



**Васильев В.Т.** - ктн, зам. генерального директора по научной работе. ОАО ЦНИИИА (г. Саратов)  
Научные интересы: разработка спецтехнологического КИО.



**Логинов В.М.** - ктн. , начальник отдела ОАО ЦНИИИА (г. Саратов).  
Научные интересы: разработка спецтехнологического КИО для твердотельных СВЧ приборов

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Васильев В.Т. , Логинов В.М.

Задача разработки и серийного выпуска высококачественных, конкурентоспособных изделий электронной техники (ИЭТ) не может быть решена без внедрения во все технологические циклы систем контроля качества и в первую очередь контрольно-измерительного оборудования (КИО) ., позволяющего сертифицировать все технологические операции, начиная с контроля исходных материалов и кончая приемно-сдаточными и периодическими испытаниями.

Центральный НИИ измерительной аппаратуры, созданный изначально для обеспечения КИО разработки и производства СВЧ ИЭТ, по мере развития электронной промышленности, резкого увеличения номенклатуры и объемов выпуска ИЭТ расширял номенклатуру и объемы выпуска КИО.

К концу 70-х годов в НИИ сложились основные тематические направления разработки КИО, соответствующие классам изделий электронной техники:

- Метрологическое обеспечение разработки и производства вакуумных и твердотельных СВЧ-приборов.
- Метрологическое обеспечение разработки и производства аналоговых и цифровых БИС.
- Метрологическое обеспечение разработки и производства магнитов и магнитных систем,
- Метрологическое обеспечение разработки и производства изделий волоконной оптики и квантово-оптических систем.

Известно, что в технологических процессах производства некоторых типов ИЭТ трудоемкость измерительных операций составляет до 40% себестоимости этих изделий, а себестоимость КИО составляет значительную часть себестоимости основных фондов, что при малом сроке его амортизации (5-7 лет) увеличивает его долю в амортизационных отчислениях.

Таким образом спецтехнологическое КИО должно обеспечивать:

- высокую точность измерений в целях обеспечения высокого качества ИЭТ и увеличения процента выхода годных изделий;
- высокую производительность измерительных операций и минимальную стоимость КИО в целях снижения себестоимости изделий.

Проблема удовлетворения именно этих противоречивых требований встала перед институтом в конце 70-х годов.

Анализ состояния метрологического обеспечения в отрасли и в НИИ позволил выявить основные проблемы, препятствующие выполнению поставленных задач:

- многообразие методов измерений и измерительных приборов и систем;
- избыточность вариантов конструктивных и технологических решений построения КИО;
- отсутствие в ряде случаев специализированной элементной базы КИО и единого программного подхода к разработке КИО,

- отсутствие координации деятельности измерительных подразделений приборных НИИ, ОКБ и предприятий - разработчиков измерительной техники смежных министерств.

Решение обозначенных проблем проводилось несколькими путями.

В рамках ЦНИИИА была серьезно пересмотрена идеология разработки и производства КИО. Значительные усилия были направлены на решение проблем унификации. В первую очередь - это унификация базовых несущих конструкций (БНК), проведенная в рамках НИИ и отрасли. В связи с широким внедрением в системы и приборы вычислительной техники, нового поколения источников питания унификация была углублена до принципиальных схем и конструктивно-технологических решений интерфейсных блоков и модулей, программно-математического обеспечения, модулей источников питания, модулей связи с объектами, аналогово-цифровых и цифроаналоговых преобразователей.

В этот период в НИИ внедряется САПР КИО и в первую очередь САПР печатных плат и текстовой документации (ТУ, ТО, И, Ф). Эти меры позволили значительно снизить трудоемкость разработки, подготовки производства и самого производства.

Анализ элементной базы КИО (задающих генераторов, датчиков сигналов, измерительных блоков и модулей, элементов ВЧ и СВЧ трактов), разработанной и выпускаемой как в НИИ, так и смежными предприятиями, позволил провести ее четкую классификацию с точки зрения применимости в разработках НИИ и сформулировать основные направления ее дальнейшей разработки и использования.

Решения по основным группам приборов.

#### *1. ВЧ и СВЧ генераторы, анализаторы сигналов*

Если до второй половины 70-х годов некоторые типы генераторов ( в частности панорамных СВЧ генераторов и анализаторов сигналов) разрабатывались и выпускались в НИИ, то с начала 80-х годов было принято решение применять их в качестве комплектующих изделий (производство, в основном, Минпромсвязи), согласовав их ТТ с точки зрения применимости в спецтехнологическом КИО с головными предприятиями Минпромсвязи ( в данном случае это Вильнюсский НИИРИП и Каунасский НИИРИТ).

