									
ПИП напряженности переменного магнитного поля	Магнитомодуляционные 1.1.1.2.2.	8·10 ⁻² —8·10 ² 8·10 ⁻² —8·10 ⁻¹ 8·10 ⁻⁴ —8 8·10 ⁻⁴ —8 8·10 ⁻¹ —8·10 ³			4		3					3,4	
						5	7	6	8	5,6	7,8		
ПИП напряженности постоянного и переменного магнитного поля	Гальваноманометры 1.1.1.2.1. 1.1.1.2.2.	8·10 ⁻¹ —2,4·10 ⁴ До 2,4·10 ⁵ 8·10 ⁻¹ —2,4·10 ⁴ До 16·10 ⁵ 8·10 ⁻¹ —40·10 ² 8·10 ³ —16·10 ²			11	12	11				11, 12		13, 14
					13	13	12	14	14	14*		14*	

Примечание. Здесь и далее знак * означает, что данная модель реализована в АСЭТ I очереди.

встроенный аналоговый показывающий прибор и конструктивно выделенный чувствительный элемент — щуп.

Широкое применение находит феррозондовый метод для построения магнитонизмерительной аппаратуры, что обусловлено высокой чувствительностью, острой направленностью магнитной оси чувствительного элемента, сравнительно высоким быстродействием, возможностью измерения в широком диапазоне значений напряженности постоянных и переменных магнитных полей и возможностью работы аппаратуры в тяжелых условиях эксплуатации [38, 39].

Как показано в табл. 2-2, эти два типа магнитометров закрывают соответственно две модели в рядах ПИП напряженности постоянного и переменного магнитных полей.

Таким образом, практически впервые в СССР налажено серийное производство магнитометров для измерения малых постоянных и переменных (в звуковом диапазоне частот) магнитных полей.

Вторичные измерительные преобразователи (ВИП)

Коэффициент функциональной полноты для ВИП равен 0,13.

В подавляющем большинстве в состав этой группы входят однородные преобразователи умножения на постоянный коэффициент и преобразователи малых значений напряжения постоянного тока в постоянный ток 0—5 мА — измерительные усилители, причем все измерительные усилители относятся к подгруппе нормирующих и масштабирующих постоянного тока (импульсных и широкополосных усилителей в составе АСЭТ I очереди нет).

Для получения высокой чувствительности и малого дрейфа все усилители выполнены по структуре: модулятор—усилитель переменного тока—демодулятор (т. е. МДМ). Улучшение метрологических характеристик в значительной степени обусловлено использованием высококачественных модуляторов сигналов низкого уровня на основе полевых транзисторов МОП-структуры.

Упомянутые усилители разделены в зависимости от метрологических и эксплуатационных характеристик на восемь серий и имеют выход по напряжению постоянного тока 0—10 В, по постоянному току 0—5 мА.

Серии усилителей типов Ф756 и Ф757 с выходом соответственно по напряжению и по току не имеют гальванической развязки входных и выходных цепей. Следующие аналогичные серии усилителей Ф758 и Ф759 отличаются наличием гальванической развязки. Поскольку указанные усилители однопредельные, то в каждую серию для данного типа входит семь модификаций в зависимости от предела входного сигнала: 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 мВ, имеющих классы точности от 1 до 0,1. Все модификации выполнены в конструктивах АСЭТ, имеют одинаковые габариты $40 \times 180 \times 320$ мм и состоят из восьми унифицированных функциональных узлов, в том числе встроенный блок питания.

Серии усилителей типов Ф7024 и Ф7025 — без гальванической развязки входных и выходных цепей, устойчивы к механическим и климатическим воздействиям. Серии двух последующих типов усилителей Ф7028 и Ф7029 рассчитаны на те же эксплуатационные условия, но имеют гальваническую развязку входных и выходных цепей. Поскольку последние из упомянутых четырех серий усилителей имеют чувствительность выше предыдущих серий в 10 раз и также являются однородными, то они имеют для каждого типа десять модификаций в зависимости от предела входного сигнала: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 и 1000 мВ и классы точности 0,5—0,1. Конструктивное исполнение — модульное с отдельным блоком питания, габариты $35 \times 52 \times 92$ мм.

Как показано в табл. 2-3, все приведенные выше серии усилителей реализуют семь моделей в рациональных параметрических рядах АСЭТ для данной группы средств, имеющих в общей сложности 72 модификации.

Сравнение основных характеристик измерительных усилителей с уровнем 1970 г. показывает, что улучшена чувствительность усилителей в 10 раз и уменьшена постоянная времени в 5 раз при сохранении точности на наименьшем номинальном пределе. Следует, однако, подчеркнуть, что системные требования в упомянутых усилителях учтены еще слабо, в частности отсутствует дистанционное переключение предела измерения.

К группе однородных вторичных ИП следует отнести преобразователи Е811/1 и Е811/2, предназначенные для линейного преобразования суммы соответственно десяти и пяти входных унифицированных сигналов постоянного

Наименование изделий	Значение входной величины (диапазон измеримой величины), мВ	Погрешность, %								Быстродействие: постоянная времени УПТ, с (полоса частот УПерТ, Гц)						Значения выходной величины		Примечание	
		0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	1; (5)	10 ⁻¹ ; (50)	10 ⁻² ; (5·10 ²)	10 ⁻³ ; (5·10 ³)	10 ⁻⁴ ; (5·10 ⁴)	10 ⁻⁵ ; (5·10 ⁵)	10 ⁻⁶ ; (1·10 ⁶)		10 В
Серия $\frac{1}{2}$ нормирующих УПТ для работы в тяжелых эксплуатационных условиях	10									1								1	2
	20									1								2	3
	50		7*							3								3	4
	100		7*			1				4								4	5
	200		7*			2				5								5	6
	500		7*			3				6								6	7
	1000		7*			4				6								7	7

Вторичные однородные преобразователи коэффициента переменного тока. Номинальная группа АСЭТ 1.2.1.3.

Серия нормирующих усилителей переменного тока (УПерТ) общепромышленного назначения	0,1																	1	
	0,2																	2	
	0,5																	3	
	1																	4	
	2																	5	
	5																	6	
	10					4												7	
	20					5												8	
	50					6												9	
	100					7					7*	7*	7*	8*				10	7*
	200					8					10							11	8*
500					9					11									
1000					10														
					11	7*·10	8*·11												

Полоса частот уточняется

Наименование изделий	Значение входной величины (диапазон измеряемой величины), мВ	Погрешность, %									Быстродействие: постоянная времени УПТ, с (полоса частот УПерТ, Гц)						Значения выходной величины		Примечание	
		0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	1; (5)	10 ⁻¹ ; (50)	10 ⁻² ; (5·10 ²)	10 ⁻³ ; (5·10 ³)	10 ⁻⁴ ; (5·10 ⁴)	10 ⁻⁵ ; (5·10 ⁵)	10 ⁻⁶ ; (1·10 ⁶)	10 В		5 мА
Серия нормирующих УПерТ для работы в тяжелых эксплуатационных условиях	5 В 50 В 0,1 0,2 0,5 1 2 5 10					1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	1 2 3 4	2 3 4				1 2 3 4				1 2 3 4		
Серия нормирующих УПерТ повышенной точности	5 10 20 50 100 200 500 1000		1 2 3 4 5	1 2 3 4 5	2 2 4 5								1 2	3 4 5				1 2 3 4 5		
Серия нормирующих УПТ с гальванической развязкой для тяжелых условий работы	1 2 5 10 20					6* 6* 6*	6*	6*			1 2	6*		1 2				6* 1 2	6* 1 2	

Нагрузка не менее 2 кОм

Наименование изделий	Значение входной величины (диапазон измеряемой величины), мВ	Погрешность, %								Быстродействие: постоянная времени УПТ, с (полоса частот УПТ, Гц)						Значения выходной величины		Примечание		
		0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	1; (5)	10 ⁻¹ ; (50)	10 ⁻² ; (5·10 ³)	10 ⁻³ ; (5·10 ⁴)	10 ⁻⁴ ; (5·10 ⁵)	10 ⁻⁵ ; (5·10 ⁶)	10 ⁻⁶ ; (1·10 ⁷)		10 В	5 мА
Серия нормирующих УПТ с гальванической развязкой для тяжелых условий работы	50 100 200 500 1000						1; 2; 3; 4; 5; 6*	2 3 4 5	3 4 5		3						3 4 5	3 4 5	Нагрузка не менее 2 кОм	
Серии быстродействующих нормирующих УПТ для цифровых приборов и устройств	0,1					1	1										1	1		
	0,2					2	2										2	2		
	0,5				1	3	3										3	3		
	1			2	4	4	4										4	4		
	2		2	3	5	5	5										5	5		
	5 (мА)		3	4	6	6	6	9*			9*						6	6		
	10		4	5	7	7	7										7	7		
	20		5	6	8	8	8										8	8		
	50		6	7																
	100		7	8																
200		8																		
500																				
1000																				
Серия усилителей импульсных сигналов	10					1	1										1	1		
	20					2	2										2	2		
	50			1		3	3										3	3		

Примечание. Повторение натуральных чисел в ячейках таблицы для одного подкласса агрегатного средства означает наличие у него поддиапазонов в области значений отдельных ключевых параметров.

Рациональные ряды измерительных коммутаторов напряжения

Значение входной величины	Погреш									
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0
10 мВ										
20 мВ			1		2		3	4*	5	6*
50 мВ		1	1	2		3	4*	5*	6*	7
100 мВ	1		2		3	4*	5*	6*	7	8
1 В		2		3	4*	5*	6*	7	8	9
10 В	2		3	4*	5*	6*	7	8	9	

Примечание. Погрешность приведена для нагрузки 100 кОм. Число коммутируемых каналов при соответствующем уменьшении числа коммутируемых каналов.

тока 0—5 мА в унифицированный сигнал (постоянный ток 0—5 мА).

В числе вторичных неоднородных преобразователей, входящих в состав АСЭТ I очереди, имеется преобразователь переменного напряжения в постоянное Ф7132, выпускаемый в составе ИИС типа К734. Он преобразовывает сигналы напряжения переменного тока в пределах 50 мВ, 500 мВ, 5 В и 50 В в сигнал напряжения постоянного тока 5 В на частотах 30—50 000 Гц с погрешностью (в среднем) 0,25%.

Следует заметить, что если придерживаться строгой классификации, то модификации усилителей типов Ф7024, Ф7025, Ф7028 и Ф7029, преобразующих малые неунифицированные сигналы напряжения постоянного тока 1, 2 и 5 мВ в унифицированный сигнал на выходе, а также преобразователь Ф7132 на пределах 50 мВ, 5 В и 50 В следовало бы отнести к ПИП напряжения соответственно постоянного и переменного тока.

Измерительные коммутаторы

Это — весьма ограниченная по многообразию видов группа средств. Коэффициент функциональной полноты коммутаторов в АСЭТ I очереди сравнительно высок и равен 0,43.

В состав АСЭТ I очереди входят серийно выпускаемые измерительные коммутаторы Ф799/1,2, имеющие автономное питание и управление как автономное, так и внешнее. Они обладают достаточно широкими функциональными возможностями в выборе числа каналов,

постоянного тока (номенклатурная группа АСЭТ 2.1.1.1.)

ность, %			Время переключения, с							
2,0	4,0	10,0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}
7	8	9	1	2	3	3	6	6	6	7
8	9		4	4*		5	7	8	8	9
9						8				

ных линий в каждом канале до 100 при трехпроводной схеме. Допускается переход на ше-

режимов коммутации, времени пребывания во включенном состоянии коммутируемого канала и т. д. Использование контактных и бесконтактных коммутирующих элементов позволяет коммутировать с большой точностью медленно изменяющиеся процессы и с меньшей точностью быстроизменяющиеся [29].

Кроме того, разработаны и освоены в серийном производстве коммутаторы в составе ИИС типов К200, К734, созданных по агрегатному принципу. Коммутатор Ф7100 (из К734) по своим техническим характеристикам и функциональным возможностям близок к Ф799. Коммутатор Ф240 является более простой и дешевой моделью.

Как видно из табл. 2-4, эти коммутаторы реализуют три модели из рационального параметрического ряда измерительных коммутаторов и по своим техническим характеристикам улучшают уровень 1970 г.: по времени переключения на один — два порядка, а по основной погрешности почти на порядок.

Все указанные коммутаторы выполнены в конструктивах АСЭТ.

Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи

Коэффициент функциональной полноты для средств АСЭТ I очереди в рассматриваемой группе равен 0,31.

В результате выполнения работ по созданию АЦП в 1971—1975 гг. в состав АСЭТ I очереди входят, как показано в табл. 2-5, семь типов АЦП (Ф7121, Ф4880,

Рациональные ряды аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей

Наименование изделий	Позиция номенклатурной группы АСЭТ	Входная величина (конечное значение диапазона измерения)	Погрешность, %								Быстродействие, преобразований/с
			$\frac{0,01}{0,002}$	$\frac{0,02}{0,005}$	$\frac{0,04}{0,01}$	$\frac{0,05}{0,03}$	$\frac{0,1}{0,5}$	$\frac{0,2}{0,15}$	$\frac{0,4}{0,1}$	$\frac{0,5}{0,3}$	
АЦП напряжения постоянного тока	3.1.	20 мВ						22		27	22
		50 мВ					14	23		28	14
		100 мВ			9		15	24			9
		1 В	1; 3; 33	5; 7		10; 12	16*; 18*; 20	25*		29; 31	1; 10; 29
		10 В	2; 4; 34	6; 8		11; 13	17; 19; 21	26*		30*; 32*; 33*	2; 11; 33*
АЦП постоянного тока	3.3.	5 мА	1	2		3; 4	5; 6	7		8*; 9*; 10*	1; 3*; 10*
ЦАП постоянного тока	4.1.	Код 8—4—2—1		1; 2; 3	4; 5; 6		7; 8; 9	10; 11*; 12	13; 14; 15		
		Двоичный						12*			

Наименование изделий	Позиция номенклатурной группы АСЭТ	Входная величина (конечное значение диапазона измерения)	Быстродействие, преобразований/с				Выходная величина					Примечание
			10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	Код 8—4—2—1	Двоичный код	1 В	10 В	5 мА	
АЦП напряжения постоянного тока	3.1.	20 мВ	27					33*				Входное сопротивление не менее 100 кОм; для модели 30* меньше — равно 1 кОм
		50 мВ	23				16*	18*				
		100 мВ	15					10*				
		1 В	5; 16*; 18*; 10*	3; 12; 25	7; 18; 31	20; 33		25*				
		10 В	17*; 32*; 30*	4; 13; 26	8; 19; 32	21; 34	30*	11*; 32*; 3*				
АЦП постоянного тока	3.3.	5 мА	2; 5; 8*; 9*	4; 8; 7	6; 7		8*	10*; 9*				Входное сопротивление не более 2 кОм
ЦАП постоянного тока	4.1.	Код 8—4—2—1	1; 2; 10; 12	7; 8; 9; 11*	4; 5; 6; 13; 14; 15				1; 4; 7; 10; 14	2; 5; 8; 11*; 14	3; 6; 9; 12*; 15	
		Двоичный		12*							12*	

Примечание: Знак * означает, что данная модель реализована в составе АСЭТ I очереди.

Ф4881, Ф722/1—4, Ф4890, Ф733/1, 2, Ф4207 и Ф4221), с модификациями — двенадцать типов [30]. Они реализуют восемь моделей в рациональном параметрическом ряду АЦП напряжения постоянного тока и пять моделей в рациональном параметрическом ряду АЦП постоянного тока. Цифро-аналоговые преобразователи по существу в IX пятилетке не разрабатывались и в настоящее время в АСЭТ входят только две модификации Ф723/1,2, которые реализуют соответственно две модели в ряду ЦАП.

Все типы АЦП, как правило, выполнены в конструктивах АСЭТ. Входные и выходные сигналы унифицированы. Входными сигналами по напряжению постоянного тока являются 0—10 В, 0—1 В, а по постоянному току 0—5 мА, выходным — двоичный код (только Ф722 для модификаций Ф722/2 и Ф722/4 имеет двоично-десятичный код). В этих преобразователях широко распространены кодо-импульсный метод преобразования с последовательным или последовательно-параллельным уравниванием [40]. Применение операционных усилителей с коэффициентом усиления, кратным основанию кода, вместо источников образцового напряжения, позволило уменьшить требования к элементам, в частности к динамическим характеристикам измерительных ключей и прецизионных делителей, к чувствительности нуль-органов (оравнивающих устройств) младших разрядов. Почти все АЦП, появившиеся в последние годы, построены с использованием интегральных микросхем, тонкопленочных компонентов и полупроводниковых индикаторов.

Повышенные точности и помехозащищенности достигается не только использованием комплектующих элементов с лучшими технико-эксплуатационными характеристиками, но и структурными методами. Это достигается, например, коррекцией дрейфа нуля для уменьшения аддитивной погрешности, применением фиксирующих и запоминающих устройств, различного рода коррекций для уменьшения динамической погрешности, применением фильтрации и т. д.

Сравнение значения основных характеристик лучших образцов АЦП выпуска 1975 г. с значениями соответствующих характеристик АЦП, имевшихся в 1970 г., показывает, что диапазон в сторону малых значений расширился на порядок, уменьшилась погрешность преоб-

разования в 5—7 раз и на порядок увеличилось быстродействие.

Следует отметить, что в наибольшей степени соответствует системным требованиям АЦП Ф7121, представляющий собой многофункциональное устройство, программируемое и управляемое дистанционно.

Устройства измерения

Группа устройств измерения в АСЭТ, как комплекс измерительной аппаратуры, естественно, одна из самых больших, разнообразных и развитых.

Коэффициент функциональной полноты данной группы для АСЭТ I очереди составляет примерно 0,5.

Аналоговые показывающие измерительные приборы — средства, не характерные для АСЭТ, поскольку они используются в ИИС сравнительно меньше, чем цифровые, и в основном как дублирующие приборы или приборы измерения и контроля на некоторых наиболее ответственных каналах систем, которые подвергаются постоянно наблюдению со стороны операторов. Поэтому на этой подгруппе останавливаться не будем.

Обратим внимание только на частотно-анализирующую аппаратуру. В состав АСЭТ I очереди входят два анализатора спектра стационарных случайных и детерминированных сигналов С4-35 (Ф728) и Ф4327, построенные на методе последовательного анализа в диапазонах частот 1—500 и 20—20 000 Гц 1/3-октавными фильтрами и имеющие выход на показывающий прибор через детектор среднеквадратичных, среднев्यпрямленных и максимальных значений сигнала [33].

Указанные два типа спектроанализаторов реализуют соответственно две модели в рациональном параметрическом ряду частотно-анализирующей аппаратуры и могут относиться к аналоговым средствам статистических измерений.

Поскольку *цифровые измерительные приборы* представляют собой большое направление в электроприборостроении, то имеет смысл рассмотреть несколько подгрупп.

Цифровые измерительные приборы тока и напряжения. Для приборов постоянного тока характерно разделение на приборы высокой, средней и низкой точности. В АСЭТ I очереди входят в основном приборы с погрешностью 0,2—0,01% (Щ1312, Щ1413,

Щ1513, Ф4830, Щ1516), т. е. низкой и средней точности, но имеется и прибор высокой точности Щ1514. Все эти приборы относятся к классу лабораторных автономных и системных стоечных приборов и реализуют шесть моделей в рациональном параметрическом ряду цифровых вольтметров постоянного тока [30]. Для построения этих приборов используют различные методы: кодо-импульсный (поразрядного уравнивания), время-импульсный, а также методы двойного интегрирования и двухшаговый (интегропотенциометрический), применяемые для приборов повышенной точности и помехозащищенности [41, 42]. Сравнение основных характеристик приборов этого класса с соответствующими характеристиками приборов уровня 1970 г. показывает, что диапазон измерений расширился на порядок в сторону малых значений, точность измерений улучшилась в 2 раза, а быстродействие увеличилось в 25 раз. В наибольшей степени системным требованиям отвечает вольтметр Ф4830, имеющий автоматический выбор предела и дистанционное управление. Цифровые приборы переменного тока в составе АСЭТ I очереди отсутствуют, так как старые приборы сняты с производства, а новые появятся только в X пятилетке.

Особую подгруппу в цифровых измерительных приборах составляют цифровые щитовые приборы постоянного и переменного тока, однопредельные и многопредельные. В состав АСЭТ I очереди входят десять типов щитовых цифровых приборов, имеющих в общей сложности 31 модификацию по постоянному току и пять модификаций по переменному току. Это обусловлено тем, что приборы выпускаются сериями, в рамках которых типы отличаются пределами, конструкцией и т. д. Указанные приборы реализуют, как показано в табл. 2-6, двенадцать моделей в рациональном параметрическом ряду щитовых цифровых вольтметров постоянного тока и пять моделей приборов переменного тока [32]. Анализ технического уровня этих приборов показывает, что за последние 5 лет погрешность измерения у них уменьшилась более чем в 2 раза, а быстродействие увеличилось на порядок.

Цифровые измерительные приборы, комбинированные, для измерения тока, напряжения и параметров электрических цепей находят весьма широкое применение. В состав

АСЭТ I очереди вошли такие комбинированные цифровые приборы, как ЦЗЗ, ЦЗ5, ЦЗ6, РЗ85, РЗ86, Ф4800 и др. Эти приборы позволяют измерять значения постоянного и переменного тока, сопротивления, емкости и индуктивности в весьма широком диапазоне: напряжение от 1 мВ до 1000 В, ток от 1 мкА до 1 А, сопротивление от единиц ом до 100 МОм, емкость от десятков пикофарад до 10 мкФ и индуктивность 0,1—10 Гн с различной погрешностью в зависимости от предела измеряемой величины, рода тока и ширины диапазона [31, 32]. Они полностью автоматизированы по процессу измерения. Основными методами построения приборов по-прежнему являются: мостовой и с промежуточным преобразованием в напряжение постоянного тока. Последний находит все большее развитие в связи с современной элементной базой и возможностью построения универсальных и специализированных приборов на основе систем функциональных узлов и блоков.

