

Б-435

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

А. Ф. БЕЛОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УЗЛОВ
И БЛОКОВ ЯДЕРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ
НА ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ III И IV ПОКОЛЕНИЙ
И МЕТОДОВ ИХ МАШИНИЗИРОВАННОГО
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
ИЗГОТОВЛЕНИЯ.

АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ДУБНА, 1974 г.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИИ

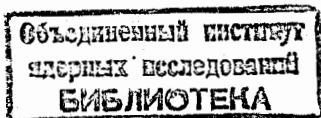
БЕЛОВ

Анатолий Филиппович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УЗЛОВ И БЛОКОВ ЯДЕРНОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ НА ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ III И IV ПОКОЛЕНИЙ
И МЕТОДОВ ИХ МАШИНИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Специальность 05.12.08 – Электронные схемы и
приборы

Автореферат диссертации на соискание ученой
степени доктора технических наук



Диссертация написана на русском языке

Дубна, 1974 г.

Работа выполнена в Союзном научно-исследовательском институте приборостроения (СНИИП).

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

Г.И. ВЕСЕЛОВ

доктор технических наук

Н.Д. СУХОПРУДСКИЙ

доктор физико-математических наук

П.В. СОРОКИН

Ведущее научное учреждение:

Московский институт теоретической и экспериментальной физики.

Автореферат разослан "___" _____ 1974г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1974г. на заседании Ученого совета Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ, г.Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета



Е.А. ЛОГИНОВА

Большую роль в развитии отечественного приборостроения, а также в дальнейшем росте фундаментальных разделов физики и ее прикладных разделов - энергетики, активационного анализа и др. - играет ядерное приборостроение. Само понятие ядерного приборостроения охватывает широкий круг задач и направлений. Сюда входят приборы для научных исследований; приборы контроля и управления атомными энергетическими установками, причем системы могут быть глобальными, как, например, Белоярская атомная электростанция или малыми подвижными, как орбитальные станции и т.д. Сюда же относятся приборы контроля дозиметрической и радиометрической обстановки на стационарных и плавающих объектах и орбитальных станциях в космосе.

Одно из главных направлений, которое охватывает ядерное приборостроения - это приборы для научных исследований. Обеспечивая передний край науки, эти приборы должны обладать прецизионными параметрами, высокой надежностью и способностью оперативной смены. Исходя из сказанного, видно, что ядерная электроника обладает рядом отличительных особенностей.

I. Большой номенклатурой блоков и приборов как по назначению, так и по области использования.

2. Прецизионностью параметров.

3. Малой серийностью.

4. Малым временем "жизни".

Поэтому при разработке и внедрении каждого нового поколения узлов и блоков необходимо учитывать приведенные выше специфические условия развития ядерного приборостроения с тем, чтобы при минимальных сроках разработки приборов создать их необходимый набор, который бы отвечал разнообразию требований, предъявляемых потребителями.

Огромен вклад советских ученых в развитие ядерного приборостроения. Среди них следует отметить д.т.н. профессора Козодаева М.С., Маталина Л.А., Матвеева В.В., Цитовича А.П., Курочкина С.С., Хазанова Б.И., Штрауха И.В., Штаня, А.С. Санина, А.Л., к.т.н. Маркова А.А., Крашениникова И.С., Жукова Г.П., Синаева А.Н., Курашова А.А. и других, труды которых помогли ядерному приборостроению превратиться в самостоятельную отрасль народного хозяйства.

Вместе с тем, постоянно существует необходимость обновления аппаратуры, улучшения ее технических и эксплуатационных характеристик, разработки и исследования новых путей и методов создания аппаратуры.

Как известно, в последние годы сменилось несколько поколений элементной базы, на которой строилась аппаратура ядерного приборостроения. Каждая из которых накладывала свои специфические требования на методы разработки, методы конструирования, методы изготовления и контроля. Так, например, аппаратура третьего поколения по своей функциональной организации, алгоритмам работы и методам использования устройств обработки данных значительно сложнее аппаратуры второго поколения. В то же время, по надежности она превосходит аппаратуру предыдущего поколения в 6-30 раз. С другой стороны,

темпы роста технического прогресса требуют непрерывного сокращения сроков разработки и выпуска новой аппаратуры, так как рентабельность прибора тем выше, чем меньше цикл от замысла до реализации. В то же время номенклатура приборов ядерного приборостроения велика, а срок "жизни" мал, что еще больше усугубляет необходимость исследования явлений, сдерживающих минимизацию этого цикла.

В чем же состоит сущность решения проблемы сокращения сроков разработки и выпуска новых приборов, при увеличении их функциональной сложности? Решение этой проблемы состоит из исследования и анализа трех основных вопросов.

1. Исследование и поиск оптимальной опережающей унификации, которая была бы оптимальна не только по схемотехническим вопросам, но и ликвидировала бы затраты труда по циклу разработчик-изготовитель-потребитель.

2. Исследование и внедрение новых технологических процессов и методов конструирования, дающих возможность повысить параметры приборов, с увеличением производительности труда при их изготовлении и контроле.

3. Исследование возможности механизации проектирования и конструирования узлов, блоков и приборов.

Каждая из указанных проблем позволяет решать не только производственные задачи, но и дает возможность эффективно реализовать многие технические вопросы.