Для исключения непредвиденных ситуаций на ведущих предприятиях Минпромсвязи были приобретены комплекты конструкторской и технологической документации на эти приборы.

#### *2. СВЧ- элементная база, включая датчики сигналов.*

Учитывая тот факт, что элементная база в значительной мере влияет на производительность, точность и себестоимость КИО было принято решение разворачивать широким фронтом разработку и производство специальной элементной базы собственными силами. Сформированы программы разработки и серийного освоения широкой номенклатуры СВЧ элементов (ответвители, аттенюаторы, нагрузки, волномеры, детекторные и смесительные головки и т.д.) в коаксиальном, волноводном и микрополосковом исполнении.

#### *3. Элементная база магнитометрического оборудования, КИО контроля оптоволоконных и квантово-оптических систем.*

Ситуация по этим тематическим направлениям аналогична направлению СВЧ измерительной техники.

В технически обоснованных случаях было принято решение применять серийные приборы общего применения, но датчики и специальные анализаторы сигналов разрабатывать собственными силами.

#### *4. Элементная база КИО для микроэлектроники.*

Эта проблема требовала особого рассмотрения. В начале 80-х годов системы контроля параметров цифровых и аналоговых БИС разрабатывались на базе дискретных ИЭТ (транзисторы, микросхемы, диоды, конденсаторы и др.) и до второй половины 80-х годов это позволяло производить качественное КИО, однако с ростом рабочих частот измеряемых микросхем, увеличения степени интеграции и количества выводов КИО резко усложнилось и перестало быть конкурентоспособным. Проблему можно было решить только разработкой специализированной элементной базы для этого КИО (генераторы слов, драйверы, компараторы и др.) на основе, как минимум, гибридных сборок и базовых матричных кристаллов. В 89 - 90 годах эти задачи были поставлены Минэлектронпромом перед ведущими предприятиями микроэлектроники, согласованы программы и началась разработка этой элементной базы.

Разработки прекратились во второй половине 91 года в связи с ликвидацией Минэлектронпрома и не возобновлены до настоящего времени ввиду отсутствия финансирования.

В 80-х годах Минэлектронпромом были проведены увязки программ разработки ИЭТ с программами разработки КИО. В начале 80-х годов 1 ГУ МЭП совместно с ведущими НИИ отрасли был сформирован ряд комплексных целевых программ создания перспективных ИЭТ, с учетом всех аспектов этой программы - исходные материалы, технологическое оборудование, контрольно-измерительное оборудование, испытательное оборудование и т.д. Наиболее характерной из этих программ была программа "Эфес" - разработка нового поколения электронных приборов миллиметрового диапазона. Научным руководителем программы был назначен член-корреспондент АН СССР Девятков Н.Д. Программа включала четыре основных блока:

- "Эфес-I" разработка нового поколения вакуумных СВЧ приборов миллиметрового диапазона.
- "Эфес - II" - разработка нового поколения твердотельных СВЧ приборов миллиметрового диапазона.
- "Эфес - III" - разработка новых технологий и спецтехнологического оборудования.
- "Эфес -IV " - разработка методик измерения и контрольно-измерительного оборудования.

Главным исполнителем программы "Эфес -IV " был утвержден ЦНИИИА, соисполнители Вильнюсский НИИРИП, Каунасский НИИРИТ, Нижегородский НИПИ.

В рамках этой программы было налажено четкое взаимодействие и распределение задач.

ЦНИИИА - разработка экспериментальных образцов КИО и опытных образцов спецтехнологического КИО, разработка элементной базы КИО.

Остальные - по сложившейся специализации серийного КИО общего применения - измерители КСВ и ослабления, шумов, мощности, частоты и т.д.

Еще три программы были сформированы в обеспечение разработки и производства магнитов и магнитных систем ("Стимул-I" ), арсенид-галлиевых твердотельных СВЧ приборов ("Стимул-II") и электровакуумных СВЧ приборов ("Стимул-III"). Эти программы формировались по идеологии аналогичной программе "Эфес", но предусматривали разработку только КИО для межоперационного контроля и приемо-сдаточных испытаний.

Структура этих программ представлена на рис. 1, 2, 3. На этих рисунках условно показаны основные стадии технологических процессов для каждого вида ИЭТ и применение КИО на этих стадиях.

Необходимо отметить, что параллельно с разработкой КИО предприятиями 1 ГУ и 6ГУ проводилась разработка и модернизация оборудования для основных технологических операций. В результате, завершения программы "Стимул-II" на 4-х предприятиях 1 ГУ МЭП были введены в эксплуатацию технологические цепочки, состоящие из 17 типовых модулей, укомплектованных измерительным оборудованием.