Отдельную подгруппу в составе цифровых измерительных приборов составляют приборы для измерения частотно-временных характеристик сигналов. Это — частотомеры, построенные на методе подсчета числа периодов входного сигнала в течение фиксированного промежутка времени, относительная погрешность частоты внутреннего кварцевого генератора которых $\pm 5 \cdot 10^{-6} \div \pm 1 \cdot 10^{-7}$ [32]. Это также частотомеры-хронометры (например, Ф5034 и др.), предназначенные не только для измерения частоты и периода электрических колебаний, длительности импульсов, интервалов времени, количества импульсов и отношения частот, но применяемые также в качестве делителя частоты и генератора образцовых частот. В эту подгруппу входят счетчики импульсов обычные, с предустановкой, программные реверсивные для счета импульсов, численного интегрирования разности двух независимых последовательностей импульсов, частотного деления входных сигналов, формирования заданного числа импульсов и т. д. Имеются и приборы типа Ф205 для измерения промышленной частоты. Такая широкая гамма приборов частотно-временной группы в значительной степени удовлетворяет потребность народного хозяйства в приборах данного вида.

В цифровые измерительные приборы АСЭТ I очереди входит и подгруппа сравнительно новых приборов —

Рациональные ряды устройств измерения

Наименование изделий	Позиция номенклатуры АСЭТ	Значение входной величины (конечное значение диапазона измерения)	Погреш				
			10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-3}$
Вольтметры постоянного тока	6.1.1.2.1.	10 мВ					
		20 мВ					
		50 мВ					
		100 мВ					
		200 мВ					
		500 мВ					
		1 В					
		1000 В					
		100 В					
		10 В					
Вольтметры постоянного тока щитовые	6.1.1.2.1.	100 мВ					
		1 В					
		10 В					
		100 В					
		1000 В					
Вольтметры импульсные	6.1.1.2.3.	10 мВ					
		20 мВ					
		50 мВ					
		100 мВ					
		200 мВ					
		500 мВ					
		1 В					
		2 В					
		5 В					
		10 В					

(цифровые показывающие приборы)

ность, %

$\frac{5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{0,01}{0,005}$	$\frac{0,02}{0,005}$	$\frac{0,05}{0,01}$	$\frac{0,1}{0,02}$	$\frac{0,2}{0,05}$	$\frac{0,5}{0,1}$	$\frac{1,0}{0,2}$	$\frac{2,0}{0,5}$	$\frac{4,0}{1,0}$
	3*		8			15			
		5			13				
1*	3*		9						
		6	10*	11*	14	16			
				12					
1*	3*	7*	10*	11*					
1*	3*	7*	10*	11					
1*	3*	7*	10*	11					
1*	3*	7*	10*	11					
				1	6*; 11*				
				2	13*; 7*; 11*	2*			
				3	13*; 8*; 11*	3*			
				4	13*; 9*; 12*	14*			
				5	10*; 10*; 12*	15*			
									13
								11	
							9		
					7	7			14
					5			12	
				3			10		
			1			8			
					6				
				4					
			2						

Наименование изделий	Позиция номенклатуры АСЭТ	Значение входной величины (конечное значение диапазона измерения)	Погреш.				
			10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-2}$
Вольтметры переменного тока	6.1.1.2.2.	10 мВ					
		20 мВ					
		50 мВ					
		100 мВ					
		200 мВ					
		500 мВ					
		1 В					
Вольтметры переменного тока щитовые	6.1.1.2.2.	1 В					
		10 В					
		50 В					
		100 В					
		200 В					
		300 В					
		500 В					
		1000 В					
Омметры	6.1.1.3.	0,001 Ом					
		0,01 Ом					
		0,1 Ом					
		1 Ом					
		10 Ом					
		100 Ом					
		1000 Ом					
		10 кОм					
		100 кОм					
		1 МОм					
		10 МОм					
		100 МОм					
		1 ГОм					
		10 ГОм					
100 ГОм							

НОСТЬ, %

$\frac{5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}}$	$\frac{0,01}{0,005}$	$\frac{0,02}{0,005}$	$\frac{0,05}{0,01}$	$\frac{0,1}{0,02}$	$\frac{0,2}{0,05}$	$\frac{0,5}{0,1}$	$\frac{1,0}{0,2}$	$\frac{2,0}{0,5}$	$\frac{4,0}{1,0}$
						9			
					7				
				5					
			3						
		2			8	10			
				6					
	1								
						1	9*		
						2	10*		
						3*; 11			
						3*; 4	12*		
						5	13		
						3*; 6	14		
						7	15		
						3*; 8	16*		
				4*					
		2	3	4*					
		2	3	4*					
		2	3	4*					
	1	2	3*	4*					
	1	2	3*	4*	5*	6*			
3*	1	2		4*	5*	6*			
3*	1	2		4*	5*				
3*	1	2		4*	5*				
3*	1	2		4*	5*				
3*	1	2		4*	5	5*			
	1				5	5*			
							5*		
							5*		
							5*		

Наименование изделий	Позиция номенклатуры АСЭТ	Значение входной величины (конечное значение диапазона измерения)	Погреш				
			10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	$2 \cdot 10^{-2}$
Измерители емкости	6.1.1.4.	0,001 пФ					
		0,01 пФ					
		0,1 пФ					
		1 пФ					
		10 пФ					
		100 пФ					
		1000 пФ					
		10 000 пФ					
		0,1 мкФ					
		1 мкФ					
		10 мкФ					
		Измерители индуктивности	6.1.1.5.	0,01 мкГн			
0,1 мкГн							
1 мкГн							
10 мкГн							
100 мкГн							
1 мГн							
10 мГн							
100 мГн							
1 Гн							
10 Гн							
100 Гн							
100 кГн					4		8
Измерители частоты, интервалов времени и числа импульсов	6.1.1.7.; 6.1.1.8.	1 МГц		3		7	
		10 МГц	1	1	5		
		100 МГц	2		6		

Наименование изделий	Позиция номенклатуры АСЭТ	Значение входной величины (конечное значение диапазона измерения)	Быстро		
			Время измерения, с		Полоса
			40·10 ⁻³	1—5	0—10*
Вольтметры постоянного тока	6.1.1.2.1.	10 мВ	4; 6		
		20 мВ			
		50 мВ	7; 9		
		100 мВ	10; 11		
		200 мВ	12; 13		
		500 мВ	14; 15		
		1 В	16		
		1000 В			
		100 В			
		10 В			
Вольтметры постоянного тока щитовые	6.1.1.2.1.	100 мВ		1; 2; 3	
		1 В		4; 5; 6	
		10 В		7; 8; 9	
		100 В		10; 11; 12	
		1000 В		13; 14; 15	
Вольтметры импульсные	6.1.1.2.3.	10 мВ			
		20 мВ			
		50 мВ			
		100 мВ			
		200 мВ			
		500 мВ			
		1 В			
		2 В			
		5 В			
		10 В			

действие частот, Гц			Выходная величина код 8—4—2—1	Примечание	
30—10*	0—5·10*	50; 500			
			1*; 2; 3*; 4	Конечное значение диапазона измерения относится к основному поддиапазону; многопредельные приборы рассчитаны на напряжение до 1000 В; модели 1 имеют подавление помех 80 дБ; модели 10 80 дБ	
			3*		
			5; 6		
			7*; 8		
			9; 10*		
			11*; 12*		
			13; 14		
			15; 15		
			1; 2; 3		
			4; 5; 6*		
			7*; 8*; 9*		
			10*; 11*; 12*		
			13*; 14; 15		
1; 2		1; 2			Длительность импульсов 100 нс — 1 мс; модели 6—11 имеют подавление помех 60 дБ
3; 4		3; 4			
5; 6		5; 6			
7; 8		7; 8			
9; 10		9; 10			
11; 12		11; 12			
13; 14		13; 14			

Наименование изделий	Позиция номенклатуры АСЭТ	Значение входной величины (конечное значение диапазона измерения)	Время измерения, с		
			Базис		
			40·10 ⁻²	1—5	0—10 ¹
Вольтметры переменного тока	6.1.1.2.2.	10 мВ			
		20 мВ			
		50 мВ			
		100 мВ			
		200 мВ			
		500 мВ			
		1 В			
Вольтметры переменного тока щитовые	6.1.1.2.2.	1 В		9*	
		10 В		10*	
		50 В		3*	
		100 В		12*	
		200 В			
		300 В			
		500 В			
1000 В					
Омметры	6.1.1.3.	0,001 Ом		1; 2	
		0,01 Ом		3*; 4*	
		0,1 Ом		5*; 6*	
		1 Ом			
		10 Ом			
		100 Ом			
		1000 Ом			
		10 кОм			
		100 кОм			
		1 МОм			
		10 МОм			
		100 МОм			
		1 ГОм			
10 ГОм					
100 ГОм					

действие			Выходная величина код 8-4-2-1	Примечание
диапоз, Гц				
30-10 ⁴	0-5·10 ³	50; 500		
1; 2			1; 2	Конечное значение диапазо- на измерения относится к основному поддиапазону; многопредельные приборы рассчитаны на напряже- ние до 1000 В
3; 4			3; 4	
5; 6			5; 6	
7; 8			7; 8	
9; 10			9; 10	
	1; 3	3; 5	1; 2	Время работы без подстрой- ки и подрегулировки: 100 ч для модели 1; 150 ч для моделей 2, 4; 8; 9; 500 ч для моделей 3; 5-7; 10-16 Однопредельные
	4; 8	6; 7	3*; 4	
	9*; 10	11	5; 6	
	12*	13	7; 8	
	16*	14	9*; 10*	
		15	11; 12*	
			13; 14	
			15; 16*	
		1; 2		
		3*; 4*		
		3*; 6*		
				Многопредельные
				Модель 6 — многоканальный прибор с числом кана- лов 127

Наименование изделия	Позиция номенклатуры АСЭТ	Значение входной величины (конечное значение диапазона измерения)	Быстрота		
			Время измерения, с		Полнота
			40·10 ⁻²	1—5	
Измерители емкости	6.1.1.4.	0,001 пФ		1; 2	
		0,01 пФ		3; 4	
		0,1 пФ		5; 6	
		1 пФ			
		10 пФ			
		100 пФ			
		1000 пФ			
		10 000 пФ			
		0,1 мкФ			
		1 мкФ			
		10 мкФ			
		Измерители индуктивности	6.1.1.5.	0,01 мкГн	
0,1 мкГн					
1 мкГн				1; 2	
10 мкГн				3; 4	
100 мкГн				5; 6	
1 мГн					
10 мГн					
100 мГн					
1 Гн					
10 Гн					
100 Гн					
100 кГн					
Измерители частоты, интервалов времени и числа импульсов	6.1.1.7.; 6.1.1.8.	1 мГц			
		10 мГц			
		100 мГц		9*; 10*	

действие			Выходная величина код 8—4—2—1	Примечание
частот, Гц				
30—10 ⁴	0—5·10 ³	50; 500		
		1; 2		Многопредельные
		3; 4		
		5; 6		
				Многопредельные
			1; 2	
			3; 4	
			5; 6	
				Многопредельные
			1; 2	
			3; 4	
			5; 6	
			7; 8 9*; 10*	

приборов для измерения вероятностных характеристик случайных процессов. Ее составляют два прибора Ф790 и Ф7016 [33]. Статистический многофункциональный преобразователь Ф790 предназначен для обычного и адаптивного аналого-цифрового преобразования постоянных и изменяющихся во времени сигналов по одному или двум каналам, а также для определения статистических характеристик стационарных эргодических случайных сигналов: автокорреляционных и взаимных корреляционных функций, одномерной функции распределения сигнала и его среднего значения. Коррелометр Ф7016 измеряет до 255 ординат автокорреляционных и взаимных корреляционных функций и средних значений эргодических стационарных и нестационарных случайных сигналов (с предварительным усреднением для нецентрированных процессов), а также осуществляет фильтрацию низкочастотных сигналов.

Оба прибора представляют результаты измерения оператору на цифровом индикаторе и одновременно выдают их в двоично-десятичном коде на разъем.

Эти приборы представляют собой первые серийные приборы в СССР для измерения вероятностных характеристик случайных процессов.

Регистрирующие устройства измерения

В состав АСЭТ I очереди вошли лабораторные и щитовые самопишущие приборы, а также двухкоординатные самописцы [33].

Щитовые самопишущие приборы серий Н392—Н398 суть приборы прямого действия с использованием записи в прямоугольной системе координат. Приборы имеют пишущее устройство с закрытым трактом подачи чернил и чернильницу с большим объемом, обеспечивающую непрерывную запись без перезарядки в течение одного месяца. Имеются щитовые самопишущие приборы типа Н332К из серии показывающих АСК, обычные и с регулированием.

Другой класс в этой подгруппе составляют быстродействующие самопишущие приборы многоканальные серии Н338/1—8 со встроенными транзисторными усилителями. Они имеют частотный диапазон до 150 Гц, а число независимых каналов записи может выбираться из ряда 1, 2, 4, 6 и 8.

**Рациональные параметрические ряды самопишущих
щитовых приборов нормального быстродействия**

Измеряемый параметр	Погрешность, %			Диапазон измерения	Габариты по наличнику, мм			Число каналов	
	1,0	1,5	2,5		120X120	100X100	480X180	1	Более 1
Постоянный ток	1					1		1	
	2				2			2	
	3				3			3	
	4			5 мА — 30 А	4			4	
	5						5		5
	6				6			6	
	7						7		7
Переменный ток	1					1		1	
	2				2			2	
	3			5 мА — 5 А			3		3
	4					4		4	
	5						5		5
	6						6		6
Напряжение постоянного тока	1				1			1	
	2					2		2	
	3			75 мВ—1000 В			3		3
	4				4			4	
	5						5		5
	6						6		6
Напряжение переменного тока	1					1		1	
	2				2			2	
	3			5 — 600 В			3		3
	4				4				4
	5						5		5

Рациональные параметрические ряды быстродействующих самопишущих приборов

Частотный диапазон, Гц				Чувствительность, мВ/см				Ширина записи, мм		Погрешность амплитудной характеристики, %			Погрешность от нелинейности амплитудной частотной характеристики, дБ		
до 10	до 60	до 100	свыше 100	5	10	20	до 100	40	80	до 2	до 3	до 4	до 1	до 2	до 3
1							1		1			1			1
2							2		2		2		2		
	3						3		3		3				3
	4				4				4		4				4
	5			5					5		5				5
	6					6			6			6			6
	7				7				7		7				7
	8			8					8		8				8
		9		9					9			9			9
		10			10				10			10			10
11							11		11		11		11		

Отдельный класс самопишущих приборов составляют двухкоординатные приборы. В АСЭТ I очереди имеется двухкоординатный самопишущий прибор планшетного типа Н306 с чувствительностью 100 мкВ/см класса 0,5.

Рациональные параметрические ряды для классов приборов данной подгруппы с указанием реализованных моделей приведены в табл. 2-7 и 2-8.

Устройства представления информации

В состав АСЭТ I очереди входят устройства индикации, алфавитно-цифровые регистрирующие устройства и графопостроители с цифровым входом [43]. Среди ин-

дикаторов имеются устройства различного типа: цифровые индикаторы с управлением на интегральных микросхемах типа Ф207 и серии цифровых и знаковых индикаторов с повышенной дальностью отсчета показаний.

Алфавитно-цифровые регистрирующие устройства представлены универсальным цифропечатающим устройством для цифровых приборов частотно-временной группы Ф5033, быстродействующим цифропечатающим устройством Щ68000К со скоростью печати 30 строк/с, быстродействующим цифровым регистрирующим устройством Н708, имеющим быстродействие 8000 знаков/с и основанным на методе формирования знаков на ЭЛТ для последующего фотографирования, и цифропечатающими устройствами с управлением —Ф253 и Ф595К [44].

Класс графопостроителей с цифровым входом представлен прибором Н710 рулонного типа, отличающимся большим числом разновидностей символов и разноцветной печатью.

Глава третья

КОНСТРУКТИВНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА АСЭТ

3-1. УНИФИЦИРОВАННЫЕ ТИПОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ АСЭТ

Конструктивная совместимость средств АСЭТ решена разработкой унифицированных конструктивных элементов, которые обеспечивают широкую унификацию и стандартизацию конструктивных решений и создание на их базе встраиваемых и автономных приборов и ИИС различных классов.

При разработке унифицированных конструктивных элементов была поставлена задача создания единой конструктивной базы, отвечающей требованиям ГСП и ГОСТ 12863-67 «Аппаратура радиоэлектронная. Основные размеры блоков», обеспечивающей возможность совместного использования с другими комплексами и позволяющей осуществлять простой переход от приборного исполнения к встраиваемому и наоборот без конструктивных переделок и вскрытия прибора [45].

Поскольку остальные агрегатные комплексы ГСП (АСВТ, КТС ЛИУС и др.) отвечают тем же требованиям, возникла возможность создать единую систему уни-

фицированных типовых конструкций (УТК), принятую в Минприборе.

Таким образом, унифицированные конструктивные элементы АСЭТ являются составной приборной частью системы УТК.

Другую часть УТК составляют общепромышленные конструктивы. Разделение УТК на две части обусловлено различием в условиях работы и назначения.

Все изделия УТК в зависимости от сложности и отношений между ними делятся на категории: нулевого, первого, второго и третьего порядков.

Номинальные размеры изделий выбраны из общих рядов, рекомендованных СЭВ, соответствуют ГОСТ 20504-75 и обеспечивают входимость изделий низших порядков в изделия высших порядков в пределах каждой части, а также взаимную входимость изделий второго порядка одной части в изделия третьего порядка другой части [46].

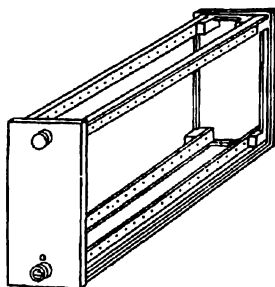
Изделия нулевого порядка (ручки, направляющие, арматура для крепления направляющих и разъемов и др.; панели откидные, откидывающиеся вниз или вправо в каркасах второго порядка; столик выдвижной; телескопические направляющие и т. д.) предназначены для комплектации приборов и устройств, выполненных на базе изделий высших порядков (табл. 3-1). Изделия первого порядка имеют приборное исполнение (автономное использование) или вставное исполнение (для установки в устройствах, выполненных на базе изделий второго порядка). Изделия второго порядка могут иметь самостоятельное эксплуатационное значение либо входить в устройства, выполненные на базе изделий третьего порядка.

Преобразование изделий первого и второго порядков из приборного исполнения во вставное и наоборот осуществляется путем установки или снятия дополнительных деталей. В изделиях третьего порядка стационарные стойки могут быть преобразованы в передвижные (и наоборот) путем установки или снятия дополнительных деталей.

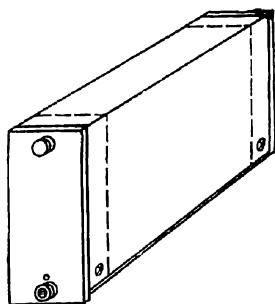
По устойчивости к воздействию окружающей среды и механическим воздействиям изделия приборной части УТК имеют обыкновенное исполнение по ГОСТ 12997-76. Каркасы могут быть устойчивы к воздействию окружа-

Унифицированные типовые конструкции АСЭТ

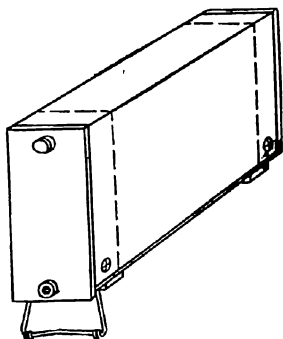
Порядок	Наименование конструкции		Внешний вид	
Первый	Каркас частичный	I тип	Базовый	Клише 1
			Вставной	Клише 2
			Приборный	Клише 3
		II тип	Базовый	Клише 4
			Вставной	Клише 5
			Приборный	Клише 6
Второй	Каркас	Базовый		Клише 7
		Комплек- сный	Вставной. Исполни- ние III	Клише 8
			Приборный	Клише 9
		Блочный	Вставной. Исполни- ние III. Вариант I	Клише 10
			То же. Вариант II	Клише 11
			Приборный	Клише 12
Третий	Стойка	Стационарная		Клише 13
		Передвижная		Клише 14
		Настольная		Клише 15



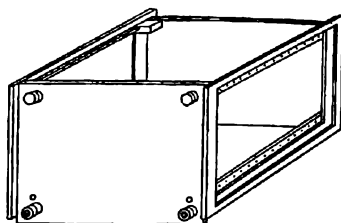
Клише 1



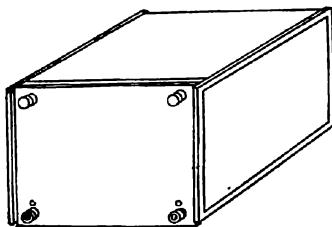
Клише 2



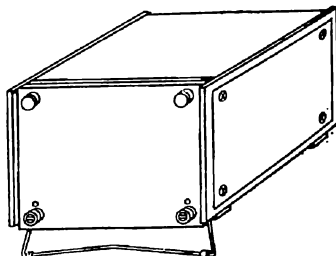
Клише 3



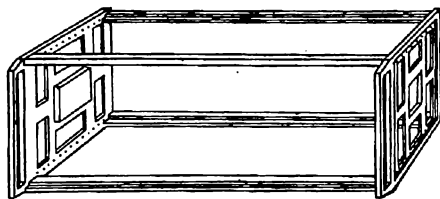
Клише 4



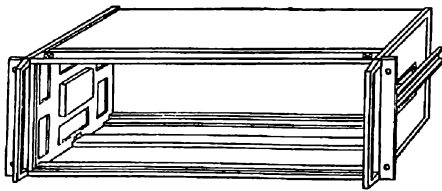
Клише 5



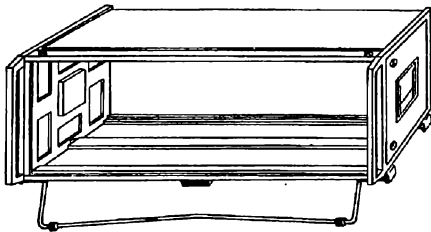
Клише 6



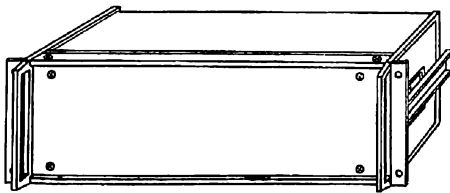
Клише 7



Клише 8



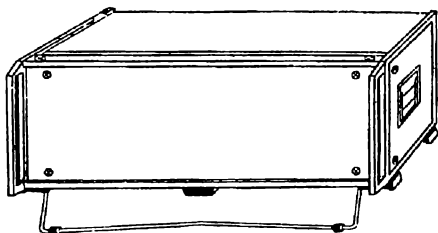
Клише 9



Клише 10



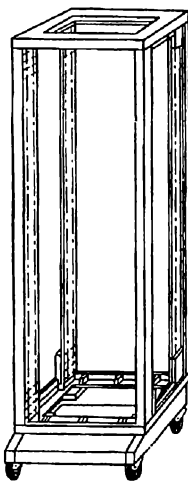
Клише 11



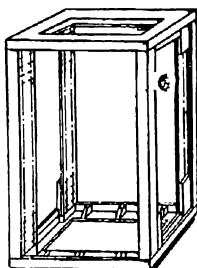
Клише 12



Клише 13



Клише 14



Клише 15

ющей среды только после нанесения соответствующих покрытий. Климатические исполнения изделий приборной части УТК указаны при описании конкретных изделий [47].