В первой главе диссертации автором рассматривается вопрос причинности смены поколений элементной базы. Показывается, что основной движущей причиной является конструкторско-технологический фактор, позволяющий увеличить производительность труда при изготовлении

одного элемента, увеличить надежность и, как следствие, уменьшить габариты. Здесь же показывается, что удовлетворяет этим требованиям гибридно-пленочная технология, использующая в качестве активного элемента бескорпусной кристалл.

В первом параграфе первой главы автор рассматривает основные этапы проектирования и показывает, что время разработки прибора, время существования элементной базы и время рентабельного выпуска прибора на серийном заводе связаны между собой следующим выражением:

$$T_{разр. макс} = T_{сущ. приб.} + (T_{нач. сущ. э.б.} - T_{нач. разр.}) - T_{сер. вып. мин} \quad (I)$$

где $T_{разр. макс}$ - максимальное время разработки прибора;

$T_{сущ. приб.}$ - время существования прибора;

$T_{нач. сущ. э.б.}$ - время начала существования элементной базы;

$T_{нач. разр.}$ - время начала разработки;

$T_{сер. вып. мин}$ - минимальное время серийного выпуска

Из выражения I/I' видно, что при большем времени разработки остается меньше времени на серийный выпуск прибора и тем самым уменьшается его рентабельность.

Далее проводится анализ трудоемкости изготовления прибора, где показывается, что соотношение времени изготовления прибора и времени его замысла находится примерно 20:1, то есть, если прибор осмысливается и изготавливается в схемотехнике примерно месяц, то время его появления не менее 20 месяцев. На основании проведенных исследований показано, что наиболее трудоемкой операцией является разработка и изготовление узла как в области конструирования, так и области производства. Поэтому автор рекомендует в первую очередь механизировать конструирование и производство узла, а во-вторых, перейти на гибридно-пленочную технику, где производство узла во многом автоматизировано промышленностью.

Во втором параграфе автор исследует влияние унификации на эффективность цикла разработчик-производитель-потребитель. Показано, что в настоящий момент в ядерном приборостроении существует три вида унификации или три способа построения приборов: 1. Функционально-узловой. 2. Блочный. 3. Приборно-узловой и др. Каждый из этих способов, если его рассматривать только с точки зрения разработчика, имеет массу достоинств, которые затрудняют выбор оптимального варианта.

В диссертации проведена комплексная оценка с позиций потребителя, серийного завода и, естественно, разработчика^{2,3/}.

В результате анализа автор предлагает использовать промежуточный блочно-узловой способ. Этот способ характеризуется тем, что в качестве функциональной первичной единицы он использует узел, хотя в качестве единицы системы он предлагает блок. Другими словами предлагается набор блоков, в которых, по мере возможности, используются одни и те же узлы.

Как уже говорилось ранее, ядерное приборостроение, если его рассматривать как агрегатированную систему атомного приборостроения (АСАП), состоит из 3-х основных направлений:

1. Аппаратура для атомных электростанций.
2. Аппаратура для научного приборостроения.
3. Лабораторно-производственная аппаратура.

Обслуживающая эти направления схемотехника идентична, особенно в части цифровой логики, отличие составляют лишь конструктивы и некоторые особые требования эксплуатации. Поэтому, беря за основу узел, можно один и тот же блок изготовить в различных конструктивах, то есть в различных направлениях. Таким образом, эффективность использования блочно-узловых методов у разработчика очевидна. Кроме того, с позиции любого серийного завода важна серийность прибора,

то есть чем больше серия, тем меньше расходы - больше прибыли. Однако, по блочному и приборно-узловому методам добиться увеличения серийности невозможно, так как каждый блок в ядерном приборостроении имеет достаточно малую серийность в каждом направлении и, кроме того, свои специфические (в основном конструктивные в каждом направлении) особенности. В результате проведенного анализа сделан вывод, что в данный момент следует использовать блочно-узловой метод проектирования.

Одним из основных параметров, определяющих технику проектирования и изготовления прибора является принятые технологические методы. Поэтому в третьем параграфе проводится анализ и сравнения технологического метода изготовления приборов 3-го и 4-го поколений. В результате анализа рекомендуется для ядерного приборостроения, как основные методы, метод тонкопленочной и толстопленочной технологий.

В четвертом и пятом параграфах первой главы анализируется состояние развития механизации проектирования и изготовления приборов ядерной электроники. Рассмотрена блок-схема автоматизированной системы проектирования и изготовления узла. По представленной блок-схеме можно оценить круг задач и объем работ по воссозданию и реализации комплекса этих программ.

В работе /4/ подробно рассмотрены вопросы проектирования электронных схем с помощью ЭВМ. Как уже отмечалось выше, одним из трудоемких процессов является задача конструирования прибора. В § 14, § 15 и обзорах /5,6/ подробно рассмотрена проблема реализации этих задач. Кроме того, дополнительно рассмотрены такие алгоритмы, как алгоритмы Штейнберга и др.; показано, что данный алгоритм при размещении 34 модулей решался 20 мин. на ЭВМ IBM 7094, что является достаточно трудоемкой задачей, Здесь же рассмотрены некоторые алгорит-

мы трассировки, не вошедшие в обзоры. В частности, рассмотрен алгоритм последовательного поиска.

$$F|U^{(k_i-1)}|_{L-1} = \min F|_{L-1} U^{(k-1)}$$

$U^k \in A_m$ A_m - множество векторов.

Проведено сравнение последовательного алгоритма с известным алгоритмом Ли.