В ходе разработки КИО для этих модулей был решен ряд сложных конструктивно-технологических проблем:

- разработаны комплекты зондовых устройств для измерения вольт-амперных характеристик структур, не разрушающих их при контактировании;
- разработаны телевизионные микроскопы, позволяющие анализировать дефекты структур и топологии и контролировать подключение зондовых устройств (рис. 4, 5);
- автоматические и "ручные" зондовые станции с комплектами зондовых устройств для измерения СВЧ параметров твердотельных приборов на пластине и скрайбированных кристаллов (рис. 6);
- стыковка указанных выше элементов и модулей с серийными приборами, производимыми Минпромсвязи, и персональными компьютерами;
- разработаны образцы многофункциональных измерителей параметров бескорпусных твердотельных ИЭТ (рис. 7);
- комплекты широкополосных волноводных (рис. 8) и коаксиальных (рис. 9) СВЧ узлов.

Техническая и экономическая целесообразность идеологии, выработанной при

реализации указанных программ, была подтверждена развитием рынка в 90-х годах. При резком падении потребности в измерительной технике сохранился спрос именно на оборудование, разработанное в рамках указанных программ, причем экспорт в КНР, Венгрию, США, ФРГ составил до 80% общего объема поставок.

В последние годы развитие спецтехнологического КИО продолжается по этим же направлениям. Основные пути развития:

- освоение малых и сверхмалых коаксиальных каналов;
- разработка документации и технологической оснастки для изготовления СВЧ элементов по международным стандартам;
- разработка нового поколения КИО для межоперационного и выходного контроля твердотельных СВЧ приборов и магнитов с применением персональных компьютеров на базе идеологии "виртуальных" приборов;
- расширение номенклатуры и повышение качества и надежности контактирующих устройств.

Основные усилия направлены на решение задач в обеспечение Федеральной целевой программы "Развитие электронной техники в России". Для метрологического обеспечения выпуска приоритетных групп твердотельных СВЧ приборов (транзисторов и монолитных интегральных схем) разрабатывается комплект базовых блоков и спецтехнологической аппаратуры. Для выпуска конкурентоспособных ИЭТ необходима отечественная высокопроизводительная автоматизированная аппаратура нового поколения.

Ее особенностью является максимальное использование модульной архитектуры, допускающей оперативную модификацию аппаратуры непосредственно у потребителя и формирование "виртуальных" приборов по желанию потребителя с помощью специального программно-математического обеспечения и стандартных каналов типа КОП (IEEE-488), VXI, ISA.

Следующие отличительные особенности разрабатываемых измерительных систем нового поколения позволяют резко снизить массогабаритные характеристики, а также в конечном счете уменьшить материальные затраты за счет сокращения парка КИО при увеличении производительности по сравнению с имеющимся оборудованием:

- устройства первичной обработки информации являются внешними устройствами с подключением к параллельному порту персонального компьютера;
- основной объем обработки информации возложен на центральный процессор компьютера;
- панель управления прибором находится на экране компьютера.

Блочно-модульный принцип построения комплекта аппаратуры позволит отказаться от специальных и дорогостоящих приборов, например, при измерении коэффициента шума типа Х5 или ХК5 с фиксированной программой работы, и удовлетворить любые запросы потребителей. При наличии исходных данных решение любой задачи будет сводиться к составлению соответствующей программы, позволяющей не только изменять функциональное назначение отдельных элементов, но и конфигурацию системы. Потенциальные возможности системы в этом случае зависят не столько от аппаратных средств, сколько от используемых пакетов программ. При программном управлении от ЭВМ статистически обработанный результат измерений может быть представлен либо в виде графика, либо таблицы и др. По желанию потребителя программа работы комплекта может быть представлена набором технологических карт с возможными вариантами измерительных операций.

Комплект состоит из базовых блоков, осуществляющих контроль параметров новых твердотельных приборов в самом актуальном диапазоне от 0,5 до 26 ГГц, и используемых как в качестве автономных приборов, так и при компоновке постов технологического контроля. Высокопроизводительные измерители комплекта позволяют проводить контроль коэффициента шума, коэффициента передачи, статических и динамических параметров твердотельных приборов различных классов: транзисторов, монолитных и гибридных интегральных схем в корпусе, на пластине или кристалле. Разрабатываемые измерители предназначены заменить устаревшее, выработавшее свой срок оборудование и снять зависимость от импорта.