Для построения средств АСЭТ используются платы монтажные подвижные, которые предназначены для размещения, электрического объединения и подсоединения к внешним цепям микросхем, микросборок и электрорадиокомпонентов. Для электрического подсоединения к внешним цепям через штепсельные разъемы типа РГ1Н, РГП или РГО монтажные платы имеют печатную штепсельную вставку.

Размеры монтажных плат: по высоте от 115 до 235 мм, по глубине от 78 до 328 мм с шагом 40 мм в соответствии с ОСТ 25.50-71.

Монтажные подвижные платы посредством направляющих устанавливаются в частичные и блочные каркасы.

Частичные, комплектные и блочные каркасы собраны из стандартных деталей и позволяют трансформировать их из автономного (приборного) исполнения, предназначенного для настольного применения, во вставное и наоборот без переделок и вскрытия приборов, т. е. нарушения пломб (конструкция каждого типа каркаса позволяет осуществлять пломбировку), что особенно важно при агрегатировании, когда системы строятся из приборов и устройств различных поставщиков, обеспечивающих гарантийные обязательства.

Стойки (настольные, стационарные, передвижные) выполнены из стандартных деталей в виде разборных конструкций с винтовыми соединениями. Они предназначены для построения на их базе устройств и систем, состоящих, как правило, из приборов и устройств, конструктивно реализованных на блочных и (или) комплектных вставных каркасах.

В случае необходимости предусмотрена возможность сборки стоек одного типа вплотную друг к другу в ряд.

Стойки всех типов могут быть открытыми (без передней двери) и закрытыми (с передней дверью). Шаг установки каркасов по высоте кратен 40 мм.

Доступ к коммутационным элементам приборов и устройств, установленных в стойках, а также к монтажу осуществляется с задней стороны стоек. Ввод кабелей

в стойки, как правило, осуществляется через коммутационную панель.

Типоразмеры и чертежи всех указанных конструктивных элементов приведены в рекламном каталоге «ГСП УТК. Каталог изделий системы унифицированных типовых конструкций. Приборная часть» и в [46].

Изделия приборной части УТК рассчитаны на применение прогрессивных методов изготовления: литья под давлением, горячего прессования, штамповки, литья и прессования пластмасс.

Конструктивные элементы имеют высокую степень унификации — 95% при достаточно широкой номенклатуре (номенклатура шире, чем номенклатура таких известных систем конструктивных элементов, как «Надел», Hewlett Packard и др.).

В настоящее время разработана основная нормативно-техническая документация в ранге отраслевых и государственных стандартов на основные размеры УТК, шкафы и стойки, каркасы, монтажные платы, а также кожухи и приборные контейнеры.

С 1973 г. на специализированном заводе организовано централизованное серийное производство изделий приборной части УТК.

Создание единой конструктивной базы комплекса является одним из существенных факторов сокращения времени разработок средств комплекса и уменьшения их стоимости. Как показано в [48], переход на унифицированные конструктивные элементы дает сокращение продолжительности разработки на 5—8%.

3-2. МИКРОЭЛЕКТРОННАЯ ЭЛЕМЕНТАРНАЯ БАЗА АСЭТ

Рассмотренные ранее структура и состав АСЭТ показывают, что в подавляющем большинстве эти средства представляют собой электронную аппаратуру. Поэтому основные проблемы, возникающие на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации средств ЭИТ, могут быть решены только при широком использовании интегральных микросхем (ИМС).

Технико-экономические исследования, проводимые по анализу применения ИМС в электронном приборостроении [49], показали, что это обеспечивает:

повышение технического уровня приборов и устройств, улучшение в ряде случаев метрологических ха-

рактических, но особенно эксплуатационных (например, среднее время наработки на отказ увеличивается на порядок);

уменьшение объема и массы измерительной аппаратуры (в 1—5 раз);

сокращение времени разработки новой аппаратуры в 2—3 раза, так как уменьшаются сроки конструирования, используются готовые узлы и блоки, уменьшаются сроки выпуска технической документации, упрощается процесс сборки и настройки;

повышение уровня технологичности изготовления приборов за счет унификации, стандартизации;

снижение трудоемкости изготовления приборов за счет комплексного использования изделий микроэлектроники, автоматизации и механизации ряда технологических процессов и операций (трудоемкость изготовления приборов снижается в 4—5 раз);

уменьшение расхода материалов, электроэнергии (в 3—5 раз).

В ЭИТ, в частности в средствах АСЭТ, применяются как логические (цифровые), так и аналоговые микросхемы [50].

Для средств АСЭТ I очереди используются 20 серий логических ИМС, при этом наибольшее распространение имеют серия К155 малой степени интеграции, а также серии К217 и К172. Однако сравнительно большая потребляемая мощность и малая степень интеграции элементов этих серий заставляет разработчиков переходить на схемы серий К158 и К176 [51].

Для средств АСЭТ особо важное значение имеют аналоговые (линейные) ИМС, так как именно они определяют основные параметры средств АСЭТ, как средств измерений, — точность, чувствительность, быстродействие и т. д.

Функции, выполняемые аналоговыми электронными узлами, весьма многообразны (генерирование, усиление, формирование, модуляция, демодуляция сигналов различной формы и т. д.). Соответственно многообразна и номенклатура аналоговых интегральных схем: генераторы, усилители, формирователи, стабилизаторы, дискриминаторы уровня, активные фильтры и др. Наиболее широко используются такие группы, как усилители, стабилизаторы, прерыватели, ключи, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.

Предприятиями Министерства электронной промышленности выпускается и разрабатывается ряд серий по каждой из этих групп. В средствах ЭИТ находят применение:

операционные усилители серий К140, К159, К118, К122, К159, К226 и К284;

прерыватели и ключи серий К101, К122, К162 и К190; преобразователи серии К252 [51].

Однако ЭИТ и средства АСЭТ, в частности, предъявляют к аналоговым ИМС ряд специфических требований [49]:

широкая номенклатура (более 200 типов) (так, один из наиболее широких классов аналоговых ИМС операционные усилители имеют группы: общего применения, высокоточные, дифференциальные, быстродействующие, с большим входным сопротивлением, с гальванической развязкой, высоковольтные, мощные, микромощные);

сравнительно малая серийность каждого типа микросхем (10—50 тыс. шт.), в связи с чем их принято относить к категории микросхем частного применения;

весьма высокие технические параметры, практически на уровне предельно возможных для современного состояния полупроводниковой технологии и чистоты исходных материалов (например, требуются операционные и измерительные усилители с коэффициентом усиления 10^8 , дрейфом напряжения смещения $0,1 \text{ мкВ}/^\circ\text{С}$, с гальванической развязкой, с входным током на уровне наноампер).

Разработку и серийное производство ИМС частного применения обычно осуществляют министерства и ведомства-потребители. Отечественный и зарубежный опыт показал, что для таких аналоговых ИМС наиболее целесообразной и рациональной является гибридная технология, сочетающая достоинства полупроводниковой и тонко- или толстопленочной технологий. По полупроводниковой технологии формируются активные элементы (диоды и транзисторы), а также те резисторы, к точности сопротивления которых не предъявляется высоких требований. Пассивные же элементы — резисторы, конденсаторы, а также соединения между элементами — выполняются по тонкопленочной технологии на поверхности окисленного кристалла. При этом надежность и компактность активных элементов, характерные для полупроводниковых схем, сочетаются с большим диапазо-

ном возможных номиналов, точностью, а также временной и температурной стабильностью пассивных элементов, характерных для пленочных схем.

Для средств АСЭТ аналоговые ИМС частного применения разработаны и выпускаются в несколько очередей.

Первую очередь составляют собственно не микросхемы, а аналоговые функциональные элементы в модульном исполнении — микромодули серии 701. В состав первой группы этой очереди входят операционные усилители 701МЛ11, 701МЛ18 и 701МЛ19:

701МЛ11 — усилитель постоянного тока с непосредственной связью между каскадами, имеет дифференциальный вход на биполярных транзисторах с малой температурной нестабильностью входного тока;

701МЛ18 — усилитель постоянного тока с двумя каналами усиления (высокочастотным и низкочастотным, использующим метод модуляции — демодуляции с модулятором, выполненным на МОП-транзисторах) и однопроводным инвертирующим выходом;

701МЛ19 имеет дифференциальный вход на полевых транзисторах, обеспечивающих высокое входное сопротивление и малый входной ток [51, 52].

Усилители имеют защиту от перегрузки по току и короткого замыкания выхода на общую точку. Регулировка напряжения смещения производится с помощью внешнего переменного резистора.

Вторую группу в этой очереди составляют стабилизаторы напряжения 701МП21, 701МП22 и 701МП23. Значение стабилизируемого напряжения у них устанавливается внешним опорным напряжением и внутренним или внешним делителем напряжения. Стабилизатор 701МП22 имеет непосредственную связь входа и выхода по шине положительного потенциала, стабилизатор 701МП23 обеспечивает стабилизацию двух разнополярных напряжений. Все стабилизаторы при подключении внешнего мощного регулирующего транзистора могут иметь ток нагрузки до 1 А. Кроме того, в каждом стабилизаторе имеется защита от короткого замыкания выхода на общую шину [51, 52].

Третью группу функциональных элементов образуют аналоговые переключатели — 701МЛ33, 701МЛ36, 701МЛ37 и 701МЛ39:

701МЛ39 — однополюсный аналоговый переключатель с двумя направлениями коммутации, использующий в качестве переключающего элемента сдвоенный биполярный транзистор; переключатель не имеет развязки между измерительными и управляющими цепями;

701МЛ36 аналогичен переключателю 701МЛ39, но имеет одно направление коммутации; отличается развязкой между измерительной и управляющими цепями, которая обеспечивается использованием трансформаторной связи;

701МЛ37 — трехполюсный аналоговый переключатель с одним направлением коммутации, от предыдущих отличается высоким подавлением напряжения, приложенного между общей точкой и измерительными цепями;

701МЛ33 — переключатель трехполюсный с одним направлением коммутации в каждом из полюсов: два полюса замыкающие, один — размыкающий; обеспечивает построение трех различных схем переключения.

В качестве переключающих элементов использует МОП-транзисторы с изолированными затворами. Управление переключателями производится непосредственно ДТЛ- и ТТЛ-интегральными микросхемами [51, 52].

В серию микромодулей 701 входит и устройство управления коммутатором 70МК12, обеспечивающее переход от низкого уровня сигналов управления, выдаваемых логическими ИМС, к сигналам высокого уровня +10 и —20 В для управления интегральным многоканальным МОП-преобразователем типа 1КТ901 [52].

В рамках АСЭТ I очереди разработаны и освоены в серийном производстве микромодульные компараторы МК4801, МК4802 и источники опорного напряжения МП4801А и МП4801Б [52].

Микромодульные компараторы служат для определения наличия и знака разности между значениями измеряемой и известной величины, а также для фиксации момента времени, когда известная величина равна некоторому определенному значению. Источники опорного напряжения представляют собой высокостабильные компенсационные стабилизаторы напряжения постоянного тока и включают схему стабилизации усилителя постоянного тока на транзисторах, что обеспечивает защиту их от короткого замыкания на выходе.

Все вышеупомянутые микромодули I очереди микроэлектронной элементной базы АСЭТ предназначены для

эксплуатации при температуре от -10 до $+60^{\circ}\text{C}$, относительной влажности до 85% при температуре 25°C и вибрационных нагрузках в диапазоне частот $1-200$ Гц с ускорением до $5g$.

В рамках II очереди созданы аналоговые ИМС частного применения в гибридно-пленочном исполнении. В состав этой очереди входят операционные усилители К816УД1 и К816УД2, стабилизаторы напряжения К817ЕН1 и К817ЕН2, переключатель опорных напряжений К814КН1 и устройство управления переключателем опорных напряжений К816КН1 [51, 52].

Операционные усилители отличаются высокими значениями коэффициента усиления (до $4,2 \cdot 10^5$ в полосе частот до 3 МГц), входного сопротивления (до 10^9 Ом), коэффициента ослабления синфазных входных напряжений (до 80 дБ) и малыми значениями входных токов ($0,1$ нА) и температурного дрейфа. Усилители имеют возможность внутренней балансировки, а также защиту от короткого замыкания выхода на общую шину и любой полюс источника питания.

Стабилизаторы напряжения К817ЕН1 и К817ЕН2 обеспечивают стабилизацию напряжения положительной и отрицательной полярности при номинальном токе нагрузки до 50 мА, а с использованием внешнего навесного резистора — до 200 мА. При подключении к микросхеме внешнего транзистора нагрузка может быть увеличена до 2 А и более. Стабилизаторы имеют внутреннюю защиту от перегрузок и коротких замыканий. Схема защиты обеспечивает автоматический возврат стабилизатора в рабочее состояние после снятия перегрузки или короткого замыкания. В микросхемах предусмотрена также возможность плавной регулировки выходного напряжения в диапазоне $7-25$ В.

Переключатель К814КН1 предназначен для переключения опорных напряжений в четырех разрядах преобразователя код—напряжение. Ячейка переключателя универсальна, т. е. может применяться в 8-, 10- и 12-разрядных преобразователях с диапазоном напряжений $0 \div -10$ В, $0 \div +10$ В, $-5 \div +5$ В. При необходимости диапазон преобразуемых напряжений может быть расширен до 15 В. Переключающий элемент одного разряда выполнен на комплементарной паре биполярных транзисторов. Конструктивно же ячейка переключателя выполнена симметрично, что позволяет использовать ее

для старших и младших разрядов преобразователя. Устройство управления переключателем опорных напряжений К816КН1 предназначена для преобразования входных сигналов, поступающих от логических элементов, в ток положительной или отрицательной полярности, необходимый для управления четырехразрядным переключателем опорных напряжений К814КН1.

Микросхемы II очереди предназначены для эксплуатации при температуре $-10 \div +70^\circ\text{C}$, относительной влажности 98% при температуре 25°C и вибрационных нагрузках в диапазоне частот 1—600 Гц с ускорением 10g.

Большое значение для средств АСЭТ имеет разработка и освоение в серийном производстве современных резистивных элементов. Создание их идет на основе различных видов технологии: тонкопленочной, микропроводной и печатной в зависимости от номиналов, диапазона изменения, точности, температурного коэффициента отношений сопротивлений, частотного диапазона, рабочих температур и т. д.

К микроэлектронным элементам можно отнести резисторы и мультирезисторы, выполненные по тонкопленочной технологии. Мультирезисторы — развивающийся класс резистивных элементов: входные и опорные делители напряжения, специальные мосты и полумосты, декады резисторов и другие, удовлетворяющие высоким и постоянно растущим требованиям к точности и стабильности отношений сопротивлений.

В IX пятилетке освоено в серийном производстве 12 типов двоичных и двоично-десятичных делителей напряжения в тонкопленочном исполнении, имеющих погрешность 0,02% за 2000 ч.

В средствах АСЭТ нашли применение микропроводные и печатные резисторы, охватывающие соответственно области высокоомных и низкоомных значений номиналов сопротивлений. Серийно выпускаются 18 типов малогабаритных микропроводных резисторов с номиналами в диапазоне 1 кОм — 500 МОм с точностью подгонки от 5 до 0,01%, набор миниатюрных прецизионных резисторов сопротивлением от 1 до 1000 кОм при погрешности отношения 0,002% и пять типов печатных резисторов с сопротивлениями 1 Ом — 10 кОм и точностью подгонки от 5 до 0,02%.

Специализированное производство мультрезисторов из микропровода позволило иметь входные делители напряжения типов ДНМ-3, ДНМ-9, ДНМ-7 классов точности от 0,02 до 0,001. Общее сопротивление делителей составляет 1 или 10 МОм, коэффициенты деления 10, 100, 1000, температурный коэффициент отношения сопротивлений $TKO = (5-1) 10^{-6} K^{-1}$, рабочее напряжение 500 — 2000 В.

Выпускаются опорные делители напряжения типов СЭС-10, СЭС-16 трех классов точности от 0,1 до 0,005, номинальное сопротивление основного резистора 1 — 500 кОм, код двоичный или двоично-десятичный, $TKO = (2-30) 10^{-6} K^{-1}$, рабочее напряжение 1—100 В [53]. Имеются высокоомные делители напряжения постоянного тока ДНМ-8 с общим сопротивлением 100 МОм и коэффициентами деления 10, 100, 1000 и 10 000 и входные делители переменного тока типов ДНМЧ-2 (1—1000 кОм) и ДНМЧ-4 (1, 10, 100 МОм) с коэффициентами деления также 10, 100, 1000, 10 000 в частотном диапазоне до 100 кГц и частотной погрешностью 0,1% [54].

В настоящее время разработано и освоено в производстве 14 типов фольговых мультрезисторов. Так, например, выпускаются печатные полумосты типа ППР11 класса точности 0,002 [53]. Диапазон номинальных сопротивлений 50 — 1000 Ом, $TKO = (2-3) \cdot 10^{-6} K^{-1}$. Разработаны и освоены в производстве опорные делители напряжения ПДД классов точности 0,005 — 0,002 (точность подгонки отношения 0,0005%), номинальное сопротивление основного резистора 10—25 кОм, $TKO = (1-2) 10^{-6} K^{-1}$, годовая нестабильность отношения 0,001% [53].

В серийном производстве появился ряд прецизионных малогабаритных пассивных *RC*-фильтров из коаксиального микропровода, имеющих резонансные частоты от 1 Гц до 25 кГц по ГОСТ 12090-66 и погрешность резонансной частоты 0,1%. Разработаны также инфранизкочастотные *RC*-фильтры из танталового микропровода с резонансными частотами от 0,001 до 1 Гц [55, 56].

Необходимыми элементами для развития измерительной аппаратуры на переменном токе являются разрабатываемые сейчас в микросхемном исполнении дифференциальный полупроводниковый термопреобразователь ДТП-480 для частотного диапазона 20 Гц — 200 кГц и

фольговые терморезистивные преобразователи с погрешностью 0,1% в том же частотном диапазоне, с коэффициентом преобразования 2 кОм/Вт и неидентичностью коэффициента преобразования 0,1% [57].

Приведенный краткий обзор основных элементов, используемых в средствах АСЭТ, показывает достигнутое в последней пятилетке при создании элементной базы агрегатного комплекса. Однако отмеченные выше темпы развития ЭИТ предъявляют более высокие требования к элементам средств и приборов и необходимости опережающего развития.

Глава четвертая

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АСЭТ

4-1. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

Широкая номенклатура выпускаемых и разрабатываемых средств ЭИТ и прежде всего АСЭТ вызывает необходимость проведения большого объема работ по метрологическому обеспечению при разработке, производстве и эксплуатации средств ЭИТ, т. е. для обеспечения различного рода испытаний, контроля и поверок. Именно с развитием метрологического обеспечения тесно связаны вопросы качества средств АСЭТ.

В метрологическое обеспечение входят:

вопросы теоретической метрологии, связанные с расчетом, поверкой и контролем метрологических характеристик и проведением испытаний средств измерений;

средства измерений для проведения контроля и поверки метрологических характеристик и испытаний средств измерений, т. е. система эталонов, аттестованных образцовых средств и апробированных методов поверки;

нормативные документы (ГОСТ, ОСТ, РТМ и методические указания), определяющие процедуры расчета, контроля и поверки метрологических характеристик и испытаний средств измерений и позволяющие на практике осуществлять единство измерений и единообразие средств измерений;

система организационно-технических мероприятий по обеспечению единства измерений.

В настоящей главе рассматривается состояние работ, проводимых по метрологическому обеспечению средств ЭИТ, в том числе АСЭТ, для двух категорий средств измерений: отдельных средств измерений и ИИС.

4-2. ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Значительным достижением является разработка и внедрение ГОСТ 8.009-72, устанавливающего комплекс характеристик средств измерений в статике и динамике с учетом внешних влияющих факторов, из числа которых для конкретных средств измерений должны выбираться наборы нормируемых метрологических характеристик. Основным условием такого выбора является обеспечение возможности расчета погрешностей результатов измерений.