Наиболее трудоемкой задачей проектирования является задача разработки технической документации. Весь перечень данных задач достаточно велик, а общая трудоемкость их оценивается фирмой IBM в 500 чел.лет. Поэтому в диссертации были выбраны наиболее актуальные из них. К ним следует отнести следующие задачи: составление таблиц проводов на кроссовые схемы блоков и приборов, таблиц для прозвонки кроссов, ведомости и спецификации (ВП и СП).

Следующая задача, решение которой рассмотрено, является задача технологической проработки приборов ядерной электроники. Приводится блок-схема технологической проработки документации, а также рассматривается пример, иллюстрирующий трудоемкость этого процесса и сложность введения в ЭВМ. Так, например, информация о детали средней сложности составляет 25-30 перфокарт. А программы для токарно-револьверного станка хранятся в 43 зонах на магнитной ленте ЭВМ "Урал-4".

Рассматривается также возможность автоматизации изготовления фотосаблонов. Показано, что решение задачи дает наибольший эффект при внедрении ее в институтах ядерной физики.

Значительный экономический эффект достигается решением задачи автоматической подготовки ленты для сверловки отверстий, что также показано в рассматриваемом параграфе.

Одной из важнейших задач подготовки приборов в производстве является определение функционирования узлов, блоков и приборов.

Рассмотрено несколько методов, опубликованных в периодической литературе, в частности, подробно рассмотрен метод диагностических словарей. Показано, что время T , необходимое для построения диагностического словаря (без печати) с объемом ~ 250 трехходовых И-НЕ, составляет около 2-х часов (на ЭВМ БЭСМ-4).

Проведенный в § I.1, § I.2 и учитывающий возможности института и отрасли анализ, позволил сделать вывод, что наиболее актуальными задачами можно считать машинное проектирование и изготовление узлов. Следующей задачей является задача контроля, особенно эффективная при серийном производстве.

Вторая глава диссертации посвящена исследованию, разработке и внедрению микроузлов частного применения с повышенной теплоотдачей. Как было показано в главе I, один из важнейших факторов, дающих возможность повысить технические возможности схем при повышении производительности труда, — внедрение гибридно-интегральных микросхем и больших гибридно-интегральных микросхем.

В диссертации приведено фото схем одного назначения, разработанных на элементной базе III и IV поколений. Из рисунка видно, что использование тонкопленочной технологии и бескорпусных интегральных микросхем дает возможность почти в 40 раз увеличить степень интеграции при увеличении производительности труда и надежности микросхем.

Однако, одним из сдерживающих факторов развития данного направления является ограничение мощности рассеяния бескорпусных активных элементов.

Решению этой задачи, а также разработке и внедрению ряда микроузлов частного применения посвящена вторая глава диссертации.

В первом параграфе рассматривается метод компоновки микроузлов частного применения с повышенной теплоотдачей. По данному методу

Под ситалловую подложку подкладывается подложка из окиси бериллия, которая одновременно служит как изолятор и хороший теплопроводник. Если в процессе компоновки схемы некоторые транзисторы оказываются в середине поля топологии и по схемотехническим соображениям их нельзя вынести на край, то по предложенной технологии с помощью лазера в ситалловой подложке сверлится отверстие /8,9/ и при сборке микроузла транзистор помещается в отверстие на брокеритовую подложку. В этом же параграфе описывается технологический процесс изготовления микроузлов, реализованный в СНИИПе.

С целью априорного расчета и оценки тепловых градиентов в предложенной компоновке во втором параграфе проводится теоретическое исследование распределений тепловых градиентов по брокеритовой подложке.

Расчет теплового поля проводится с помощью уравнения Пуассона

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = \frac{w(x, y, z)}{\lambda}$$

где $V = T - \theta$, где $T = T(x, y, z)$ — температура точки брокерита; θ — температура окружающей среды. Для решения поставленной задачи можно записать следующие граничные условия.

Для боковых поверхностей микросхем

$$\frac{\partial V}{\partial x} \Big|_{x=-a} = -hV \Big|_{x=-a}; \quad \frac{\partial V}{\partial x} \Big|_{x=a} = -hV \Big|_{x=a}; \quad \frac{\partial V}{\partial y} \Big|_{y=-b} = -hV \Big|_{y=-b}$$

$$\frac{\partial V}{\partial y} \Big|_{y=b} = -hV \Big|_{y=b}; \quad h = \frac{\alpha}{\lambda}, \quad \text{где } \alpha \text{ — коэффициент теплообмена. Верхняя грань брокерита теплоизолирована, так как } \lambda_{sp} \gg \lambda_{ам},$$

поэтому

$$\frac{\partial V}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0$$

Нижняя грань удовлетворяет условиям естественной конвекции

$$\left. \frac{\partial V}{\partial x} \right|_{z=c} = -hV \Big|_{z=c}$$

В результате проведенных расчетов было показано, что для данной конфигурации микросхем результирующие уравнения будут иметь вид:

$$\begin{aligned} V(x, y) &= 25(1-10x+50x^2)(1-10y+50y^2) & - \text{ для ситалла} \\ V(x, y) &= 50(1-0,5x)(1-0,5y) & - \text{ для брокерита.} \end{aligned}$$

Был проведен расчет и построены номограммы изменения мощности рассеяния активных элементов, при установке на брокерит, в зависимости от размера и толщины кристалла. Расчет показал, что использование брокерита в качестве подложки гибридной схемы позволяет увеличить предельно допустимую мощность бескорпусных транзисторов.

С целью проверки теоретических выводов, а также с целью выявления тепловых режимов при импульсном режиме источника тепла, была проведена экспериментальная проверка результатов.

В диссертации приведены теоретические и экспериментальные результаты измерения теплового поля на брокеритовой подложке. Отклонения экспериментальных результатов от расчетных не превышают 15% в диапазоне мощности от 2 до 6 Вт. Расхождение это можно объяснить тем, что в расчет брался размер подложки, а при эксперименте тепло отводилось через корпус, который имеет площадь несколько больше, чем брокеритовая подложка.

На основании полученных результатов были построены зависимости температуры подложки от расстояния до источника тепла. Для построения микроузлов, работающих в импульсном режиме, были проведены аналогичные исследования.

По разработанной методике нами был спроектирован ряд микроузлов частного применения ядерной электроники. В таблице приведены их основные параметры /33,34/. Все разработанные микросхемы изготовлены на созданном в нашем институте участке по производству микросхем частного применения, на котором изготавливались как опытные образцы, так и опытные партии.

Третья глава диссертации посвящена вопросам реализации аппаратуры ядерного приборостроения по блочно-узловому методу, предложенному в первой главе диссертации. Причем рассмотрена реализация на элементной базе III-го и IV-го поколений.

Компоновка любого прибора ядерной электроники начинается с компоновки вторичных источников питания. Внедрение электроники III поколения существенно уменьшило габариты аппаратуры, однако, одновременно увеличило удельное энергопотребление. Объем, занимаемый вторичным источником питания (ВИП), достигает 50% и более от общего объема. В первом параграфе четвертой главы диссертации рассмотрены пути реализации ВИП с минимальными габаритными размерами и приведены необходимые выражения для их расчета. Подробное описание методик, а также номограммы и таблицы для расчета приведены в работах /11,12,13,14/. Объем устройства питания определяется выражением:

$$V_B = P_o \frac{1-\beta}{2} \cdot \frac{1}{K_p} \geq 0,001 V_{KH} K_K$$

а при принудительной вентиляции

$$V_B = 0,001 V_{KH} K_K$$

где V_B - объем устройства питания /л/;

P_o - выходная мощность /Вт/;

β - к.п.д. устройства питания при максимальном напряжении.

Другой проблемой компоновки приборов, как было сказано выше, является устранение помех от сопротивления переходных контактов це-

пей трансляции напряжений и т.д. Были рассмотрены три вида включения ВИП в стойке и определены пульсации в точках потребления для обычного конструирования

$$\delta_{\text{ББ}} = \frac{[R_{\text{вн}} + 4(R_{\text{ш}} + 2R_{\text{к}})] \Delta I_0}{U_{\text{см}}} \cdot 100$$

При применении метода вынесенного делителя, пульсации будут определяться следующим выражением:

$$\delta_{\text{ББ}} = \frac{R'_{\text{вн}} \Delta I_0}{U_{\text{см}}} \cdot 100, \quad \text{где } R'_{\text{вн}} = \frac{Z_{\text{к}} + 2R_{\text{ш}} + R_{\text{к}}}{K}$$

На основании проведенного анализа нами был предложен способ компоновки с децентрализацией. В этом случае стабилизатор обслуживает только часть устройств и пульсации естественно будут минимальны.

В диссертации приведены основные выражения и номограммы для расчета блоков с децентрализацией /I4/.

В таблице 2 приведены основные характеристики вторичных источников питания для аппаратуры научного и реакторного приборостроения.

Одним из оригинальных решений, использованных в блоках питания, является унифицированная конструкция блока БНН-150, в котором в качестве теплоотвода используются трубы, образуемые радиаторами. С одной из сторон трубы установлен вентилятор, который создает поток, близкий к 4 м/сек. Таким образом, удалось повысить снимаемую полезную мощность на 30% по отношению к ранее существовавшему блоку БНН-90.

Блоки прошли Государственные испытания и серийно осваиваются на заводе "Тензор" в г.Дубне. Для питания аппаратуры реакторного приборостроения был разработан ряд блоков выпрямителей и стабилизаторов (табл.2). Все эти блоки изготовлены на опытном заводе предприятия и также прошли межведомственные и Государственные испытания. Однако, с целью еще большего повышения удельной мощности при сохра-

нении или уменьшении размеров источника питания исследован вопрос создания их на основе методики главы П. Для реализации данных микроузлов были разработаны прецизионные стабилизаторы, основные характеристики которых приведены в таблице I. Стабилизаторы выполнены на основе методики, описанной в главе П на элементной базе IV поколения. В настоящее время они готовятся для передачи на серийное производство. На нашем участке их выпущено ~ 300 шт.

Развитие техники и появление различных путей реализации устройств, рождает проблему оптимального пути проектирования того или иного устройства. Зачастую реализация того или иного технического параметра не является проблемой. Важнее определить оптимальный путь в плане скорости реализации, минимальной трудоемкости и стоимости проектируемого устройства /I5/.