Для первой категории средств измерений, т. е. отдельных средств, к настоящему времени во ВНИИЭП совместно с ВНИИМС решен комплекс методологических вопросов метрологического обеспечения в развитие ГОСТ 8.009-72, что нашло свое отражение в разработке и экспериментальной проверке соответствующих методик, которые законодательно закреплены в отраслевых нормативных документах, а именно группе из шести руководящих технических материалов (РТМ) [58].

Эти РТМ распространяются на все виды одноканальных средств измерений (с одним входом и одним выходом), которые подразделяются на два вида:

аналоговые средства измерений, характеристики погрешности которых определяются путем обработки значений погрешности, получаемых в процессе эксперимента (стрелочные приборы, линейные и нелинейные измерительные преобразователи, самопишущие регистрирующие приборы и другие средства измерений, имеющие аналоговый выход);

цифровые средства измерений, характеристики погрешности которых определяются путем обработки частотей возможных показаний (цифровые измерительные приборы, линейные и нелинейные АЦП и т. д.).

Указанные РТМ рассматривают вопросы составления частных методик определения погрешности средств измерений перечисленных выше групп в статике, динамике и с учетом внешних влияющих факторов, а также методик контроля этих метрологических характеристик.

РТМ 25.159-74 «Методика определения характеристик погрешности средств измерений в нормальных условиях» распространяется на документацию, регламентирующую методы определения в нормальных условиях характеристик погрешности аналоговых, аналого-цифровых и цифро-аналоговых средств измерений, для которых стандартами на группы или виды изделий предусмотрено нормирование метрологических характеристик в соответствии с ГОСТ 8.009-72, но не распространяется на средства измерений, для которых нормируется предел допускаемого значения суммарной погрешности средств измерений данного типа без указания ее математического ожидания и среднего квадратического отклонения или границ интервала, в котором лежит заданная доля погрешностей.

В РТМ устанавливается общая последовательность составления и отработки частных методик определения характеристик погрешности средств измерений, включающая следующие основные этапы работы:

- проведение подготовки к исследованию характеристик погрешности средств измерений;

- составление предварительного варианта методики исследования;

- проведение экспериментов с целью уточнения модели погрешности и отработки предварительного варианта методики;

- составление рабочего варианта методики на базе предварительного варианта, уточненного по результатам экспериментов.

РТМ 25.191-75 «Средства измерения и автоматизации ГСП. Определение динамических характеристик» распространяется на документацию, регламентирующую методы определения динамических характеристик аналоговых средств измерений и автоматизации ГСП, динамические характеристики которых могут быть описаны функциями или дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Данный РТМ является основой при составлении частных методик определения типовых и индивидуальных динамических характеристик конкретных аналоговых изделий ГСП при фиксированных внешних условиях (нормальные условия). Частные методики могут преследовать следующие цели:

- получение исходных данных для установления числовых значений норм на динамические характеристики;

экспериментальное определение динамических характеристик и интервалов их разброса при индивидуальном исследовании изделий;

экспериментальное определение динамических характеристик и интервалов их разброса при исследовании изделий ГСП одного типа.

В самих РТМ рассматриваются методы определения частных и полных динамических характеристик изделий ГСП и интервалов разброса для них, учитывающие как погрешности определения динамических характеристик, так и разброс их на множестве экземпляров изделий ГСП данного типа.

Общая последовательность составления и отработки частных методик определения динамических характеристик изделий включает основные этапы, аналогичные РТМ 25.159-74.

РТМ 25.193-75 «Средства измерений ГСП. Определение характеристик погрешности, отражающих действие влияющих величин» распространяется на документацию, регламентирующую методы определения характеристик погрешности, отражающих действие влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала на метрологические характеристики средства измерений ГСП. Он является основой для составления частных методик определения характеристик погрешности, отражающих действие влияющих факторов на метрологические характеристики конкретных средств измерений — изделий ГСП. Частные методики могут преследовать следующие цели:

выбор способа выражения метрологических характеристик, подлежащих нормированию или экспериментальному определению при индивидуальном исследовании изделий ГСП;

получение исходных данных для установления числовых значений норм на эти характеристики;

экспериментальное определение характеристик погрешности, отражающих действие влияющих факторов при индивидуальном исследовании изделий ГСП и других конкретных исследованиях.

В самом РТМ рассматриваются методы определения функции влияния, наибольших изменений метрологических характеристик изделий ГСП при изменении влияющих факторов в рабочей области значений, характери-

стик погрешности в диапазоне изменения влияющих факторов.

Разработка частных методик для конкретных групп средств АСЭТ может потребовать дополнительной проработки, которая проводится в соответствии с вышерассмотренными руководящими материалами и предназначается для:

конкретизации перечня соответственно статических характеристик погрешности, динамических характеристик, а также характеристик погрешности, отражающих действия влияющих факторов, определяемых расчетным путем или путем обработки результатов экспериментальных исследований;

выбора структурных схем экспериментов;

конкретизации требований к аппаратуре для исследований;

определения условий проведения эксперимента;

выбора исследуемых точек в диапазоне измерения (преобразования) и диапазона изменения влияющих факторов;

определения конкретных алгоритмов статической обработки результатов эксперимента.

Вторая часть рассматриваемой группы РТМ посвящена общим вопросам составления и отработки частных методик контроля упомянутых выше видов метрологических характеристик для тех же групп одноканальных средств измерений.

РТМ 25.160-74 «Методика контроля характеристик погрешности средств измерений в нормальных условиях» предназначен для использования при разработке методик для:

контроля характеристик погрешности средств измерений данного типа при государственных приемочных и контрольных испытаниях, заводских типовых и периодических испытаниях, а также других видах испытаний, в процессе которых проверяется соответствие типовых характеристик погрешности тем нормам, которые для них установлены;

контроля характеристик погрешности отдельных экземпляров средств измерений при первичной поверке, а также всех испытаний, в процессе которых проверяется соответствие характеристик погрешности поверяемых средств измерений тем нормам, которые для них установлены.

РТМ 25.192-75 «Методика контроля динамических характеристик изделий ГСП» распространяется на документацию, регламентирующую методы контроля динамических характеристик аналоговых средств измерений и автоматизации ГСП, динамические характеристики которых могут быть описаны функциями или дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Данный РТМ является основой при составлении частных методик контроля типовых и индивидуальных динамических характеристик конкретных аналоговых изделий ГСП при фиксированных (нормальных) внешних условиях. В нем рассмотрены:

способы контроля частных динамических характеристик;

упрощенные способы контроля полных динамических характеристик посредством контроля частных характеристик при условии, что из положительного (отрицательного) результата контроля частных характеристик обязательно следует соответствие (несоответствие) нормам полных динамических характеристик;

способы контроля полных динамических характеристик.

РТМ 25.194-75 «Средства измерений ГСП. Контроль характеристик погрешности, отражающих действие влияющих величин» предназначен для использования при разработке частных методик контроля характеристик погрешности, отражающих действие влияющих факторов при всех видах испытаний средств измерений ГСП, в процессе которых проверяется соответствие этих характеристик тем нормам, которые для них установлены. В этом руководящем материале изложены методы контроля следующих характеристик погрешности, отражающих действие влияющих факторов:

характеристик погрешности $\Delta(\xi)$ изделий ГСП в интервале влияющего фактора;

наибольших допускаемых изменений метрологических характеристик изделий ГСП, вызванных изменениями влияющих факторов $\Delta l(\xi)$;

функции влияния $\psi(\xi)$.

Во всех перечисленных выше РТМ по методикам контроля характеристик средств измерений в нормальных условиях, динамических характеристик и с учетом действия влияющих факторов рассматриваются вопросы, заключающиеся в:

конкретизации перечня контролируемых метрологических характеристик;

выборе структурных схем экспериментов;

конкретизации требований к средствам контроля (поверки);

определении условий проведения контроля (поверки);

выборе контролируемых (поверяемых) точек в диапазоне измерения и диапазоне изменения влияющих факторов;

определении конкретных алгоритмов статистической обработки результатов контроля характеристик;

оформлении результатов контроля.

В связи с быстрым развитием в последние годы аппаратуры для измерения вероятностных характеристик случайных процессов разработан РТМ 15.139-74 «Методы нормирования метрологических характеристик, оценки и контроля характеристик погрешностей средств статистических измерений», который предназначен как для автономных средств, так и для средств, используемых совместно с другими средствами измерений. Он распространяется на:

измерители математического ожидания, дисперсии, среднего квадратического отклонения и других моментов одномерного распределения;

коррелометры;

измерители интегрального и дифференциального закона распределения вероятностей;

анализаторы спектра мощности;

прецизионные генераторы шума (случайных процессов) и другие средства, предназначенные для использования при измерении вероятностных (статистических) характеристик (параметров) стационарных случайных процессов (или однородных генеральных совокупностей).

Особое значение в последнее время приобретает разработка теоретических вопросов метрологического обеспечения и создание соответствующих нормативно-технических документов для второй категории средств измерений, т. е. ИИС. Это прежде всего касается:

выбора и нормирования метрологических характеристик ИИС в целом, в том числе построенных по агрегатному принципу, т. е. из унифицированных функциональных блоков;

методов расчета результирующих оценок метрологических характеристик измерительного канала по принятым для отдельных блоков нормированным метрологическим характеристикам, в том числе с учетом влияния внешних факторов;

методов минимизации результирующей погрешности измерительного канала, построенного из унифицированных блоков с принятыми нормированными метрологическими характеристиками при заданных ограничениях (по стоимости, сложности, быстродействию, надежности и т. п.);

методов определения эффективности многоканальных ИИС по обобщенным показателям.

Сейчас развиваются два направления определения метрологических характеристик ИИС: экспериментальное, основанное на проверке готовой системы в целом, и расчетное.

В рамках первого направления разработан РТМ 25.144-74. «Измерительные информационные системы для автоматизации и исследования технологических процессов. Нормируемые метрологические характеристики. Методы и средства экспериментального определения».

Руководящий материал устанавливает общие положения, касающиеся:

видов испытаний при единичном и серийном производстве (государственных приемочных, государственных контрольных, приемочных межведомственных или ведомственных, типовых периодических и приемо-сдаточных), проводимых на заводе-изготовителе, на месте сборки, монтажа и наладки, а также в процессе эксплуатации;

условий эксплуатации (температуры воздуха, напряжения питающей сети, помех нормального и общего вида промышленной частоты в линиях связи с датчиками, напряженности внешнего магнитного поля, вибрации и др).

Указанный РТМ устанавливает метрологические характеристики:

для измерительного канала в целом или для каждого звена измерительного канала в отдельности;

для каждого типа измерительного канала (звена);

для группы измерительных каналов (звеньев), объединенных по признаку влияния одного измерительного

канала (звена) на другой или по признаку взаимной связи их метрологических характеристик.

Кроме того, в нем изложены и методы экспериментального определения этих метрологических характеристик с учетом цели метрологических испытаний, принципа измерения (аналоговый или цифровой), уровня случайной составляющей погрешности, а также наличия вариации, скачков погрешности при плавном изменении измеряемого сигнала, действующей функции самоконтроля измерительных трактов и ряда других факторов.

Рассмотренный РТМ удобен для практического применения, ибо в нем приведен перечень средств, необходимых для экспериментального определения метрологических характеристик по всем основным группам: образцовым мерам, приборам, имитаторам (генераторам) входных сигналов, приборам для контроля условий метрологических испытаний и приборам и устройствам для задания условий метрологических испытаний, а также методические указания по выбору и применению образцовых средств.

Развитие агрегатирования в приборостроении требует перехода к более перспективному направлению в определении метрологических характеристик ИИС — расчетному.

Унифицированные методы расчетов метрологических характеристик ИИС дадут возможность реализовать наиболее полно преимущества агрегатирования, поскольку они позволяют на этапе проектирования агрегатных систем производить анализ и синтез систем с характеристиками погрешности измерения, заданными в техническом задании на систему, не прибегая к макетированию, а на этапах изготовления, выпуска из производства, эксплуатации ИИС осуществлять поэлементную поверку системы.

Достоинства поэлементной поверки систем состоят в следующем:

при агрегатировании каждый блок выпускается в соответствии с техническими условиями на этот блок и испытывается по ним, а следовательно, применим в других случаях использования;

контроль метрологических характеристик систем можно осуществлять расчетным методом по утвержденной методике, что особенно важно, когда система поставляется на объект различными предприятиями, спе-

специализирующимися на изготовлении отдельных блоков или подсистем данной системы;

при замене старых блоков эксплуатируемой агрегатной системы на вновь разработанные или модернизированные не требуется испытания системы целиком, что необходимо по существующим нормативно-техническим документам при поверке системы в целом;

во время регламентных испытаний эксплуатируемую систему не требуется отключать от объекта (что требуется иногда остановки объекта), поскольку вместо взятого на поверку блока можно в систему тут же поставить аналогичный, заранее подготовленный блок с близкими метрологическими характеристиками.

Развитием этого направления в определении и контроле метрологических характеристик систем являются разработанный РТМ 25.161-74 «Расчет характеристик погрешности линейной аналоговой, аналого-дискретной и аналого-цифровой измерительных систем», предназначенный для расчета характеристик погрешности измерительных систем по метрологическим (индивидуальным и типовым) характеристикам составляющих блоков. Данный РТМ позволяет для определенной структуры измерительной системы:

получить зависимость математического ожидания $m_{\Delta c}$ (систематической составляющей) и дисперсии $\sigma_{\Delta c}^2$ (случайной составляющей) погрешности системы от характеристик и диапазонов допустимых значений измеряемой величины, метрологических характеристик блоков и влияющих величин;

рассчитать $m_{\Delta c}$ и $\sigma_{\Delta c}^2$ для конкретных значений характеристик измеряемой величины, блоков и влияющих величин;

определить наибольшее (наименьшее) значение $m_{\Delta c}$ и $\sigma_{\Delta c}^2$ для заданных диапазонов возможных значений характеристик сигнала, блоков и влияющих величин.

Этот РТМ апробирован и получены первые результаты. Так, во ВНИИЭП методика применялась для определения погрешности измерения диагностических параметров измерительными каналами системы К736, в частности была просчитана погрешность канала измерения максимального давления впрыска топлива. В НПО «Импульс», г. Северодонецк был выполнен расчет харак-

теристик точности измерительного канала устройства связи с объектом управляющего вычислительного комплекса на базе процессора М-6000 АСВТ-М [59]. В состав измерительного канала входят: блок нормализации, осуществляющий преобразование сигнала от объекта в электрический сигнал, усилитель сигналов низкого уровня и аналого-цифровой преобразователь, представляющие собой агрегатные блоки АСВТ. В НПО «Лентеплоприбор» исследования подобного типа проводились на устройствах и средствах АСКР-ЭЦ I очереди: измерительных каналах установки А701-06, модулях коммутации сигналов низкого уровня МА09-006, блоках нормализации сигналов постоянного тока БА02-004, блоках линейризации БА08-001, блоках коммутации сигналов высокого уровня БА09-005, блоках аналого-цифрового преобразования БА13-001 [60, 61]. Аналогичные расчеты проводились и в ряде других организаций.

В каждом из упомянутых случаев результаты расчетов сравнивались с значениями соответствующих характеристик, полученных экспериментальным путем. Анализ сравнения показывает, что расчеты дают достаточно точные результаты, позволяющие считать возможным метод поэлементной проверки систем на основе разработанных методов описания метрологических характеристик средств измерения, ИИС и методов расчета метрологических характеристик ИИС.

Некоторые различия между результатами эксперимента и расчета объясняются не только статистическими методами расчета, но и тем, что не учитывается ряд факторов, влияющих на поведение каждого средства измерения в условиях его работы в ИИС (корреляционные зависимости между каналами, наводки и т. д.).

В связи с вышесказанным требуется дальнейшая работа по уточнению методов и принципов определения метрологических характеристик ИИС по метрологическим характеристикам средств, входящих в них.

Следует остановиться и на некоторых организационных мероприятиях, необходимых для внедрения расчетных методов определения метрологических характеристик систем. Так, в частности, необходимо создание системы стандартов и других нормативных документов (например, типовых программ испытаний), законодательно закрепляющих принципы расчета метрологических характеристик ИИС. Необходимо также разработать

предложения по процедуре внесения в Госреестр и назначения цены на агрегируемые системы, компоновка которых производится проектным путем на основе расчетных методов из отдельных аттестованных блоков по заказу потребителя. Эта же проблема возникает при модернизации или замене на более совершенные отдельных блоков системы.

4.3. АППАРАТУРА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

ГОСТ 8.001-71 «Государственная система обеспечения единства измерений. Организация и порядок государственных испытаний средств измерений» требует от разработчиков и изготовителей средств измерений обязательного обеспечения разработок методами и средствами поверки как при их производстве, так и при эксплуатации.

Как указывалось во введении, развитие средств ЭИТ, в частности средств АСЭТ, идет весьма большими темпами. Возрастают точности измерения, чувствительность измерительных средств, их быстродействие, расширяются диапазоны измерения электрических и магнитных величин, диапазоны частот и т. д.

В связи с этим резко возрастают трудности проведения поверки средств измерения, т. е. определения их погрешности и установления пригодности к применению. Ведь поверка (в соответствии с ГОСТ 16263-70 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения») осуществляется с помощью средств поверки (образцовых средств измерений) при выбранном методе поверки, т. е. методе передачи размера единицы от вышестоящих в поверочной схеме средств измерений нижестоящим.

В настоящее время и ЭИТ преобладают экспериментальные методы поверки, следовательно, требования к метрологической аппаратуре — образцовым средствам измерения существенно возрастают.

Следует сразу отметить, что в некоторых случаях требования точности, широты диапазона измеряемых величин, частотного диапазона и т. д. настолько велики, что разработка соответствующих образцовых средств становится неразрешимой на сегодняшний день научно-технической проблемой. Это обуславливает необходи-

мость внедрения в практику расчетных и экспериментально-расчетных методов поверки.

В качестве образцового средства измерения могут использоваться: однозначная и многозначная меры, измерительный преобразователь, измерительный прибор, измерительная установка и измерительная система.

К образцовым средствам измерения предъявляется одно общее требование — независимо от метода и схемы поверки соотношение точности поверяемых и образцовых средств должно обеспечивать определенное качество метрологических испытаний.

Для всех групп средств АСЭТ действующими стандартами (ГОСТ 2221-76, ГОСТ 8711-78, ГОСТ 7590-78, ГОСТ 23706-79, ГОСТ 9999-74, ГОСТ 12997-76, ГОСТ 9781-78 и др.) установлено соотношение погрешностей поверяемых и образцовых средств измерений в интервале $1:5 \div 1:3$. Иногда допускается применение образцовых средств измерений с погрешностью, большей, чем требуется, но в этом случае необходимо введение поправок в показания образцового средства измерения.

Необходимым условием единства мер и единиц измерений является связь с эталоном. Для обеспечения правильной передачи единиц измерения служат поверочные схемы, устанавливающие соподчинение эталонов и образцовых средств измерений, а также порядок и точность передачи единиц измерения от эталонов образцовым средствам, а от них — рабочим средствам измерений. Таким образом, средства метрологического обеспечения представляют собой среднее звено поверочных схем — это образцовые средства первого и второго разрядов.

Надо отметить, что в последнее время при создании средств метрологического обеспечения все больше учитываются разнообразие измеряемых величин, конструктивные и эксплуатационные особенности поверяемых средств. Именно поэтому все средства ЭИТ с точки зрения создания средств метрологического обеспечения стали делиться на три группы [62]:

автономные средства измерения, поверяемые классическими методами и стационарными образцовыми средствами;

средства электрических измерений, встроенные в стационарную или труднодоступную для поверителя

аппаратуру, требующие создания транспортабельных образцовых средств и в ряде случаев системы дистанционной поверки;

измерительные комплексы и системы управления, элементами которых являются различного рода средства измерения или преобразования электрических величин, которые требуют специальных методов и образцовых средств, обеспечивающих правильность и точность работы таких систем.

Особо следует выделить задачу автоматизации поверочных работ и создания соответствующей метрологической аппаратуры, которая за последние 5 лет стала весьма актуальной. Это связано с значительным увеличением количества и изменением качества метрологических работ при создании средств измерений, что объясняется расширением номенклатуры средств измерительной техники, появлением сложных многофункциональных быстродействующих приборов и систем высокой точности, увеличением выпуска средств измерений и введением в практику более сложных метрологических характеристик, присущих статистическим методам нормирования.

Остановимся на современном состоянии средств метрологического обеспечения по основным направлениям в соответствии с энергетическими величинами, параметрами электрических цепей и характеристиками магнитных полей и материалов, для измерения которых предназначены средства АСЭТ.

Напряжение постоянного тока

Наивысшая точность измерения напряжения постоянного тока $\pm 0,0005\%$ достигнута в диапазоне 1—2 В с помощью потенциометра Р332 и $\pm 0,001\%$ в диапазоне 1 мВ — 20 В с помощью потенциометра Р379, выполненного на печатных резисторах. Расширение диапазонов измерения на постоянном токе обеспечивается использованием масштабных преобразователей — высокоточных делителей напряжения и прецизионных измерительных усилителей. Так, делитель напряжения постоянного тока Р342 с погрешностью $\pm 0,0005\%$ позволяет расширить диапазон измерения потенциометров до 200 В, делитель напряжения Р313 с погрешностью $\pm 0,001\%$ — до 600 В, а делители напряжения Р35 и Р313 с погрешностью $\pm 0,005\%$ — до 1000 В [63].

Погрешность потенциометров характеризует лишь погрешность сравнения двух напряжений без учета погрешности меры ЭДС, в частности нормального элемента. Поэтому для повышения точности измерений напряжения постоянного тока необходимо, кроме повышения точности приборов и масштабных преобразователей, повышение точности и стабильности мер ЭДС и напряжения.