В четвертом параграфе рассмотрена методика, которая позволяет априори (естественно, при знании издержек производства на той или иной операции) определить оптимальный вариант технической реализации устройства.

$$P_i(t+1) = \min \left[\sum_j^m (b_j S_j - a_j S_j) \right] [P_i(t) - P_i(t+1)] + \\ + \sum_j^m a_j S_j P_i(t) + 2 \sum_{i=1}^n b_i S_j P_i(t) + (1+2) l S_j \\ S_j = 1j \dots 2j \dots mj, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

где $P_i(t+1)$ - цена изделия в момент $t+1$;

$b_j S_j$ - количество узлов, произведенное набором способов S_j ;

$l S_j$ - коэффициент затрат труда выбранного набора способов ;

$P_i(t)$ - цена изделия в момент t

$a_j S_j = \frac{b_i S_j}{\tau_i S_j}$ то есть количество узлов, произведенных набором спо-

собов S_j отнесенное к единице времени затраченного на узел при производстве по этому же способу.

Строя графики в координатах цен, по пересечению точек можно определить издержки при производстве тем или иным способом одного и того же изделия. Характерным блоком в этом отношении является запоминающее устройство. Поэтому вторая часть параграфа посвящена исследованию трудоемкости различных этапов при производстве (ЗУ). Исследованы и приведены графики стоимости отбраковки ферритовых сердечников, показано, что время, а следовательно, и стоимость отбраковки ферритовых сердечников ϕ 0,4 мм в несколько раз больше, чем сердечников ϕ 0,6 мм.

Рассмотрены и приведены трудоемкости изготовления матриц на ферритовых сердечниках различного диаметра при различных способах прошивки $3D-3W$, $3D-4W$. Рассмотрены различные структурные схемы построения ЗУ, часть из которых защищены авторскими свидетельствами /16,17/.

На основании приведенного анализа было показано, что наиболее трудоемкой операцией, сдерживающей дальнейший прогресс развития ЗУ на ферритовых сердечниках, является прошивка матриц. Для устранения указанного недостатка, нами был предложен способ прошивки матриц сдвоенным проводом, что совместно с разработкой такого провода, позволило уменьшить трудоемкость изготовления матриц минимум на 20% и решить проблему организации прошивки матриц способом $3D-4W$ на ферритовых кольцах диаметром 0,4 и прошивки матриц способом $2D$ и $2,5D$ ^{/17/} на ферритовых кольцах ϕ 0,3 и 0,18.

На основании предложенной методики прошивки сдвоенным проводом по блочно-узловому методу конструирования был разработан ряд запоминающих устройств на элементах III и IV поколения /18,19,20,21,29/. В табл.3 приведены их основные характеристики. Характерной особенностью блоков является то, что они выполняются по одной схеме как

для лабораторно-производственной, так и для аппаратуры реакторного и научного приборостроения. В последнем параграфе третьей главы рассмотрена элементная база и техническая реализация запоминающих устройств IV поколения. Приведены параметры, схемные решения и осциллограммы генераторов тока записи и запрета, ключа выбора адреса и новых решений самоконтролируемых запоминающих устройств и т.д. Проведенные оценки показывают, что БЗУ-2, выполненное на элементной базе III поколения занимает объем $V_{III} = 10000 \text{ см}^3$, а на описанной элементной базе IV поколения $V_{IV} = 6500 \text{ см}^3$! Кроме того следует учитывать, что в рассматриваемом устройстве куб памяти остается неизменным. Поэтому без учета куба памяти соотношения по объему выглядят следующим образом $V_{III} = 6500 \text{ см}^3$ $V_{IV} = 1700 \text{ см}^3$. Как видим, почти в 3 раза сокращение объема.

Красной нитью первой главы прошла мысль о необходимости механизации вопросов проектирования приборов ядерной электроники с одной стороны и необходимости механизации и автоматизации проектирования микроузла и узла - с другой стороны. Поэтому четвертая глава диссертации посвящена исследованию и внедрению математического обеспечения машинного конструирования и автоматизированного изготовления фотошаблонов микроузлов и узлов частного применения.

В первом параграфе проведен конкретный анализ задач машинного проектирования узлов и изготовления фотошаблонов микроузлов. Рассмотрена модель печатной платы 140x160 мм и 155x158 мм, приняты в АСАП за основные. На основании предложенной математической модели и правила рента /23/ построены номограммы, по которым априори можно определить число контактов на разъеме и число микросхем на плате или подложке микроузла.

Проведено исследование конфигурации ИС и конфигурации посадочных мест на коэффициент использования площади печатной платы.

$$n_v - \left(\frac{v_v}{m_v} - 1 \right) (n_v + 1) + \frac{2[h - m_v(n_h - 1)]}{m_v} = \frac{v}{m_v}$$

На основании проведенных исследований составлены требования к печатной плате при ее проектировании и изготовлении автоматизированным способом.

В целях обеспечения теоретических предпосылок создания центра механизированного изготовления шаблонов микроузлов и узлов в СНИИПЕ, а также оценки отраслевого центра, проектируемого в г.Дубне на э-де Тензор, во втором параграфе проводится математическое исследование его структурной схемы.

Любая схема центра /24/ в своем первом приближении создается на основании интуитивных предпосылок и общих оценок. Однако, когда такая схема создана, необходимо провести уточняющие оценки с тем, чтобы уточнить состав оборудования и перераспределить направление потоков информации.

Известны несколько методов оценки центров: 1. Дифференциальный метод. 2. Метод Артамонова. 3. Метод моделирования на ЭВМ. Первый метод очень трудоемок, если его не воспроизводить на ЭВМ. Второй метод привлекает своей простотой и определенностью, но использовать его очень трудно, так как метод предусматривает знание множества вероятности. В диссертации предложен один из вариантов данного метода, который рассматривает систему в любой момент времени путем построения таблицы состояний.