Лучшие нормальные элементы, выпускаемые отечественной промышленностью, имеют класс точности 0,001 (Х482). Созданы и термостатированные нормальные элементы (Х487), обеспечивающие работу в расширенном диапазоне температур [63].

Большое значение в последнее время приобретают многозначные меры-калибраторы, позволяющие достигнуть высокой производительности при поверке высокоточных аналоговых и цифровых вольтметров. Высокие технические характеристики имеет калибратор напряжения постоянного тока Ф7010К, обеспечивающий воспроизведение напряжения с погрешностью $\pm (0,002 - 0,003) \%$ в пределах от 10 мкВ до 100 В [64]. Разработка калибраторов с цифровым дистанционным управлением (с цифровым входным сигналом) позволяет автоматизировать процесс поверки цифровых вольтметров. По своим функциям калибраторы с цифровым управлением уже совпадают с цифро-аналоговыми преобразователями. Примером может служить программируемый источник калиброванных напряжений Ф7046, имеющий в диапазоне 0,1—1000 В погрешность 0,003—0,005% и стабильность 0,003% за 24 ч [65].

В значительной степени метрологические задачи при измерении напряжения постоянного тока решает цифровой вольтметр высшей точности Щ1611, имеющий погрешность, %,

$\pm \left[0,0025 + 0,001 \left(\frac{U_k}{U} - 1 \right) \right]$ на 100 мВ и 1 В, и Щ1516 с погрешностью, ‰,

$\pm \left[0,015 + 0,005 \left(\frac{U_k}{U} - 1 \right) \right]$ в диапазоне 1—1000 В [30, 63],

где U_k — конечное значение диапазона измерения напряжения; U — значение измеряемого напряжения.

Постоянный ток

Потенциометры постоянного тока в сочетании с мерами ЭДС (напряжения) и электрического сопротивления служат основой для создания средств для точных измерений постоянного тока. Для расширения диапазонов измерения служат опять же масштабные преобразователи.

Поскольку для измерения тока используются те же средства, что и для измерения напряжения, но в сочетании с мерами электрического сопротивления, то предельные погрешности при измерении постоянного тока больше, чем при измерении напряжения. Так, наивысший достигнутый в стране уровень по точности определяется погрешностью $\pm 0,01\%$ в диапазоне от 0,5 мкА до 30 А (потенциометрическая установка У355) [63]. В течение последних лет созданы образцовые меры малого тока 10^{-9} — 10^{-15} А и методы их аттестации.

Напряжение переменного тока

Точные измерения на переменном токе весьма трудно осуществлять. Для метрологического обеспечения средств измерений переменного тока внедрены в серийное производство универсальная установка (У3551) для поверки амперметров, вольтметров, ваттметров, фазометров при частотах до 20 кГц, напряжениях до 600 В и установка для поверки микроамперметров и милливольтметров при частотах до 200 кГц [62]. Для поверки цифровых приборов разработана установка ЛУК-1 с применением термоэлектрического компаратора и индуктивного делителя до 1000 В при частотах до 20 кГц [62]. Наивысшая точность измерения напряжения переменного тока достигнута в разработанном преобразователе действующего значения переменного тока Ф7290, имеющем погрешность $\pm 0,01\%$ в диапазоне 10—600 В при частотах до 50 кГц [62]. Аналогичную точность в диапазонах 0,5—3 В при частотах до 1000 кГц и в диапазоне 5—30 В при частотах до 20 кГц имеет преобразователь ПНТЭ-6 [63].

Расширение диапазонов измерения в сторону малых значений обеспечивает разрабатываемый усилитель переменного тока Ф7291 с погрешностью $\pm (0,01—0,02)\%$ для частот до 20 кГц, а в сторону больших значений — индуктивный делитель напряжения переменного тока

с погрешностью $\pm 1(10^{-3}-2) \%$ для частот 20 Гц—200 кГц [63].

Существующие и разрабатываемые точные измерители напряжения переменного тока построены на преобразовании переменного тока в постоянный с использованием метода компарирования. Компарирующие преобразователи перспективны и для создания многозначных мер напряжения переменного тока — калибраторов.

Переменный ток

Наивысшая точность измерения переменного тока определяется погрешностью $\pm 0,02\%$ в пределах от 20 мА до 25 А при частоте до 2,5 кГц, которая реализуется в установке У3551, и погрешностью $\pm 0,01\%$ в диапазоне 5—50 кА при частоте 50 Гц [63].

В последнее время большое внимание уделяется разработке цифровых приборов для измерения действующего значения тока и напряжения, особенно в цепях переменного тока с искаженной формой кривой, так как практически во всех электрических цепях имеются искажения формы кривой переменного тока по сравнению с синусоидальной. Наиболее высокие метрологические характеристики получаются в цифровых приборах переменного тока, основанных на методе сравнения с использованием электростатических, термоэлектрических и фотоэлектрических измерительных преобразователей. С 1976 г. выпускается вольтметр переменного тока класса 0,2—0,02 с пределами измерения 0,1; 1; 10; 100 и 1000 В в частотном диапазоне 30 Гц—10 кГц и цифровой вольтметр для измерения действующих значений напряжения от 10 до 600 В в частотном диапазоне до 100 кГц класса точности 0,01—0,02.

Мощность в цепях электрического тока

Измерение мощности осуществляется, как правило, с меньшей точностью (в смысле предельного уровня), чем измерение тока и напряжения. Это объясняется тем, что используются методы и средства, применяемые для измерения тока и напряжения в совокупности со специфическими методами измерения мощности. Предельные значения погрешности измерения мощности в однофазных цепях переменного тока 0,3% достигнуты на установке У3551 в частотном диапазоне 40—10 000 Гц для коэффициентов мощности 0,1—0,5 при

номинальных значениях напряжения 0,5—600 В и тока 0,1—25 А и 0,08% для коэффициента мощности 1 в частотном диапазоне 40—20 000 Гц [50]. Наивысшая точность измерения активной мощности в трехфазных цепях переменного тока достигнута в приборе Д765, имеющем погрешность измерения 0,5% в частотном диапазоне 50—2000 Гц для коэффициента мощности 0,2 при номинальных значениях напряжения 25—75 В и тока 0,25—7,5 А и погрешность 0,2% для коэффициента мощности 0,5 [63]. Для измерения реактивной мощности в трехфазных цепях переменного тока метрологическим прибором может служить Д5031, имеющий погрешность 0,5% в частотном диапазоне 45—1100 Гц для $\sin \varphi = 1$ при номинальных значениях напряжения 37,5—250 В и тока 0,075—10 А [63]. Завершенные исследования показывают, что уже можно достигнуть погрешности измерения активной мощности трехфазных цепей переменного тока 0,02—0,05% для $\cos \varphi = 1$, правда в более узком частотном диапазоне (50—500 Гц) при напряжениях 20—250 В и токах до 10 А.

Частота переменного тока

Государственный эталон воспроизводит частоту 1 Гц и время 1 с погрешностью $\pm 1 \cdot 10^{-11}$. Метрологические организации СССР располагают также комплексом аппаратуры для выдачи образцовых частот и сигналов точного времени передающим радиостанциям с погрешностью $\pm 5 \cdot 10^{-11}$. Передача образцовых частот позволяет потребителям производить сличение с ними частот собственных кварцевых генераторов. В зависимости от качества образцовых кварцевых генераторов это дает возможность иметь погрешности порядка 10^{-9} — 10^{-7} и долговременную стабильность частоты. Такие генераторы используются для поверки частотомеров и других устройств, требующих знания частоты с высокой точностью, а также для аттестации кварцевых генераторов меньшей точности (с относительной погрешностью 10^{-7} — 10^{-5}). Последние используются, в частности, в частотомерах сравнительно высокой точности, например цифровых (Ф5034, Ф5080 и др.).

В измерительной практике диапазон измерения частоты весьма широк — от тысячных долей герца до тысяч мегагерц. Для наиболее точных измерений ис-

пользуют либо метод прямого сравнения с известной частотой, либо косвенный метод, основанный, например, на подсчете за известный промежуток времени числа периодов неизвестной частоты, применяемый в цифровых частотомерах. Отечественная промышленность серийно выпускает цифровой частотомер типа Ф5034 для измерения частоты, периодов, интервалов времени, длительности импульсов в диапазоне до 50 МГц при нестабильности кварцевого генератора $5 \cdot 10^{-8}$ и разрешающей способности по времени 0,1 мкс [32].

Электрическое сопротивление

Наиболее точные измерения электрического сопротивления постоянному току производятся мостами постоянного тока, использующими метод одновременного сравнения с мерой. Поэтому погрешность измерения сопротивления определяется как погрешностью сравнения моста, так и погрешностью используемой меры сопротивления. Кроме того, следует отметить, что метрологические характеристики измерителей сопротивления постоянного тока в значительной мере зависят от значений и диапазона измеряемого сопротивления, ибо эта величина измеряется в весьма широком диапазоне — от 10^{-8} до 10^{15} Ом. Наивысшая точность измерения достигается, естественно, в средней части указанного диапазона.

В нашей стране высшая точность измерения сопротивления в диапазоне 10^{-2} —1 Ом определяется погрешностью $\pm 0,0001\%$ (мост Р4054), а лучшая отечественная мера сопротивления Р324 имеет погрешность $\pm 0,002\%$ при значении сопротивления 1 Ом [63]. Для малых значений сопротивлений 10^{-8} — 10^{-3} Ом минимальную погрешность 1—0,05% имеют мост постоянного тока Р4086 и мера сопротивления Р323 (0,05% для сопротивления 10^{-4} Ом) [63]. Для больших значений сопротивления минимальную погрешность имеют: одиночный мост Р4053 (0,5—10% для сопротивлений 10^{15} — 10^{11} Ом) и мера сопротивления Р4030 (0,02% для сопротивления 10^9 Ом) [63].

Существенно увеличили точность измерения сопротивления (погрешность до 0,0005%) в средней части диапазона измерений 0,1— 10^6 Ом выпускаемые с 1976 г. калибратор равнономинальных сопротивлений Р352 и омметр-калибратор Р346, разработанные на основе пе-

чатных резисторов и элементов микроэлектроники. Ведутся работы по созданию высокоомных образцовых мер сопротивления от 10^6 до 10^{10} Ом с погрешностью 0,002—0,01% [63].

Параметры электрических цепей на переменном токе

Измерение параметров электрических цепей на переменном токе, в частности сопротивления на переменном токе, индуктивности и емкости, производится с помощью мостов переменного тока, где также используется метод одновременного сравнения с мерой.

Как и в случае мостов постоянного тока, погрешность измерения упомянутых величин определяется погрешностью схемы сравнения и погрешностью используемой меры. Наименьшая погрешность измерения сопротивления на переменном токе достигнута с помощью моста P56/2 в диапазоне 40—60 Гц и составляет 0,1% [63]. Мерой сопротивления на переменном токе частотой 50 Гц в диапазоне $1-10^4$ Ом с классом 0,02 могут быть катушки сопротивления P361, а для сопротивлений 10^6 и 10^7 Ом с классом 0,005 — соответственно катушки сопротивления P401 и P402 [63]. Разрабатываются катушки сопротивления P768—P772, обеспечивающие в диапазоне $10^{-2}-10^7$ Ом погрешность воспроизведения меры 0,02% [62].

Наивысший уровень, достигнутый в стране по точности измерения индуктивности, имеет мост E7-8, который в диапазоне 0,1 мкГн—1000 Гн обеспечивает погрешность измерения не более 0,001—0,002% [63]. Этот диапазон почти перекрывает весь диапазон современных измерений индуктивности 0,001 мкГн—2000 Гн. Катушки индуктивности P596 имеют погрешность 0,02% в диапазоне $1 \cdot 10^{-6}-1$ Гн на частотах приблизительно $0,05 \cdot 10^3-100 \cdot 10^3$ Гц [63]. Лучшая мера индуктивности, выпускаемая отечественной промышленностью, P5009 имеет погрешность $\pm 0,005\%$ при значении индуктивности 10 мГн [62].

Измерение емкости современной аппаратурой осуществляется в диапазоне 0,00001 пФ—1 Ф. Наивысшая точность измерения емкости, определяемая погрешностью $\pm 0,001\%$, достигнута в большей части указанного диапазона 0,01 пФ—100 мкФ мостом E7-8. Наименьшую погрешность воспроизведения меры емкости ($\pm 0,05\%$)

в диапазоне $1-10^4$ пФ имеют выпускаемые промышленностью меры емкости Р533 и Р597 на частотах 40—1000 Гц [63].

Характеристики магнитных полей и материалов

В качестве образцовых и рабочих мер магнитной индукции применяются, как правило, катушки различной формы и конструкции с однослойной или многослойной обмоткой. Катушки без ферромагнитного материала по условиям теплового режима строятся для создания полей с индукцией до 1,0 Тл. Для создания полей с более высокой индукцией применяют охлаждение или пользуются электромагнитами и постоянными магнитами [66].

Наиболее широко используются цилиндрические катушки; катушки Гельмгольца; комбинация нескольких коротких катушек круглого или прямоугольного сечения, расположенных на определенном расстоянии друг от друга; катушек с обмоткой, навитой на пустотелый каркас, имеющий форму эллипсоида вращения и др. Применение того или иного устройства диктуется в основном требованиями однородности поля, максимального значения индукции поверяемого средства и удобствами проведения метрологических испытаний теслометров [66].

Меры магнитного потока представляют собой катушки с двумя электрически не связанными обмотками. Качество их определяется малым температурным коэффициентом, высоким сопротивлением изоляции между обмотками (около 10^{11} Ом), малой емкостью между обмотками (не более 500 пФ).

Для рабочих мер чаще всего применяются цилиндрические катушки с отдельными обмотками на каркасе из изолирующего материала. В качестве образцовых мер применяют также и другие конструкции: катушки Кэмпбелла; катушки Гельмгольца в сочетании с расположенной в их центре вторичной катушкой; катушки с двумя однослойными обмотками, навитыми на тороидальный или кольцевой каркас, допускающие достаточно точный расчет их постоянных по параметрам катушки [67].

В настоящее время проводятся работы по созданию рабочих мер напряженности (индукции) постоянных магнитных полей в диапазоне $10^{-5}-10^5$ А/м и рабочих

мер напряженности (индукции) переменных магнитных полей частотой 20—20 000 Гц, напряженностью более $1,5 \cdot 10^3$ А/м.

Проведенный краткий анализ аппаратуры метрологического обеспечения для основных электрических и магнитных величин, измеряемых средствами АСЭТ, говорит о значительных успехах в данной области. Однако часть выпускаемых и тем более разрабатываемых средств электрических измерений с высокими техническими характеристиками частично или полностью не обеспечена метрологическими средствами необходимой точности (на постоянном токе: от 0,5 до 100 нА свыше 3 кВ; на переменном токе: от 1 мкА до 50 мА в диапазоне частот до 20 кГц и от 20 мА до 10 А свыше 20 кГц; приборы для измерения мощности классов точности 0,1 и 0,2 и др.).

Из вышесказанного следует, что основными задачами в области аппаратуры метрологического обеспечения являются:

расширение диапазонов измерения в сторону как малых, так и больших значений;

повышение точности (в ряде случаев на порядок и более);

расширение частотного диапазона измерений на переменном токе.

Следует отметить, что системный подход к построению самих средств метрологического обеспечения является весьма перспективным. Он обуславливает как создание метрологических устройств из отдельных технических средств, так и автономное использование этих средств в различной метрологической аппаратуре. Анализ существующих метрологических установок и типовых схем поверки, к которым можно свести большинство схем, используемых для решения метрологических задач, позволил установить номенклатуру агрегатированных средств метрологического обеспечения [68]. Эти средства должны быть согласованы с поверяемыми средствами АСЭТ и с процессорами, входящими в метрологические установки и системы. Весь комплекс средств метрологического обеспечения должен гарантировать поверку средств АСЭТ и ИИС в целом на государственных приемочных и контрольных испытаниях, а также на периодических, типовых, контрольных и приемосдаточных испытаниях.

4.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

Проблема автоматизации в метрологическом обеспечении средств АСЭТ, как средств измерений, стала в последние годы особенно актуальной.

Без решения проблемы автоматизации поверочных работ, т. е. существенного возрастания их производительности, невозможно обеспечить проведение метрологических испытаний на современном уровне и в требуемом объеме (в ряде случаев миллионы измерительных операций в месяц на предприятиях, производящих средства измерений). Поэтому имеет смысл на ней остановиться хотя бы вкратце.

Резкое увеличение объема метрологических работ обусловлено, во-первых, увеличением общего объема выпуска средств измерений, связанного с ростом многообразия измерительных задач из-за увеличения числа измеряемых величин и параметров, расширения диапазонов и условий измерений, увеличивающейся потребностью в измерениях быстропеременных процессов и значений вероятностных характеристик случайных процессов, а также расширением масштабов производства; во-вторых, ростом сложности поверочных работ, вызванным введением в практику более сложных метрологических характеристик, определяемых статистическими методами и расширяющейся потребностью в новых видах измерений.

В связи с этим при создании метрологической аппаратуры все большее применение находят современные средства автоматизации и вычислительной техники.

Автоматизация поверочных работ может быть как частичной, так и полной. Имеются три уровня автоматических средств метрологического обеспечения [69]:

- 1) полуавтоматические средства;
- 2) средства с регистрацией результатов отдельных измерений и обработкой результатов измерений;
- 3) полностью автоматические измерительные установки, включающие в свой состав ЭВМ.

Для каждого конкретного случая автоматизации поверочных работ уровень автоматизации метрологической аппаратуры определяется тщательным технико-экономическим анализом.

Автоматические (автоматизированные) метрологические ИИС (АМ ИИС) строятся по структуре ИИС для испытаний и исследований объектов, характеризующихся

параметрами, измеряемыми с помощью пассивных первичных измерительных преобразователей (датчиков).. В таких структурах необходимым условием являются задатчики возмущающих воздействий, которыми в данном случае являются источники образцовых сигналов.

В АМ ИИС используются методы поверки, основанные как на сравнении результатов измерений сигналов поверяемым и образцовым средствами измерения, так и на сравнении значений образцовых сигналов, выдаваемых калибраторами — многозначными мерами, с результатами измерений, получаемых с поверяемых средств измерений, причем последний метод находит все большее применение в связи с развитием работ по созданию калибраторов различных видов измеряемых электрических величин.

Особенно следует отметить развитие этого метода с созданием калибраторов, управляемых цифровыми кодами дистанционно, которые по своим функциям становятся цифро-аналоговыми преобразователями, где в качестве аналога может быть почти любая из измеряемых электрических величин. Цифроуправляемые калибраторы создают условия для построения АМ ИИС на основе процессоров или мини-ЭВМ.

Обобщенная структурная схема АМ ИИС показана на рис. 4-1. Из этого рисунка видно, что в АМ ИИС входят следующие основные группы устройств:

устройства формирования и выдачи образцовых сигналов, представляющие собой блоки автоматики *БА* и цифроуправляемые источники образцовых сигналов *ИОС₁ — ИОС_n*;

коммутирующие устройства *K_з* и *K_п*, обеспечивающие подключение на вход поверяемого средства измерения ПСИ образцовых (задающих) сигналов, а на выход — автоматических измерительных устройств;

устройства измерения и преобразования *I₁—I_n*, измеряющие значения выходных аналоговых сигналов поверяемых средств или преобразующие показания аналоговых поверяемых устройств, имеющих отсчет (для цифровых поверяемых средств измерений в структуре АМ ИИС эта группа отсутствует), и выдающие результат в виде кода;

устройства управления и связи, состоящие в основном из процессора или мини-ЭВМ с достаточно разви-

той системой хранения информации, способных согласно заданной программе управлять метрологическим экспериментом, а также из пульта управления ПУ, блоков ввода кодов БВвк и блоков вывода кодов БВвык (т. е. интерфейсных блоков), цифровых часов ЦЧ и блоков автоматики БА внешних блоков управления, если в устройствах измерения нет внутренних програм-

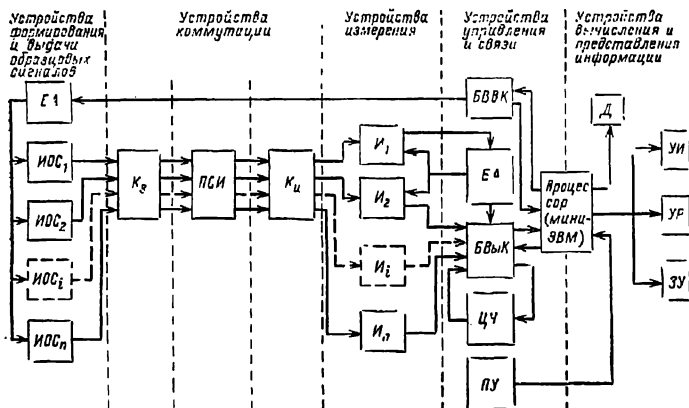


Рис. 4-1. Обобщенная структурная схема АМ ИИС.

мируемых блоков управления (в более простых АМ ИИС эта группа может представляться программно-управляющим устройством);

устройства вычисления и представления информации, в которую входит тот же процессор (но в данном случае рассматриваются его вычислительные функции), дисплей $Д$, устройства индикации $УИ$, устройства регистрации $УР$ и запоминающие устройства $ЗУ$.

Конкретным примером АМ ИИС может служить установка для автоматизированной поверки цифровых вольтметров постоянного тока [70], предназначенная для определения метрологических характеристик цифровых вольтметров класса 0,01. При поверке учитываются как случайные, так и систематические составляющие погрешности. В процессе поверки автоматизируются операции выдачи калиброванных сигналов напряжения на поверяемый прибор в заданных точках под-

диапазона, считывания результата измерения с поверяемого прибора, вычисления значения погрешности в данной точке шкалы по результатам одного или нескольких измерений, сравнения полученного значения погрешности с допустимыми значениями, регистрации результатов поверки.