Подробнее метод описан в работе /24/, здесь же приведена таблица 5, в которой показаны результаты расчета по всем рассмотренным методикам, в том числе и с моделированием на ЭВМ. На основании

предложенной методики и проведенных расчетов, в настоящее время закончено рабочее проектирование центра на строящемся в г.Дубне заводе "Тензор".

Другой актуальной задачей автоматизации проектирования и изготовления аппаратуры III и IV поколений, как было показано в главе I, II и III является использование гибридно-пленочных микросхем. Однако, внедрение гибридно-пленочной технологии без обеспечения производительного изготовления фотошаблонов сводит на нет все преимущества вводимой технологии. Поэтому было разработано и внедрено математическое обеспечение системы механизированного изготовления гибридно-интегральных микросхем.

При работе по данной системе все фотошаблоны делятся на три группы, каждая из которых имеет ту или иную трудоемкость изготовления.

Исследования показали, что каждая группа наиболее эффективно выполняется на определенном оборудовании. Поэтому нами было разработано математическое обеспечение автоматизированного изготовления фотошаблонов для каждой группы. Так, все фотошаблоны средней группы сложности изготавливаются на разработанном для этой цели ЭМ-70IM с последующим уменьшением и мультиплицированием на фотоаппарате ПП-12/25,26,27/. Образец мультиплицированной маски ГИС, изготовленный на координатографе ЭМ-70IM, представлен в диссертации, а программы и устройство координатографа описаны в работах /28,29,30,31,32/.

Изготовление сложных фотошаблонов, для последующего воспроизведения схем III и IV степени интеграции, производится на фотонаборной установке ЭМ-518 и ЭВМ М-222.

Кратко задача программирования фотонаборной установки состоит в сортировке по типам прямоугольников, с помощью которых будет за-

полнена заданная топологическим расчетом геометрия фигур фотосаб-
лона. Все их можно разделить на 4 группы, в каждую из которых можно
заполнить по одному алгоритму. К первой группе относятся прямоуголь-
ники

$$\begin{cases} a > \Phi \\ b > \Phi \end{cases}$$

Заполнение таких прямоугольников происходит следующим образом:
длины сторон прямоугольника делятся на максимальный размер маски
 $\Phi = 12$ (или в восьмеричной системе счисления $\Phi = 14$). Частные от
деления (Q_a и Q_b) и остатки (R_a , R_b) фиксируются в памяти ЭВМ.

$$\begin{aligned} \frac{a}{\Phi} &= \text{ent}\left\{\frac{a}{\Phi}\right\} + R_a = Q_a + R_a & \text{ent}\{X\} - \text{целая часть от } X \\ \frac{b}{\Phi} &= \text{ent}\left\{\frac{b}{\Phi}\right\} + R_b = Q_b + R_b & R_a, R_b - \text{остаток.} \end{aligned}$$

Фотонаборная установка экспонирует такое количество участков, кото-
рое определяется частным от деления $\frac{a}{\Phi}$, затем происходит смена
маски и экспонируется участок, оставшийся непроэкспонированным.
Этот цикл повторяется N раз, где N - равно частному от деления $\frac{a}{\Phi}$.

Таким образом, в первом цикле экспонируются участки с 1
по N , после смены маски - участки с $N+1$ по $N + \frac{a}{\Phi}$ и, на-
конец, участок, размеры которого равны остаткам от деления и R_b .

Вторая $\begin{cases} a = \Phi \\ b > \Phi \end{cases}$ и третья $\begin{cases} a > \Phi \\ b = \Phi \end{cases}$ группы заполняются
аналогично первой группе, но за один цикл. И, наконец, четвертая
группа $\begin{cases} a = \Phi \\ b = \Phi \end{cases}$
заполняется одним размером маски.

Полное описание алгоритма и получаемых точностей, а также при-
мер полученных фотосаблонов представлен в диссертации. Весь цикл
программ функционирует в институте с февраля 1973 года.

В четвертом параграфе рассматривается реализация математиче-
ского обеспечения ЭВМ "Минск-22" в части решения задачи проектиро-

вания и автоматизированного изготовления фотосаблонов печатных
плат.

В диссертации рассмотрен состав входящих в систему программ,
проанализированы их предельные ограничения.

Таким образом в диссертации были проанализированы и решены
следующие вопросы:

1. Исследованы соотношения процессов проектирования и изготов-
ления приборов ядерной электроники и показано, что одним из самых
трудоемких процессов является процесс разработки и изготовления
узла.

2. Исследовано влияние вида унификации на процессе проектиро-
вания приборов и систем ядерной электроники, и показаны пути наибо-
лее рентабельной ее реализации.

3. Исследованы технологические методы изготовления узлов, бло-
ков и приборов ядерной электроники, показано, что технологическими
методами изготовления аппаратуры IV-го поколения являются методы
тонко-пленочной и толсто-пленочной технологии.

4. Рассмотрены вопросы машинизации процесса проектирования и
изготовления приборов ядерной электроники, дана оценка достигнутого
уровня в мире. Намечены первоочередные задачи, дающие возможность
получения максимального эффекта по производительности труда.