Структурная схема установки представлена на рис. 4-2.

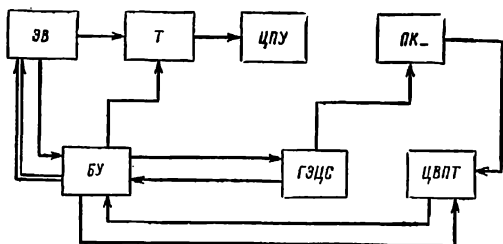


Рис. 4-2. Структурная схема установки для автоматизированной поверки цифровых вольтметров постоянного тока.

Поверяемый прибор — цифровой вольтметр постоянного тока ЦВПТ подключен своим входом к программируемому калибратору напряжений постоянного тока ПК, а выходом — к блоку управления БУ, через который его выходной код попадает на электронный вычислитель ЭВ. В качестве программируемого калибратора используется программируемый источник калиброванных напряжений Ф7046/4, а электронного вычислителя — калькулятор МЕРА 2030 (Польская Народная Республика) или ЭКВМ «Искра 1255» [70]. В ЭВ через БУ поступает код эталонного значения напряжения, соответствующего данной поверяемой точке. Для хранения кодов эталонных напряжений используется генератор эталонных цифровых сигналов ГЭЦС. Блок управления содержит диодную память емкостью 128 семиразрядных слов, схему выборки и адресный регистр памяти. Вычислитель производит вычитание указанных выше кодов. Полученное таким образом значение погрешности сравнивается с расчетным допустимым значением, и результат сравнения влияет на дальнейший ход поверки в соответствии с алгоритмом. На вход поверяемого вольт-

метра подается напряжение с *ПК* в соответствии с кодом, поступающим на *ПК* с *ГЭЦС*. Результаты поверки выводятся на цифropечатающее устройство *ЦПУ* через блок сопряжения *T*. В качестве цифropечатающего устройства со своим блоком сопряжения используется устройство *Щ68000К*. Особенностью данной установки является то, что метрологические характеристики ее определяются только *ПК*, а последний связан локально с *ГЭЦС* или прямо с *БУ* (если *ГЭЦС* конструктивно входит в *БУ*).

Последовательная процедура поверки заканчивается, как только удовлетворяется одно из двух неравенств, выражающих соответственно гипотезы «Прибор признается годными» и «Прибор бракуется». Если не удовлетворяется ни одно из неравенств, процесс испытаний продолжается. В процессе автоматической поверки производится промежуточная регистрация результатов в отдельных точках шкалы, что может быть использовано при ремонте прибора, если он оказался забракованным при оформлении технического паспорта.

Поверка на такой установке цифровых вольтметров постоянного тока класса 0,05 занимает 10 мин. Проведение же всех операций, предусмотренных поверкой, вручную с соответствующей регистрацией результатов занимает 5 ч.

Глава пятая

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРИНЦИПЫ ИХ ПОСТРОЕНИЯ

5-1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Измерительные информационные системы (ИИС) явились дальнейшим развитием средств ЭИТ и позволяют автоматизировать измерения в процессе комплексных исследований или испытаний сложных объектов. Измерительные информационные системы получили в настоящее время широкое распространение как часть более сложных структур: АСУ ТП, систем контроля, диагностики и других либо как локальные измерительные системы.

Вопросы, связанные с областью применения ИИС, их эволюцией, классификацией, общим подходом к созданию ИИС, а также конкретные примеры ИИС для различных применений рассмотрены в целом ряде работ, из которых прежде всего следует указать [71—74]. В этой главе будут рассмотрены принципы построения ИИС из средств агрегатных комплексов и, в частности, средств АСЭТ.

Наиболее распространенным принципом построения ИИС является блочно-модульный, предусматривающий построение ИИС из отдельных модулей, представляющих собой конструктивно и функционально законченные элементы (блоки) различных уровней сложности и степени эксплуатационной законченности.

В частности, в агрегатном комплексе КТС ЛИУС в качестве системного модуля принят функциональный элемент — некоторый узел, реализующий одну функцию (коммутация небольшой группы каналов, нормализация, преобразование сигнала и т. п.). Из таких узлов, в свою очередь, набираются так называемые многофункциональные блоки ввода — вывода сигналов (например, коммутатор заданного числа каналов с групповым нормализатором, коммутатор с устройством гальванической развязки и т. д.), которые являются блоками системы и подвергаются нормированию. В агрегатном комплексе АСЭТ, как указывалось выше, в качестве системного модуля выступает прибор — средство измерения, конструктивно, функционально и эксплуатационно законченное, аттестованное, с нормированными метрологическими характеристиками, с автономным питанием, имеющее самостоятельное автономное применение.

В рамках блочно-модульного принципа построения ИИС возможны два подхода к созданию ИИС — индивидуальная разработка и проектная компоновка.

В первом случае разрабатывается полная и достаточно подробная структурная схема ИИС, обеспечивающая стыковку как с объектом исследования, так и с потребителем информации, ожидаемые характеристики которой соответствуют требуемым. Эта структурная схема разбивается на функционально законченные части, которые затем и разрабатываются как функциональные блоки с учетом всех требований к модулю. Таким образом, характеристики всей системы становятся известными только после разработки всех блоков, т. е. сравне-

ние вариантов построения ИИС и выбор наилучшего, а также выбор характеристик отдельных блоков по заданным характеристикам системы в целом производится на интуитивной основе или методом экспертных оценок.

Метод проектной компоновки заключается в проектировании ИИС на основе максимального использования выпускаемых средств агрегатных комплексов, с применением расчетных методов определения характеристик ИИС по характеристикам блоков. Этот подход позволяет выбрать наилучший вариант построения ИИС (в том числе связанный с разработкой блоков в случае несоответствия характеристик выпускаемых блоков требуемым), установить реализуемость требований технических заданий, сократить сроки разработки. Именно этот подход позволяет использовать все преимущества агрегатирования и прежде всего предельную унификацию и типизацию построения систем. Этот метод позволяет выбрать наиболее рациональную структуру по любому заданному критерию — метрологическому, надежностному, стоимостному и т. д.

Для реализации метода проектной компоновки необходимо:

четко сформулировать перечень характеристик агрегатных средств и разработать методы их определения и контроля;

разработать модели блоков (различные для разных видов критерия, например, метрологическую, надежностную и т. д.);

разработать методы и алгоритмы определения сквозных характеристик трактов ИИС по характеристикам отдельных блоков;

обеспечить возможность непосредственного сопряжения блоков (без согласующих устройств) для совместного функционирования, т. е. обеспечить совместимость блоков.

Что же сделано для внедрения методов проектной компоновки в практику создания систем?

Разработан и введен ГОСТ 22317-77 «Средства агрегатные ИИС. Общие требования к комплексам нормируемых характеристик». Этот стандарт устанавливает структуру и состав описания агрегатных средств измерительной техники и ориентирован на проектную компоновку. В частности, устанавливаются функциональный, структурный и параметрический уровни описания

средств с указанием того, какие характеристики составляют каждый уровень. Следует заметить, что каждый из этих уровней соответствует определенному этапу проектирования ИИС и требует знания определенных характеристик средств: при функциональном синтезе достаточно знать вид функционального преобразования сигнала, при структурном — необходимо знание входных и выходных сигналов, а также характеристик преобразования; при параметрическом — значения информативных параметров сигналов, параметров входных и выходных цепей, метрологических характеристик и т. д. Перечень нормируемых статических метрологических характеристик установлен ГОСТ 8.009-72. Перечень и методы определения динамических метрологических характеристик аналоговых средств измерения, динамические характеристики которых могут быть описаны функциями или дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами, приведены в РТМ 25. 191-75 «Средства измерения и автоматизации ГСП. Определение динамических характеристик». Этот РТМ разработан в процессе создания АСЭТ и проходит проверку при определении метрологических характеристик средств АСЭТ.

Разработке модели измерительных блоков в последнее время уделяется значительное внимание, что связано прежде всего с попытками автоматизировать проектирование этих средств. Так, модели АЦП рассмотрены в [75—77], коммутаторов — в [76, 78, 79], усилителей — в [80]. Ведутся работы по имитационному моделированию средств АСЭТ. Вместе с тем для проектной компоновки требуются более обобщенные модели средств измерения и такие модели, кроме упомянутых в [78, 79], отсутствуют. Разработка моделей АЦП, усилителей, средств представления информации является насущной задачей, и такие работы для средств АСЭТ проводятся.

Первый этап работ по расчету метрологических характеристик ИИС по характеристикам (индивидуальным и типовым) отдельных блоков завершился разработкой РТМ 25. 161-74 «Расчет характеристик погрешности линейной аналоговой, аналого-дискретной и аналого-цифровой измерительных систем», которые проходят апробацию на ИИС, разрабатываемых в рамках АСЭТ и АСВТ.

Обеспечение совместимости сопрягаемых средств образует большое самостоятельное направление работ по агрегатированию.

Для непосредственного сопряжения средств при их совместном применении в рамках ИИС или других видов сложной измерительной аппаратуры принципиально необходима энергетическая и информационная совместимость, а для некоторых условий эксплуатации — конструктивная и эксплуатационная совместимости. При создании систем с заданными техническими характеристиками при оптимизации их по обобщенному критерию (типа стоимость) важными становятся требования метрологической и эксплуатационной совместимостей.

Следует отметить, что при синтезе структур ИИС с помощью ЭВМ появляется необходимость ввести еще один вид совместимости — функциональную совместимость. Она проявляется в том, что при синтезе цепочки измерительных блоков (измерительного тракта ИИС) должны применяться только разрешенные связи блоков (типовые наборы сопрягаемых блоков), позволяющие охватить их единым алгоритмом функционирования и связанные с естественной передачей информации в ИИС от датчиков неэлектрических величин через первичные и вторичные измерительные преобразователи, коммутаторы, АЦП к устройствам обработки и представления информации. При использовании базовых структур ИИС, что имеет место при параметрическом синтезе ИИС, требования функциональной совместимости уже заложены разработчиком в структуру системы и не проверяются. В настоящее время в АСЭТ разработаны как типовые пары сопрягаемых блоков, так и «базовые структуры» ИИС по направлениям, соответствующим основным областям применения комплекса.

5.2. ИНФОРМАЦИОННАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ СРЕДСТВ АСЭТ. ТИПОВЫЕ СТРУКТУРЫ ИИС

Как указывалось, одним из условий обеспечения информационной совместимости является применение стандартных интерфейсов.

В зависимости от числа уровней сложности образующих ИИС составных частей (т. е. от ранга скомпонованных модулей) существует иерархическая система интерфейсов различных рангов: внутривидовой, межвидовой,

ный (приборный), общесистемный (т. е. выходное сопряжение ЭВМ). Модулем АСЭТ является функциональный блок — прибор, поэтому для средств АСЭТ может быть принят приборный интерфейс, а в ИИС на основе средств АСЭТ и ЭВМ — интерфейсы двух рангов: приборный и общесистемный.

Можно сформулировать следующие требования применительно к приборному интерфейсу АСЭТ. Приборный интерфейс обеспечивает информационную и управляющую связь между автономными и программируемыми (по режиму работ, пределу измерения, по уставкам и т. д.) модулями ИИС. Он должен:

обеспечить взаимную связь широкого спектра устройств: разнообразных датчиков и генераторов, преобразователей информации, цифровых измерительных приборов, устройств программного управления, запоминающих устройств, дисплеев и пультов оператора;

работать в широком диапазоне скоростей передачи данных, в условиях асинхронного режима обмена, при различной длине кодированных информационных сообщений;

обеспечивать различные маршруты передачи сообщений в системе.

Кроме того, следует учитывать требования простоты структуры сигнальных шин и процедуры связи; оптимизации числа сигнальных шин, длины кабелей и состава схем управления обменом, одновременного приема данных несколькими модулями.

В АСЭТ был принят единый для нескольких агрегатных комплектов ГСП (АСКР, АСПИ, АСТТ, КТС ЛИУС) интерфейс ЕИ-1 [73]. В соответствии с этим интерфейсом сигналы взаимодействия разделяются на группы:

информационные — кодированные сигналы, передающиеся по 16 шинам;

программные (командные), осуществляющие программирование блоков для выполнения требуемой операции (передаются по четырем шинам);

адресные, которые служат для выбора любого блока ИИС (передаются по одной шине);

управляющие сигналы, осуществляющие ввод (вывод) информации в блок, запуск блока на выполнение операции (каждый сигнал передается по индивидуальной шине);

сигналы состояния, несущие информацию о режиме работы блока, готовности блока к взаимодействию, его исправности (для передачи используется до четырех шин).

Кроме того, в интерфейсе предусмотрен ряд дополнительных сигналов (типа неисправность блока, признак контроля четности при передаче данных и т. п.), которые передаются по индивидуальным шинам.

Этот интерфейс разрешает построение структур, которые по способу управления распадаются на две группы: с централизованным или децентрализованным управлением. В первом случае имеется центральное устройство управления, которое может задавать режимы работы блоков, изменять состав функционирующих блоков и связи между ними, т. е. гибко изменять функциональные возможности ИИС. Во втором случае состав и режимы работы блоков постоянны, система беднее по своим возможностям, но обладает необходимой в ряде случаев простотой и компактностью.

Рассмотрим типовые структуры ИИС.

Примером децентрализованной структуры является цепочечное соединение блоков, приведенное на рис. 5-1. Здесь сигналы состояния *С* предшествующего функционального блока *ФБ* являются управляющими *У* — для последующего. Информационные сигналы *И* последовательно передаются от одного *ФБ* к другому, претерпевая соответствующие (фиксированные) функциональные преобразования. Адресные сигналы при таком соединении не нужны, так как все сигналы передаются по индивидуальным для каждого блока шинам. Особенностью схемы является возможность практически беспредельного наращивания блоков при изменении требований к ИИС. В то же время здесь отсутствует возможность передачи программных сигналов и изменения структуры системы в процессе ее работы. В качестве примера системы с такой структурой можно привести систему, образованную соединением датчиков, циклических локальных коммутаторов, групповых нормирующих преобразователей, работающих на фиксированных пределах измерения и приводящих все сигналы к одной шкале, циклического основного коммутатора, аналогоцифрового преобразователя и регистратора. В состав такой системы может входить и специализированное

устройство обработки, работающее по одинаковой для всех каналов программе.

Структуры систем с централизованным управлением отличаются гораздо большим многообразием.

Прежде всего к ним следует отнести радиальную структуру, приведенную на рис. 5-2.

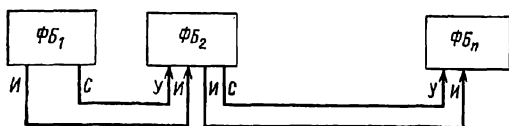


Рис. 5-1. Цепочечная структура ИИС.

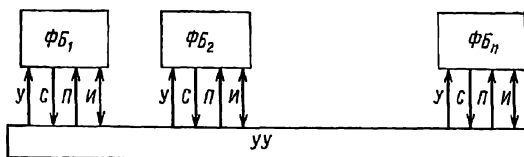


Рис. 5-2. Радиальная структура ИИС.

Здесь обмен функциональных блоков сигналами взаимодействия C и $У$ осуществляется через устройство управления $УУ$. Это позволяет путем подачи программных сигналов $П$ изменять параметры блоков с учетом специфики преобразования информационных сигналов ($И$), изменять конфигурацию и параметры измерительного тракта, производить необходимую обработку информации и т. д. В данной структуре также нет необходимости в формировании адресных сигналов, ибо набор сигналов взаимодействия подается к каждому блоку по индивидуальным шинам. Необходимость индивидуальных шин для сигналов взаимодействия у каждого из блоков ограничивает возможности данной структуры по наращиванию числа блоков фиксированным количеством схем управления блоками и разъемов устройства управления.

Этого недостатка позволяет избежать магистральная структура, приведенная на рис. 5-3. Здесь каждый из сигналов передается по общей для всех функциональ-

ных блоков шине (однопроводной или многопроводной) — магистрали M . В частности, все эти сигналы могут быть кодированными K и передаваться по одной общей для всех блоков магистрали в составе одного информационного слова. Это слово может передаваться по магистрали в виде параллельного или последовательного кода либо побайтно в зависимости от числа разрядов в слове и от числа проводов в магистрали. Адресная часть информационного слова или код, находящийся

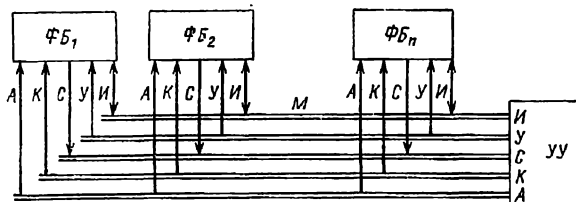


Рис. 5-3. Магистральная структура ИИС.

на адресной магистрали A , показывает, к какому блоку относится информация, находящаяся на других магистралях или скомпонованная в информационное слово. Магистральная структура позволяет наращивать количество блоков в системе и применяется при большом числе взаимодействующих блоков в системе.

Централизованный принцип управления позволяет построить целый ряд смешанных структур, соединяющих преимущества рассмотренных выше.

На рис. 5-4 показана радиально-цепочечная структура ИИС. Здесь устройство управления $УУ$ управляет несколькими цепочками функциональных блоков (i -й и j -й). При этом вся командная и управляющая информация может сообщаться от устройства управления первому блоку цепочки, а затем каждый блок дешифрирует и использует относящуюся к нему информацию (часть информационного слова), а остальную информацию, в том числе и полученную в результате выполнения функционального преобразования в данном блоке, передает следующему по цепочке блоку. Эта структура соединяет преимущество цепочечной структуры (наращиваемость) с небольшим требуемым объемом сигналов радиальной структуры.

На рис. 5-5 показана радиально-магистральная (так называемая линейная) структура, в которой адресные сигналы A передаются по индивидуальным для каждого блока шинам, а все остальные сигналы — по общим для всех блоков однопроводным или многопроводным шинам. Такая структура также широко встречается в практике построения ИИС.

Интерфейс ЕИ-1 явился первым приборным интерфейсом, внедренным в практику создания ИИС и пока-

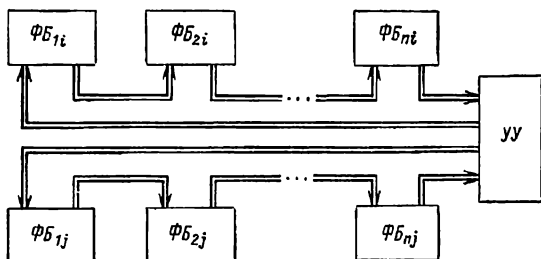


Рис. 5-4. Радиально-цепочечная структура ИИС.

завшим преимущества и правильность подхода, заключающегося в унификации сопряжения. Вместе с тем его практическое применение выявило ряд серьезных недостатков и поставило под вопрос целесообразность его дальнейшего применения. Эти недостатки сводятся к следующему.

В отличие от других известных интерфейсов [60] в нем разрешены различные структуры ИИС и любое данное агрегатное средство (функциональный блок) должно вырабатывать, как было показано выше, различные сигналы при применении его в разных структурах. Выход здесь заключается в том, чтобы любой блок вырабатывал максимальный набор сигналов, а использовались лишь те, которые в данной структуре нужны. Это ведет к некоторой избыточности. Далее, этот интерфейс разрешает применение нескольких типов разъемов с различной разводкой сигналов по контактам, а также применение различной элементной базы с различными уровнями электрических сигналов (соответствующими уровням ТТЛ- и МОП-структур) и противоположными типами логики. В интерфейсе отсутствует сигнал прину-

дательной установки блоков, имеющих автономное и системное применение, в состоянии автономного либо дистанционного управления. Таким образом, этот интерфейс может обеспечить совместимость лишь в рамках одного агрегатного комплекса и то при условии разработки ограничительной нормы. Кроме того, он не соответствует ни одному из международных стандартов на интерфейс.

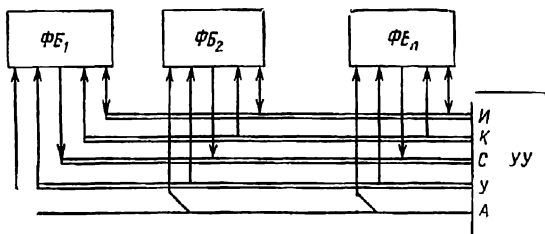


Рис. 5-5. Радиально-магистральная структура ИИС.

В свете изложенного весьма перспективным представляется применение в АСЭТ приборного интерфейса, рекомендованного Международной электротехнической комиссией (МЭК) и получившего международное признание. Этот интерфейс подробно рассмотрен в [74]. Здесь лишь отметим, что этот интерфейс разрешает подключение к одной магистрали без промежуточных блоков до 15 устройств с возможностью увеличения числа взаимодействующих блоков за счет их подключения к физически отдельным, но функционально связанным магистралям. Общая длина тракта передачи сообщений 20 м. Структура соединения модулей магистральная (звездообразная или линейная с ответвлениями). При необходимости передачи данных на большие расстояния возможно использование промежуточных устройств, через которые осуществляется выход на канал телепередачи данных. Обмен информацией побайтный, максимальная скорость асинхронной передачи данных через интерфейс составляет 1 Мбайт/с.

5-3. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

В рамках АСЭТ и на основе входящих в него средств разрабатываются ИИС, относящиеся к следующим направлениям:

Рис. 5-6. Структурная схема системы К484.

Км — коммутатор; ЦВ — цифровой вольтметр; ЦПМ — цифронпечатающая машинка; ЧЦ — часы цифровые.

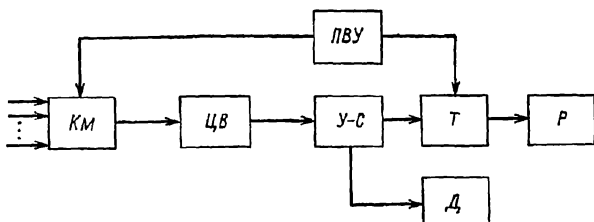
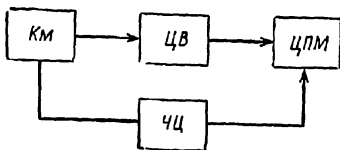


Рис. 5-7. Структурная схема ИИС типа К200.

Км — коммутатор (типа Ф240), ЦВ — цифровой вольтметр (типа Ф203 или Ф2000); У-С — усилитель-согласователь (типа Ф270); Д — дискриминатор (типа П215); ПВУ — программно-временное устройство (типа Ф260); Т — транскриптор (типа Ф253 или Ф250); Р — регистратор (перфоратор типа ПЛ-150 или цифровая печатающая машинка типа ЭУМ23).

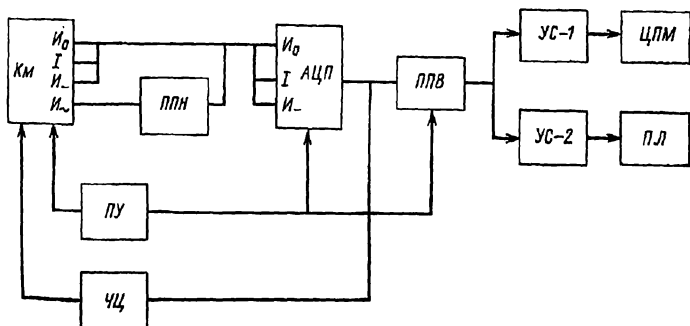


Рис. 5-8. Структурная схема ИИС типа К734.

Км — коммутатор типа Ф7100; ППН — преобразователь переменного напряжения типа Ф7132; ПУ — программное устройство типа Ф7143; ЧЦ — часы цифровые типа Ф7141; АЦП — аналого-цифровой преобразователь типа Ф7121; ППВ — преобразователь кода типа Ф7180; УС-1 — устройство связи ЦПМ типа ЭУМ-23; УС-2 — устройство связи с перфоратором типа ПЛ-150.

Основные технические

Тип системы	Измеряемая величина	Пределы измерения	Выбор предела	Погрешность измерения, ± %	Разрешающая способность	Частота сигнала, 1/с		
K484	Напряжение постоянного тока	1; 10; 100; 1000 В	Автоматический	$\delta \leq [0,15 \pm \pm 0,05 (x_k/x - 1)]$	1 мВ	10		
K200	Напряжение постоянного тока	0,1; 1; 10; 100; 1000 В	Ручной и дистанционный	$\delta \leq [0,2 \pm \pm 0,1 (x_k/x - 1)]$	1 мВ	0,5; 10 от внутреннего запуска; 50 от внешнего запуска		
K734	Напряжение постоянного тока	1 В	Дистанционный	$\delta \leq [0,05 \pm \pm 0,05 x_k/x]$	0,1 мВ	1000		
		10 В	Автоматический	$\delta \leq [0,03 \pm \pm 0,03 x_k/x]$				
	Постоянный ток	10 мА		$\delta \leq [0,05 \pm \pm 0,05 x_k/x]$	1 мкА	1000		
		Действующее значение переменного синусоидального напряжения	0,05; 0,5; 5; 50 В при частотах 50 Гц — 50 кГц		$\delta \leq [0,25 \pm \pm 0,05 x_k/x]$	0,01 мВ	1	
			Отношение двух постоянных напряжений	10 %		$\delta \leq [0,05 \pm \pm 0,1 x_k/x]$	0,001 %	1000
				100 %		$\delta \leq [0,05 \pm \pm 0,05 x_k/x]$		
K732	Отклонение значений сопротивлений тензорезисторов от номиналов	+2,5 % при номиналах 100, 120, 200, 400 Ом	—	0,5% максимального отклонения	—	100		

характеристики некоторых ИИС

Число входных каналов	Опрос каналов	Вид основного измерителя	Входное сопротивление измерителя, МОм	Подавление помех, дБ	Вид преобразователей
32	Циклический	Цифровой вольтметр	1—10	—	—
40 или 80	Циклический, непрерывный, разовый, адресный	Цифровые вольтметры Ф203, Ф2000	1—2; 1—10	60	—
100	Циклический, адресный	Многофункциональный аналого-цифровой преобразователь Ф7121	20	—	Преобразователь переменного напряжения в постоянное Ф7132
			150 Ом		
			1—2		
			20		
127 для одного измерительного модуля и до 127×20 при использовании группового коммутатора (кодového) Ф7019	Циклический, кратный и непрерывный, адресный	Измерительный модуль—сочетание аналогового коммутатора (переключающего тензорезисторы) Ф7017 и цифрового моста Ф7018	—	Длина проводов, подключающих тензорезисторы, до 50 м	—

Тип системы	Измеряемая величина	Пределы измерения	Вид обработки	Оснащенность средствами вычислительной техники	Вид представления информации
K484	Напряжение постоянного тока	1; 10; 100; 1000 В	—	—	Индикатор, регистратор 20 строк/с при 16 разрядах в строке
K200	Напряжение постоянного тока	0,1; 1; 10; 100; 1000 В	Сравнение с уставкой (дискриминатор П215)	—	Индикация, пишущая машинка ЭУМ-23, перфоратор ПЛ-150
K734	Напряжение постоянного тока	1 В	—	—	Индикация, пишущая машинка ЭУМ-23, перфоратор ПЛ-150
		10 В			
	Постоянный ток	10 мА			
	Действующее значение переменного синусоидального тока	0,05; 0,5; 5; 50 В при частотах 50 Гц — 50 кГц			
Отношение двух постоянных напряжений	10 %				
	, 100 %				
K732	Отклонение значений сопротивлений тензорезисторов от номиналов	+2,5% при номиналах 100, 120, 200, 400 Ом	Вычисление относительных изменений сопротивлений тензорезисторов, запоминание результатов измерения для последующей обработки	Устройство первичной обработки (и запоминания) информации УПО-K732	Цифровое табло, цифровой регистратор Н708, электроуправляемая пишущая машинка ЭУМ-23Д, кодовый двухкоординатный графопостроитель Н709, перфоратор ПЛ-150

Примечание. Системы K200, K484, K734 предназначены для использования в научке в качестве составной части систем контроля и управления технологическими процессами; рительной информации о состоянии испытуемых объектов в процессе статического (или квази

Устройства согласования	Блоки управления	Вывод на ЭВМ	Программирование	Структура и число разновидностей систем	Габариты, масса, исполнение
—	Цифровые часы	Параллельный код 8—4—2—1	—	Цепочно-радиальная (цепочечная для информационных сигналов, радиальная для служебных сигналов)	—
Усилитель-согласователь Ф270; транс-криптор Ф250 или Ф253	Программно-временное устройство Ф260	Параллельный код 8—4—2—1, перфолента	—	Цепочно-радиальная; 12 разновидностей систем для трех базовых моделей: измерительная система, контрольно-измерительная система, коммутация сигналов	480×330× ×560 мм, 40 кг, стоечное
Преобразователь параллельного кода 8—4—2—1 в байтный Ф7160	Программное устройство Ф7143, цифровые часы Ф7141	Параллельный код 8—4—2—1, перфолента	Программируется выбор блока, выбор режима работы и диапазон измерения	Магистрально-радиальная; условия взаимодействия блоков приближены к интерфейсу ЕИ-1	500×500× ×595 мм, не более 60 кг; стоечное
Устройство связи с пишущей машинкой ЭУМ-23Д типа Ф7161; устройство связи Ф7161 с перфоратором ГЛЛ-150	Устройство управления Ф7020	Двоичный код 11-рядный, перфолента	Ручное от органов управления блоками или наборным полем и дистанционное	Цепочно-радиальная; 6 разновидностей	Все блоки выполнены в конструктивах АСЭТ, размеры каждого 480×158× ×490 мм, стоечное, 40 кг для К732/1

ных исследованиях, в исследованиях и испытаниях систем промышленной автоматизации, а таксистема К732 предназначена для сбора, обработки и представления в различной форме измерительных данных (статистического) прочностного эксперимента [33].

широкого назначения: для лабораторной практики, научных исследований и промышленных испытаний (К484, К485, К200, К734, К744) [33];

для испытаний и исследований механических конструкций (К732) [33];

теплового контроля энергообъектов (СТК-400) и т. д. [33].

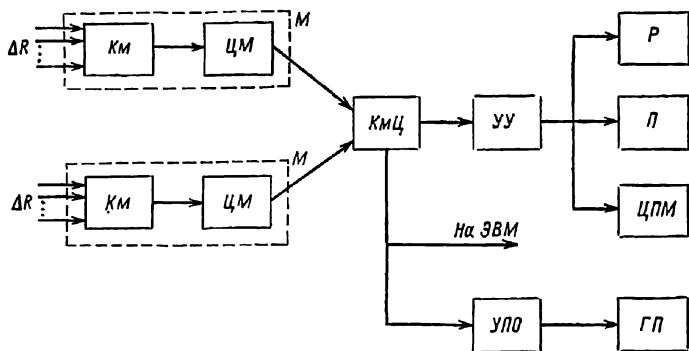


Рис. 5-9. Структурная схема ИИС К732.

КМ — коммутатор аналоговый типа Ф7017; *ЦМ* — цифровой мост типа Ф7018; *М* — модуль; *КМЦ* — цифровой коммутатор типа Ф7019; *УУ* — устройство управления типа Н7020; *П* — перфоратор ленточный типа ПЛ-150; *ЦПМ* — электроуправляемая пишущая машинка типа ЭУМ-23Д; *УПО* — устройство первичной обработки информации типа УПО К732; *ГП* — кодовый двухкоординатный построитель типа Н-709.

Все эти ИИС построены по блочно-модульному принципу, большинство из них создано методом индивидуальной разработки (за исключением ИИС типов К200 и К734, в которых частично использован принцип компоновки). Образующие их блоки удовлетворяют требованиям к модулям АСЭТ. Системы реализуют операции сбора данных, измерения, преобразования, первичной обработки (сравнение результатов измерения с уставками), выдачи информации на ЭВМ и оператору, выдачи сигналов управления. Системы имеют в основном один измерительный тракт (лишь в К734 их четыре), используют радиально-цепочечную структуру (исключением является К734, где применяется радиально-магистральная) и в большинстве случаев выпускаются несколькими модификациями с возможностью наращива-

ния от простейшей к более сложным. Принцип взаимодействия блоков только в ИИС типа К734 максимально приближен к требованиям интерфейса ЕИ-1.

Основные технические характеристики некоторых из упомянутых ИИС приведены в табл. 5-1 [81—84].

Структурные схемы ИИС К484, К200, К734 и К732 приведены соответственно на рис. 5-6—5-9.

Глава шестая

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АСЭТ

Развитие АСЭТ происходит в двух основных направлениях. Первое из них — расширение структуры комплекса и увеличение номенклатуры разрабатываемых и выпускаемых средств — связано прежде всего с расширением области применения средств и с обновлением элементной базы. Широкое внедрение интегральных микросхем в электроизмерительные приборы позволило перейти к созданию средств многофункциональных и программируемых, отличающихся высокими метрологическими и эксплуатационными характеристиками. Этому же способствовало появление первых отечественных микропроцессоров. Второе направление связано с необходимостью совместного применения средств агрегатного комплекса в ИИС и измерительно-вычислительных комплексах (ИВК). Это оно ставит задачи обеспечения полной информационной совместимости средств комплекса и разработки процедур компоновки ИИС и ИВК из агрегатных средств.

Изменения в составе АСЭТ удобно рассмотреть по функциональным группам средств. В группе первичных измерительных преобразователей расширилась номенклатура преобразователей электрических величин и параметров электрических цепей: постоянного и переменного тока напряжения, активной и реактивной мощности и частоты — это ПИП серий Е824—Е831, малогабаритные с повышенной надежностью ПИП серий Е7010—Е7018, преобразующие в ток, кроме упомянутых параметров, также сопротивление изоляции электрической цепи и активное сопротивление [87]. Появилась серия нормирующих преобразователей для датчиков неэлектрических величин: Ш71 для термометров сопротивлений (96 мо-

дификаций); Ш72 для термопар (60 модификаций), Ш73 для реохордов (6 модификаций); Ш70—для дифференциально-трансформаторных датчиков (8 модификаций). Разрабатываются преобразователи для тензометров [87].

Большинство указанных измерительных преобразователей (ИП) имеет расширенный диапазон, например по напряжению постоянного тока до 2000 В, напряжению переменного тока до 400 В, и соответственно большее число поддиапазонов (до 5). Повышен класс точности до 0,5. Некоторые серии ИП имеют весьма высокую надежность (вероятность безотказной работы $P=0,95$ за 5000 ч). Габариты преобразователей уменьшены, а некоторые серии ИП разрабатываются в УТК.

В состав вторичных однородных ИП вошли:

шесть функциональных ИП (серий Е817—Е821), реализующих основные алгебраические функции (сложение, умножение, деление, логарифмирование, квадрирование и извлечение корня квадратного) в аналоговом виде с точностью 0,5%, и многофункциональный ИП в гибридно-пленочном исполнении;

три типа усилителей постоянного тока с чувствительностью до 0,1 мкВ и дрейфом до 0,05 мкВ/°С;

более пяти типов быстродействующих измерительных усилителей класса точности от 1 до 0,05 с коэффициентом подавления помех общего вида до 80 дБ.

Во вторичных неоднородных ИП следует выделить преобразователь напряжение—частота типа Е832 класса 0,5 и ряд преобразователей в гибридно-пленочном исполнении (преобразователи код—ток, код—напряжение и т. д.) [88].

Разработки коммутаторов второй и третьей серий направлены на последовательное улучшение метрологических характеристик и расширение функциональных возможностей. Так, во второй серии планируется создать коммутатор Ф7078 с погрешностью 0,05% (при использовании бесконтактных ключей) и 0,005% (при использовании контактных ключей) и быстродействием 1 мкс и 10 м соответственно. В третьей очереди предполагается создать коммутатор с погрешностью 0,01 и 0,001%. Предусматривается расширение числа коммутируемых каналов до 1000 (с вставными блоками ключей на 20, 100 и 200 каналов), дистанционное и автономное

питание и управление, а также сменный интерфейсный блок [88].

Значительно пополняется группа аналого-цифровых преобразователей АЦП. Уже в 1976 г. вышли первые промышленные партии Ш68300, Ф4222, Ф4892, Ф4881 и Ф7077/1,2; в 1977 г.—Ф4870, Ф4891/1,2 и Ф4833 [89]. Эти АЦП имеют погрешности от 0,5 до 0,005% при быстродействий 10^2 — 10^5 преобразований/с и более, а подавление помех общего вида до 60—80 дБ. Конструктивное исполнение АЦП отражает рост степени интеграции элементной базы. Происходит постепенное уменьшение габаритов приборов до размеров частичного вставного блока приборной части УТК и переход к модульному исполнению (например, АЦП типа Ф7077). В дальнейшем предполагается переход на интегральные микросхемы большой интеграции.

Существенное развитие претерпела группа цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП).

В АСЭТ, кроме ЦАП с выходом на четыре упомянутых ранее унифицированных аналоговых сигнала, вошли преобразователи с выходным сигналом или параметром в виде импульсной последовательности, фазы переменного напряжения, сопротивления, емкости, индуктивности и двух напряжений с калиброванным отношением, в том числе и высокоточные.

В состав этой группы входят «обычные» ЦАП с выходом по напряжению постоянного тока и току в виде унифицированных сигналов с погрешностью 0,1—0,02% и быстродействием до 10^5 преобразований/с (например, Ф4810/1,2; Ф4241), для которых характерен переход к модульному исполнению [89], в дальнейшем — к интегральным микросхемам. В эту группу входят и новые классы средств измерительной техники — программируемые источники калиброванных напряжений постоянного тока, например, Ф7046 с погрешностью 0,003%, цифрууправляемый калибратор фазовых сдвигов Ф5125 с погрешностью 0,1%, также предполагаемые к разработке программируемый источник калиброванных напряжений переменного тока, широкополосный цифрууправляемый калибратор фазы переменного напряжения, цифрууправляемые магазины сопротивлений, емкости, индуктивности и источники напряжения с заданным отношением [88]. К этой группе условно отнесены и двухканальные ЦАП с линейной интерполяцией для преобразования

цифровых данных в два аналоговых напряжения для дальнейшего ввода в двухкоординатные графопостроители.

Особенно большое развитие получают цифровые измерительные приборы с повышенными метрологическими и технико-эксплуатационными характеристиками. В ближайшие годы предполагается достигнуть следующих параметров:

- по напряжению постоянного тока погрешности 0,001—0,0005% при чувствительности 0,1 мкВ;

- по напряжению переменного тока погрешности 0,05—0,02% (в пределах 0,1—1000 В в частотном диапазоне 20 Гц—1000 кГц) и погрешности 0,5—0,2% (в инфранизком диапазоне частот 0,01—5 Гц);

- по измерению активной мощности 0,5%;

- по измерению частоты диапазона 0— 10^8 Гц при нестабильности $1 \cdot 10^{-7}$;

- по измерению сопротивления диапазона 10^{-8} — 10^{16} Ом при максимальной точности в средней части диапазона (10 — 10^7 Ом) до 0,0005%;

- при измерении фазы от 0 до 360° погрешности 0,3—0,5° в частотном диапазоне до 1 кГц и более;

- по измерению емкости диапазона 10^{-14} — 10^{-3} Ф;

- по измерению индуктивности 10^{-7} —100 Гн.

Планируется разработка и освоение в серийном производстве лабораторных и переносных приборов с подавлением помех общего вида до 140 дБ (например, Щ1612, Ф4215); широкой гаммы миниатюрных щитовых цифровых приборов с повышенной дальностью отсчета, со встроенными дискриминаторами и т. д.; комбинированных приборов со встроенными преобразователями для измерения более десяти измеряемых величин; цифровых мостов и т. д. [88].

Состав аналоговых устройств измерения электрических величин в АСЭТ II очереди пополнен серией малогабаритных щитовых приборов для измерения в цепях постоянного и переменного тока, пределы измерения которых соответствуют унифицированным сигналам ГСП, и серией приборов без механически перемещающихся частей с повышенным быстродействием и улучшенными прочностными характеристиками, рассчитанных на практически полную автоматизацию изготовления методами пленочной технологии и предназначенных для работы в тяжелых условиях эксплуатации. Следует отметить перспективность использования этих приборов в

простейших измерительных системах, так как в них сочетаются аналоговые представления информации для человека-оператора и цифровое представление этой же информации, удобное для дальнейшей обработки. К аналоговым устройствам измерения относятся также трехоктавные анализаторы спектра в реальном масштабе времени, охватывающие частотные диапазоны 1—1000 Гц (типа Ф4325) и 20—20 000 Гц (типа Ф4326И), реализующие последовательный и параллельный методы анализа с основной погрешностью 1—2 дБ [90]. В этих пределах предлагается вывод информации в аналоговой и цифровой формах.

Особо следует остановиться на магнитометрической аппаратуре, которая входит в группу как аналоговых, так и цифровых устройств измерения. В состав аналоговой группы войдут шесть приборов для измерения напряженности и индукции постоянного и переменного магнитных полей в диапазоне 0,5—1500 мТл классов 0,2 и 0,5 с выходом в виде унифицированных сигналов по напряжению (0—1 В) и по частоте и отсчетом в аналоговом виде, а для некоторых (Г75, Г76) и в цифровом виде [90]. Среди цифровых приборов проявляется целая гамма приборов и устройств для определения характеристик магнитных материалов: универсальный преобразователь для испытания ферромагнитных материалов в постоянных полях напряженностью 0,1— 10^5 А/м (диапазон измерения магнитного потока 10— 10^4 мкВб с погрешностью 0,5%), цифровые феррометры для испытания магнитных материалов в диапазонах частот от 25 Гц до 1 кГц и 10 кГц и цифровой микровеберметр класса 0,5 в диапазоне 10— 10^4 мкВб. Устройства измерения регистрирующие в АСЭТ II очереди представлены щитовыми самопишущими приборами (габаритами 160×160 мм и записью в прямоугольной системе координат) для измерения и регистрации напряжения и тока (постоянного и переменного), активной и реактивной мощности классов 1,5, 1 и 0,5, а также переносными самопишущими приборами (четыре типа), в которых расширяется частотный диапазон при числе каналов регистрации до четырех, увеличивается чувствительность до 50 мкВ/см при линейности 0,2% и увеличивается число измеряемых величин и диапазонов их измерения за счет использования измерительных преобразователей АСЭТ.

Расширяется номенклатура средств представления информации, которые позволяют уменьшить число применяемых средств за счет комплексного представления информации с учетом требований эргономики. К ним относятся многоканальный индикатор — элюрограф на линейных газоразрядных элементах типа Н711, универсальный цветной измерительный знакографический индикатор типа Н712, разрабатываются щитовой измерительный индикатор графических зависимостей с возможностью оцифровки и матричным газоразрядным плоским экраном, аппаратура дистанционного отображения информации на экранных пультах и серия цифровых и знаковых индикаторов с повышенной дальностью отсчета (максимальная частота ввода информации в память до 10 МГц) [87].

Таким образом, в состав АСЭТ войдет еще более 155 типов средств ЭИТ (с модификациями более 500), в большой степени удовлетворяющих системным требованиям.

В области создания ИИС на основе средств АСЭТ проводится разработка новых моделей для ставших уже традиционными областей, таких как лабораторная практика, исследование прочности конструкций и т. д. Здесь развитие идет в сторону увеличения числа измеряемых каналов (до 1000 и более), расширения многообразия измеряемых электрических величин (организация нескольких измерительных трактов в ИИС для измерения постоянного и переменного напряжений, частоты, сопротивления электрической цепи и пр.), повышения метрологических и надежности характеристик ИИС, их помехозащищенности. Предполагается разработка специализированных трактов в составе ИИС, предназначенных для измерения типовых неэлектрических величин, в частности температуры термометрами сопротивлений и термопарами со стандартными характеристиками.