5. Предложена методика компоновки гибридных микроузлов частно-
го применения, которая дала возможность изготавливать микроузлы
ядерного приборостроения с мощностью рассеяния до 10 Вт. На ее ос-
нове разработана и внедрена в производство технология изготовления
микроузлов частного применения с повышенной теплоотдачей.

6. Проведено теоретическое и экспериментальное исследование распределения тепловых градиентов микросхем частного применения. Получены основные соотношения и зависимости для их априорного расчета. Исследованы зависимости изменения плотности бескорпусных интегральных элементов, устанавливаемых на брокерит через металлизацию. Результаты исследований оформлены в виде графиков, которые можно использовать при расчетах микросхем.

7. Разработан ряд микроузлов частного применения, охватывающий диапазон от усилителей сигналов с детекторов до таймеров и систем запоминания. Ряд позволяет приступить к проектированию радиометрической аппаратуры IV-го поколения.

8. Создан участок производства микросхем частного применения, на котором изготовлено свыше 30 типов микросхем частного применения с общим выпуском около 2000 штук в год. Все микросхемы применены в разработках отрасли.

9. Исследованы пути построения систем питания ядерного приборостроения, даны рекомендации по их использованию и способам их компоновки. По результатам исследований разработан и внедрен в разработках института и серийном производстве унифицированный ряд вторичных источников питания для аппаратуры научного и реакторного приборостроения. В некоторых блоках ряда достигнуты удельные мощности рассеяния около 30 Вт/л, что находится на уровне лучших мировых образцов (на некоторые решения получены авторские свидетельства СССР).

10. Разработан и внедряется в серийное производство ряд (6 В, 12 В, 24 В) прецизионных стабилизаторов IV-поколения, имеющих удельную мощность порядка 600 ± 70 Вт/л (на технические решения поданы заявки на предполагаемое изобретение).

11. Разработана методика расчета узла и блока по экономико-техническим параметрам. Для примера проанализированы трудоемкости изготовления запоминающих устройств на ферритовых кольцах с прямоугольной петлей гистерезиса. Предложенная методика дает возможность априорного определения путей создания приборов, а также определения оптимального набора способов их изготовления.

12. Разработана методика прошивки матриц запоминающего устройства двоярным проводом. Разработанная методика дала возможность реализовать запоминающие устройства на ферритовых кольцах ϕ 0,6 мм с экономией электронного оборудования до 20%; кроме того, данная методика позволила создавать ЗУ по системе $3D-4W$ на ферритах диаметрами 0,4 и 0,3 мм. (на способ прошивки матриц двоярным проводом подана заявка на изобретение.)

13. Разработаны, изготовлены и исследованы микроузлы IV-го поколения, позволяющие уменьшить объем привода ЗУ с 6600 см^3 до 1700 см^3 .

14. Разработаны новые структурные схемы запоминающих устройств четвертого поколения, дающие возможность при объеме 4096×64 бит получить цикл обращения около 700 нсек.

На техническое решение получено авторское свидетельство.

15. Разработана структурная схема и создана элементная база IV-го поколения самоконтролируемого запоминающего устройства, дающая возможность обеспечить температурный диапазон работы от -30°C до $+60^\circ\text{C}$.

На техническое решение получено авторское свидетельство.

16. Разработан и внедрен в разработках института ряд запоминающих устройств III-го поколения использующих способ прошивки матриц

сдвоенным проводом. Впервые в отрасли разработаны запоминающие устройства на МДП ячейках, имеющих цикл записи около 300 нсек. На ряд технических решений получены авторские свидетельства.

17. Исследована структурная схема центра машинного проектирования узлов и блоков ядерного приборостроения, производительность которой обчислена с помощью различных методов теории массового обслуживания и предложенной авторами методики. На основании проведенной разработки в настоящее время на заводе "Тензор" г.Дубна строится отраслевой центр машинного проектирования электронных схем и изготовления фотошаблонов.

18. Проанализированы алгоритмы изготовления оригиналов и фотошаблонов микроузлов частного применения, на основе которых разработаны и внедрены программы автоматизированного изготовления оригиналов на разработанном координатографе ЭМ-701М и промышленной фотонаборной установке ЭМ-518. В СНИИП создан и успешно функционирует участок автоматизированного изготовления фотошаблонов микроузлов частного применения.

19. Проведен анализ алгоритмов размещения и трассировки интегральных микросхем на печатных платах, на основании анализа спроектирована и внедрена система программы трассировки печатных плат и изготовления фотошаблонов печатных плат на координатографе ЭМ-703, позволяющая почти полностью автоматизировать процесс проектирования печатной платы размером 140x160 мм и 155x158 мм, а также процесс изготовления фотошаблона.

По теме диссертационной работы автором получено 12 авторских свидетельств на изобретения и 3 положительных решения по заявкам на изобретения, опубликовано в открытой печати 29 статей, сделано

4 доклада на конференциях, проведено и закончено отчетом с положительной оценкой 6 научно-исследовательских и 12 опытно-конструкторских работ.

Основные результаты диссертации изложены в приведенных работах и защищены перечисленными авторскими свидетельствами:

1. А.Ф.Белов. "Некоторые вопросы проектирования электронных приборов". Стандартизация и технический прогресс в атомном приборостроении, вып.4, 1973 г.

2. А.Ф.Белов, О.А.Никольский "Влияние унификации на процесс проектирования и производства приборов". Стандартизация и технический прогресс в атомном приборостроении, вып.3, 1973 г.