Вместе с тем разрабатываются ИИС для новых областей применения и прежде всего диагностические ИИС для определения технического состояния машин и механизмов ИИС, для определения неисправности электрических цепей, ИИС повышенной надежности для контроля и управления энергообъектами, ИИС для автоматизированных испытаний электронных устройств (в том числе автоматизированной поверки электроизмери-

тельных приборов) и т. д. Существенное развитие должно получить применение средств АСЭТ в ИИС для научных исследований, для которых характерны повышенные требования к метрологическим характеристикам, сочетание ручного и автоматизированного управления, необходимость быстрого изменения структуры и состава системы в условиях неопределенности эксперимента.

Появление мини-ЭВМ, совмещающих широкие функциональные возможности универсальных ЭВМ с возможностью работы по программному каналу в реальном времени и позволяющих подключить развитой системы ввода — вывода информации, кардинально изменяет традиционные методы построения ИИС. Центральной частью ИИС становится ЭВМ, выполняющая наряду с вычислительными функциями программирование блоков системы по режимам работы и управляющая ходом эксперимента. Благодаря использованию программных методов обработки данных (для целей линеаризации передаточных характеристик блоков, масштабирования, фильтрации, подавления помех и пр.) появляется возможность упрощения аппаратуры измерительной части ИИС.

Вычислительные машины интенсивно развивающегося в настоящее время семейства малых ЭВМ (СМ ЭВМ) в наибольшей мере удовлетворяют требованиям системного использования и предназначены стать основой при создании ИВК и ИИС на основе средств АСЭТ для промышленного применения, научных исследований и испытаний.

В качестве первого примера ИВК, созданного методом проектной компоновки из средств АСЭТ на основе ЭВМ типа СМ-3, можно привести специализированный комплекс СК-1.

В этот ИВК вошли выпускаемые приборы: измерительный коммутатор Ф799/2, аналого-цифровой преобразователь Ф4221, цифро-аналоговый преобразователь Ф723/1 и кодовый двухкоординатный графопостроитель Н709—средства АСЭТ I очереди. Испытания показали полную работоспособность такой системы и позволили оценить максимальную погрешность измерительного тракта (без графопостроителя) — не более 0,2% [88].

С завершением работ по созданию нормативно-технических документов, обеспечивающих полную информационную совместимость агрегатных средств, основным

способом создания ИИС и ИВК должна стать проектная компоновка, что позволит существенно сократить сроки создания сложных изделий электроизмерительной техники и удовлетворить значительную потребность в них народного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орешников В. В., Шкабардия М. С. Развитие отечественного электроизмерительного приборостроения. — Труды ВНИИЭП, 1972, № 12, с. 5—21.

2. Унифицирующие измерительные преобразователи/ Л. А. Воронков, Е. Е. Галкин, Н. Н. Завадский и др. — В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по перспективным направлениям развития электроприборостроения. — Л.: ВНИИЭП, 1975, с. 53—75.

3. Аналоговые функциональные устройства/ В. Г. Гончаров, Н. Н. Завадский, В. П. Кавакин и др. — Труды ВНИИЭП, 1972, № 12, с. 36—56.

4. Нечаев Ю. А., Орешников В. В., Островерхов В. В. Основные этапы и направления развития аналого-цифровых электроизмерительных средств. — Труды ВНИИЭП, 1972, № 12, с. 75—90.

5. Перспективы развития цифровой вычислительной техники: Цифровые измерительные приборы и аналого-цифровые преобразователи/ П. П. Орнатский, Е. Т. Володарский, А. М. Габинский и др. — В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по перспективным направлениям развития электроприборостроения. — Л.: ВНИИЭП, 1975, с. 100—117.

6. Устройства представления и системы отображения измерительной информации/ А. В. Воскресенский, Н. Н. Завадский, В. М. Лейн и др. — Труды ВНИИЭП, 1972, № 12, с. 138—152.

7. Шкабардия М. С., Мартыненко Н. В. Средства измерительной техники. — Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по перспективным направлениям развития электроприборостроения. — Л.: ВНИИЭП, 1975, с. 117—141.

8. Беленький И. Я., Чеблоков И. В. Основные принципы магистрального способа передачи информации в ИИС. — Труды ВНИИЭП, 1974, № 21, с. 13—22.

9. Измерительные информационные системы/ И. Я. Каверкин, Р. С. Ермолов, А. В. Колчин и др. — В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по перспективным направлениям развития электроприборостроения. — Л.: ВНИИЭП, 1975, с. 37—53.

10. Каверкин И. Я., Певзнер Г. С., Цветков Э. И. Агрегатирование в электроизмерительной технике. — Приборы и системы управления, 1974, № 1, с. 28—30.

11. Агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники/ Э. И. Цветков, Н. И. Гореликов, Г. С. Певзнер, М. Б. Цодиков. — В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по перспективным направлениям развития электроприборостроения. — Л.: ВНИИЭП, 1975, с. 20—37.

12. Каверкин И. Я., Цветков Э. И. Анализ и синтез измерительных систем. Л.: Энергия, 1974. — 155 с.

13. Каверкин И. Я. Агрегатирование и сокращение времени разработок в электроизмерительной технике. — Труды ВНИИЭП, 1973, № 14, с. 24—36.

14. Основные понятия и определения агрегатирования в электроизмерительной технике/ И. Я. Каверкин, А. М. Лесова, Я. Г. Неуймин и др. — Приборы и системы управления, 1976, № 4, с. 28—29.

15. Кавалеров Г. И., Каверкин И. Я., Шкабардия М. С. О принципах построения агрегатного комплекса средств электроизмерительной техники. — Приборы и системы управления, 1969, № 6, с. 1—4.

16. Проблемы агрегатирования в области электрических измерений/ Н. Н. Завадский, И. Я. Каверкин, М. В. Колоколов и др. — Труды ВНИИЭП, 1972, № 12, с. 22—35.

17. Цветков Э. И. К вопросу об определении нормального ряда приборов данной номенклатурной группы. — Труды ВНИИЭП, 1970, № 3 (4), с. 14—22.

18. Мандельштам С. М., Хаскин А. М., Хайтин А. М. К вопросу о построении оптимальных рядов средств АСЭТ. — Труды ВНИИЭП, 1970, № 6, с. 10—18.

19. Полуэктов Р. А., Пуцима И. М. Модель комплекса электроизмерительных средств для построения нормальных рядов приборов. — Труды ВНИИЭП, 1970, № 6, с. 19—26.

20. Пуцима И. М. О существовании решения задачи назначения параметрических рядов приборов. — Труды ВНИИЭП, 1971, № 9, с. 14—19.

21. Хайтин А. М. О построении нормальных рядов электроизмерительных приборов. — Труды ВНИИЭП, 1972, № 11, с. 47—53.

22. Очеретянский С. М. О построении оптимальных параметрических рядов. — Стандарты и качество, 1972, № 1, с. 11—17.

23. Гимади Э. Х., Дементьев В. Т. О методах решения некоторых задач по оптимизации параметрических рядов. — Стандарты и качество, 1971, № 12, с. 10—12.

24. Терехов Л. Л. Экономико-математические методы. — М.: Статистика, 1968. — 300 с.

25. Ипатов И. И. Расчеты себестоимости проектируемых машин. — М.: Машиностроение, 1968. — 180 с.

26. Консон А. С. Экономические расчеты в приборостроении. — М.: Высшая школа, 1973. — 200 с.

27. Хайтин А. М., Хаскин А. М. Один метод оптимизации нормальных рядов электроизмерительных приборов. — Труды ВНИИЭП, 1971, № 7, с. 15—23.

28. Каверкин И. Я., Лесова А. М., Певзнер Г. С. Измерительные преобразователи: Классификация и определения. — Труды ВНИИЭП, 1971, № 8, с. 33—44.

29. Антипова Д. Б., Певзнер Г. С. Агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники (АСЭТ): Структура и состав АСЭТ. Первичные и вторичные преобразователи, коммутаторы. — Отрасле-

вой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1978, вып. 1—2. — 36 с.

30. Антипова Д. Б., Певзнер Г. С. Агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники (АСЭТ): Цифровые вольтметры, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. — Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1978, вып. 3—4. — 24 с.

31. Антипова Д. Б., Певзнер Г. С. Агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники (АСЭТ): Цифровые щитовые вольтметры и комбинированные цифровые приборы. — Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1978, вып. 5—6. — 40 с.

32. Антипова Д. Б., Певзнер Г. С. Агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники (АСЭТ): Аналоговые щитовые приборы, цифровые частотометры, счетчики, омметры, мосты. — Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1978, вып. 7. — 40 с.

33. Антипова Д. Б., Певзнер Г. С. Агрегатный комплекс средств электроизмерительной техники (АСЭТ): Средства аналоговой регистрации представления информации, устройства измерения, контроля и регистрации на основе технических средств комплекса. — Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1978, вып. 8. — 32 с.

34. Ковалевская В. В., Машенков В. М. Энергетические измерительные преобразователи электрических величин. — Л.: Энергия, 1969. — 268 с.

35. Майзель В. И., Машенков В. М. Измерительный преобразователь напряжения постоянного тока. — Труды ВНИИЭП, 1976, № 29, с. 47—54.

36. Волгин Л. И. Линейные электрические преобразователи для измерительных приборов и систем. — М.: Советское радио, 1971. — 200 с.

37. Классификация измерительных преобразователей мощности/ Т. И. Бархатова, В. У. Кизилов, В. Т. Максимов, Ю. В. Савков. — Труды ВНИИЭП, 1975, № 26, с. 60—66.

38. Прибор Г-73 для измерения напряженности слабых переменных и постоянных магнитных полей/ В. В. Афанасьев, Ю. П. Обошнев, С. А. Скородумов и др. — Приборы и техника эксперимента, 1972, № 5, с. 259.

39. Прибор Г-74 для измерения напряженности постоянных магнитных полей/ Г. Г. Бычков, О. И. Глинская, В. А. Марков и др. — Приборы и техника эксперимента, 1973, № 4, с. 268.

40. Каверкин И. Я., Нечаев Ю. А., Островерхов В. В. Средства аналого-цифрового преобразования в электроизмерительной технике. — Труды ВНИИЭП, 1972, № 12, с. 91—99.

41. Цифровые измерительные приборы/ Р. С. Ермолов, Г. Г. Живилов, И. Я. Каверкин и др. — Л.: Энергия, 1971. — 160 с.

42. Цифровые электроизмерительные приборы/ В. В. Богданов, А. А. Богородицкий, Д. И. Леонтьев и др. — М.: Энергия, 1972. — 400 с.

43. Устройства измерения и представления измерительной информации АСЭТ (классификация)/ И. Я. Каверкин, В. М. Лейн, Г. С. Певзнер, Л. В. Полякова. — Труды ВНИИЭП, 1972, № 11, с. 3—8.

44. Рациональные параметрические ряды устройств представления измерительной информации/ Т. И. Бархатова, В. М. Лейн, Г. С. Певзнер, Л. В. Полякова. — Труды ВНИИЭП, 1975, № 26, с. 51—59.
45. Ефимов Ю. Е., Петров В. Д., Семенов В. П. Конструктивные элементы АСЭТ — приборная часть унифицированных типовых конструкций. — В кн.: Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического совещания «Агрегатирование в приборостроении». — Л.: ВНИИЭП, 1972, с. 19.
46. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Т. 5. Типовые конструктивы и элементы. Вып. 2. Унифицированные типовые конструкции: Каталог. — М.: ЦНИИТЭИ-приборостроения, 1976. — 88 с.
47. Волков Е. В., Певзнер Г. С. Состав элементарно-конструктивной базы АСЭТ и его метрологическое обеспечение: Обзор. — М.: ЦНИИТЭИ-приборостроения, 1975. — 51 с.
48. Каверкин И. Я. Агрегатирование и сокращение времени работок в электроизмерительной технике. — Труды ВНИИЭП, 1973, № 14, с. 24—36.
49. Микроэлектронная элементная база агрегатного комплекса средств электроизмерительной техники/ В. А. Воробьев, Б. И. Котлецов, И. Л. Смелянский, Ю. Г. Тамберг. — Труды ВНИИЭП, 1972, № 12, с. 153—162.
50. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных приборах. — Л.: Энергия, 1974. — 142 с.
51. Микроэлектронная элементная база электроизмерительной техники/ Ю. Г. Тамберг, С. П. Верзулов, В. С. Гутников и др. — В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по перспективным направлениям развития электроприборостроения. — Л.: ВНИИЭП, 1975, с. 141—151.
52. Изделия Львовского завода электроизмерительных приборов: Каталог. — Львов, Львовский облолитографиздат, 1976. — 63 с.
53. Элементарная база электроизмерительной техники/ З. И. Зеликовский, Е. Я. Бадентер, В. В. Виоградов и др. — В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по перспективным направлениям развития электроприборостроения. — Л.: ВНИИЭП, 1975, с. 152—168.
54. О построении делителей напряжения переменного тока на фольговых резисторах/ З. Д. Василевская, К. В. Петров, Е. П. Семехина, Т. Г. Сердобинцева. — Труды ВНИИЭП, 1976, № 32, с. 13—23.
55. Дегтярь Л. Э., Зафрина Л. И., Зеликовский З. И. Прецизионные пассивные режекторные RC-фильтры из коаксиального микропровода. — Электросвязь, 1976, № 6, с. 28—34.
56. Применение резисторных микропроволочных фильтров в активных фильтрах низких и инфранизких частот/ М. В. Козлов, А. И. Митрофанов, М. И. Таран и др. — В кн.: Избирательная система с обратной связью. — Таганрог, ТРТИ, 1978, вып. 4, с. 178—184.
57. Волгин Л. И. Измерительные преобразователи переменного напряжения в постоянное. — М.: Советское радио, 1977. — 112 с.
58. Состояние и проблемы теории электроизмерительной техники/ Г. И. Кавалеров, А. И. Беляевский, К. С. Демирчян и др. —

В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по перспективным направлениям развития электроприборостроения. — Л.: ВНИИЭП, 1975, с. 3—20.

59. Иванов В. Н. Исследование методов анализа и синтеза линейных информационных систем с оптимизацией по метрологическим характеристикам: Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. — Л.: ВНИИЭП, 1974. — 28 с.

60. Раппопорт Е. З., Гликман И. Я. Оптимизация агрегатированных систем по метрологическим характеристикам. — Приборы и системы управления, 1974, № 2, с. 25—26.

61. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации: Комплекс агрегатных средств контроля и регулирования АСКР-ЭЦ/ С. Д. Альтшуль, Л. А. Воронков, Г. И. Гильман и др. — Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1977, т. 3, вып. 16. — 36 с.

62. Метрологическое обеспечение средств электроизмерительной техники/ В. О. Арутюнов, М. С. Векслер, О. П. Галахова и др. В кн.: Тезисы докладов IV Всесоюзной научно-технической конференции по перспективным направлениям развития электроприборостроения. — Л.: ВНИИЭП, 1975, с. 239—258.

63. Богорад Л. М., Векслер М. С., Решетова Л. М. Метрологическая аппаратура для средств электрических измерений: Обзор. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1976. — 40 с.

64. Васильев Б. И., Фуки Б. А. К вопросу проектирования источника калиброванных напряжений постоянного тока. — Труды ВНИИЭП, 1976, № 29, с. 77—85.

65. Авербух А. М., Капиев Р. Э., Сафаров А. А. Программированный источник калиброванных напряжений. — Труды ВНИИЭП, 1974, № 22, с. 110—116.

66. Электрические измерения: Средства и методы измерений/ Под ред. Е. Г. Шрамкова. — М.: Высшая школа, 1972. — 519 с.

67. Студенцов Н. В. Меры основных магнитных величин. — М.: НПОприборпром, 1965. — 71 с.

68. Богорад Л. М., Векслер М. С. Некоторые аспекты создания агрегатного комплекса средств метрологического обеспечения. — Труды ВНИИЭП, 1973, № 18, с. 3—9.

69. Minck J. Justif automatic calibration systems. — Instruments and Control Systems, 1972, vol. 45, № 10, p. 13—17.

70. Установка для автоматизированной поверки цифровых вольтметров постоянного тока/ Л. Кордыш, Г. Чадо, Р. Э. Капиев. — Труды ВНИИЭП, 1974, № 21, с. 95—102.

71. Цапенко И. П. Измерительные информационные системы. — М.: Энергия, 1974. — 319 с.

72. Кавалеров Г. И., Мандельштам С. М. Введение в информационную теорию измерений. — М.: Энергия, 1974. — 375 с.

73. Андреева И. А., Каверкин И. Я., Чеблоков И. В. Унифицированный интерфейс ЕИ-1 и его применение для построения измерительных информационных систем. — Труды ВНИИЭП, 1975, № 26, с. 16—27.

74. Певзнер Г. С., Цодиков М. Б. Стандартные интерфейсы в электронной измерительной технике за рубежом: Обзор. — М.: ЦНИИТЭИприборостроения, 1976. — 63 с.

75. Долинский Ю. В. Анализ статического режима работы аналого-цифрового преобразователя с малыми внутренними помехами.— Автометрия, 1971, № 5, с. 86—96.

76. Персин С. М. Основы теории и проектирования автоматических измерительных систем.— Л.: Гидрометеоиздат, 1975.— 320 с.

77. Островерхов В. В. Динамические погрешности аналого-цифровых преобразователей.— Л.: Энергия, 1975.— 176 с.

78. Певзнер Г. С., Щербаковский Г. З., Шоломицкий А. Г. Математическая модель процесса коммутации.— Труды ВНИИЭП, 1973, № 14, с. 181—187.

79. Певзнер Г. С., Щербаковский Г. З. Оценка надежности измерительного коммутатора с пирамидальной структурой.— Труды ВНИИЭП, 1974, № 22, с. 95—102.

80. Полонников Д. Е. Решающие усилители.— М.: Энергия, 1973.— 247 с.

81. Дзисяк Э. П., Матвеев В. И., Николайчук О. Л. Универсальная цифровая измерительная регистрирующая система.— В кн.: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции «ИИС-75». — Кишинев, КНИИЭП, 1975, с. 120.

82. Малогабаритная измерительная информационная система/ В. М. Осипов, В. С. Палкин, Е. П. Разгуляев, М. М. Чернин.— Приборы и системы управления, 1976, № 4, с. 37—38.

83. Кенарский В. М., Соколов С. С. ИИС для статических прочностных испытаний.— Труды ВНИИЭП, 1974, № 21, с. 3—12.

84. Беленький В. М., Чеблоков И. В. Структурное построение и технические характеристики агрегатной многофункциональной измерительной системы К734.— Труды ВНИИЭП, 1974, № 21, с. 22—28.

85. Белякова И. П., Островерхов В. В., Уверская Р. Н. Многоканальный цифровой измеритель сигналов низкого уровня.— Труды ВНИИЭП, 1974, № 21, с. 48—53.

86. Особенности ИИС для диагностики машин и механизмов/ Р. С. Ермолов, Р. А. Ивашев, Г. Ф. Морозов, М. Б. Цодиков.— Труды ВНИИЭП, 1974, № 21, с. 29—37.

87. Завадский Н. Н., Павлова Т. З. Создание аналоговых функциональных устройств, средств представления информации и приборов на новых физических эффектах.— Труды ВНИИЭП, 1977, № 34, с. 67—75.

88. Развитие АСЭТ в 10-й пятилетке/ Н. И. Гореликов, Г. С. Певзнер, Э. И. Цветков, М. Б. Цодиков.— Труды ВНИИЭП, 1977, № 34, с. 23—36.

89. Антипова Д. Б., Певзнер Г. С., Шаронов А. В. Агрегатированный комплекс средств электронизмерительной техники (АСЭТ): Цифровые вольтметры, аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи.— Отраслевой каталог на серийно выпускаемое и перспективное оборудование.— М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1979, вып. 9.— 34 с.

90. Средства измерений и спектрального анализа параметров электромагнитного поля, перспективы их развития/ Н. М. Семенов, С. А. Скородумов, Г. А. Тиханов и др.— Труды ВНИИЭП, 1977, № 34, с. 55—66.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
В-1. Общие сведения	5
В-2. Состояние и тенденции развития средств ЭИТ	8
В-3. Агрегатирование — основа системотехнического подхода к созданию современной электроизмерительной аппаратуры	14
Глава первая. Принципы построения и структура АСЭТ	17
1-1. Основные задачи, решаемые при создании агрегатного комплекса	17
1-2. Требования к агрегатному комплексу и его средствам	20
1-3. Методология определения структуры и состава АСЭТ	26
Глава вторая. Структура АСЭТ и состав его I очереди	45
2-1. Структура АСЭТ	45
2-2. Общая классификация средств АСЭТ	58
2-3. Состав средств АСЭТ I очереди	61
Глава третья. Конструктивно-элементная база АСЭТ	105
3-1. Унифицированные типовые конструкции АСЭТ	105
3-2. Микроэлектронная элементная база АСЭТ	112
Глава четвертая. Метрологическое обеспечение АСЭТ	120
4-1. Постановка вопроса	120
4-2. Вопросы теории и стандартизации определения и контроля метрологических характеристик	121
4-3. Аппаратура метрологического обеспечения	131
4-4. Автоматизация метрологических работ	142
Глава пятая. Измерительные информационные системы и принципы их построения	146
5-1. Методологические аспекты построения измерительных информационных систем	146
5-2. Информационная совместимость средств АСЭТ. Типы структуры ИИС	150
5-3. Измерительные информационные системы	156
Глава шестая. Перспективы развития АСЭТ	163
Список литературы	170