3. А.Ф.Белов, В.В.Матвеев, О.А.Никольский. "Некоторые вопросы построения унифицированных систем". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.20, М., Атомиздат, 1973 г.

4. А.Ф.Белов, Е.В.Курков. "Машинизация проектирования электронных схем". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.23, 1973 г.

5. А.Ф.Белов, Е.В.Курков и др. "Обзор алгоритмов размещения компонент на печатной плате". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.18, М., Атомиздат, 1972 г.

6. А.Ф.Белов, А.А.Горячев и др. "Обзор алгоритмов трассировки соединений на печатных платах". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.18, М., Атомиздат, 1972 г.

8. А.Ф.Белов и др. "Изготовление фотошаблонов гибридных микросхем и печатных плат методом испарения лучом лазера". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.18, М., Атомиздат, 1972 г.

9. А.В.Абрамов, А.Ф.Белов и др. "Юстировка номиналов тонкопленочных резисторов", Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.18, М., Атомиздат 1972 г.

10. А.Ф.Белов, Ю.Ю.Доценко, Т.А.Гревцова "Линейный многофункциональный усилитель в гибридно-пленочном исполнении", Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.18, Атомиздат, 1972 г.

11. А.Ф.Белов, Д.С.Болотов и др. "Построение вторичных источников питания для ядерной электроники". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.23, 1973 г.

12. А.Ф.Белов, Д.С.Болотов и др. "Анализ обобщенных радиаторов вторичных источников питания". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.23, 1973 г.

13. А.Ф.Белов, Д.С.Болотов и др. "Анализ обобщенных фильтров вторичных источников питания". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.23, 1973 г.

14. А.Ф.Белов, Д.С.Болотов и др. "Оценка влияния токоведущего тракта на стабильность питания и методы его устранения". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.23, 1973 г.

15. А.Ф.Белов, А.Л.Белоус и др. "Некоторые вопросы построения запоминающих устройств", Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение" вып.23, 1973 г.

16. А.Ф.Белов, В.В.Семенов и др. "Запоминающее устройство".

Заявка на изобретение № I911100/18-24 от 26.IV.73 г. Положит.решение от 8.08.73 г.

17. А.Ф.Белов, А.Л.Белоус "Запоминающее устройство". Авторское свидетельство № 356691. Оpubл. БИ № 32, 1972 г.

18. А.Ф.Белов, Е.В.Курков и др. "Многоканальный анализатор". Авторское свидетельство № 339921. Оpubл. БИ № 9, 1972 г.

19. А.Ф.Белов. "Регистрирующее устройство". Авторское свидетельство № 239683, Оpubл. БИ № II, 1969 г.

20. А.Ф.Белов, Е.В.Курков и др. "Электронное устройство для отображения двумерной графической информации". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение" вып.18, М., Атомиздат, 1972 г.

21. П.П.Андрейцев, А.Ф.Белов, Ю.Ю.Доценко "Запоминающее устройство с циклом записи 350 нсек". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.23, 1973 г.

22. А.Ф.Белов, "Запоминающее устройство", заявка № I933196/18-24. Полож.решение от 7.02.74 г.

23. А.Ф.Белов, П.В.Сергань, Е.В.Курков "Некоторые оценки размеров печатных плат и количества элементов для ядерного приборостроения". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.23, М., Атомиздат, 1973 г.

24. А.Ф.Белов, П.В.Сергань. "Методы априорного расчета центров обработки информации". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.23, М., Атомиздат, 1973 г.

25. А.Ф.Белов, Е.В.Курков "Устройство цифрового кодирования координат плоских чертежей". Заявка на изобретение № I642514/18-24 от 2.4.71 г. Положит.решение от 20.7.73 г.

26. А.Ф.Белов, В.М.Васильев и др. "Электронно-лучевой индикатор". Авторское свидетельство № 424156. Оpubл. БИ № 2, 1974 г.

27. М.Н.Бурлакова, А.Ф.Белов, О.А.Никольский "Арифметическое устройство". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.23, 1973 г.

28. А.Ф.Белов, А.Л.Белоус и др. "Входное устройство многоканального анализатора". Авторское свидетельство № 339321. Оpubл. БИ № 17. 1972 г.

29. А.Ф.Белов, О.А.Никольский: "Многоканальный регистратор интенсивности импульсов". Авторское свидетельство № 351186. Оpubл. БИ № 27, 1972 г.

30. В.М.Васильев, А.Ф.Белов и др. "Устройство привода перфоратора". Научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.21, 1973 г.

31. П.П.Андрейцев, А.Ф.Белов и др. "Программное устройство", научно-технический сборник "Ядерное приборостроение", вып.21, М., Атомиздат, 1973 г.

32. А.Ф.Белов и др. "Устройство обработки информации". Авторское свидетельство № 268753. Оpubл. БИ № 14, 1970 г.

33. А.Ф.Белов "Пересчетное устройство". Авторское свидетельство № 282423. Оpubл. БИ № 30, 1970 г.

34. А.Ф.Белов. "Пересчетное устройство". Авторское свидетельство № 347928. Оpubл. БИ № 24, 1972 г.

Таблица I

Микроузлы частного применения

№№ пп	Наименование и область применения	Краткие технические характе- ристики
1	2	3
Детекторы и усилители I и II степени интеграции		
1.	Магний-I. Блоки детектирования гамма и бета излучений.	Диапазон мощностей доз в зависимости от устанавливаемого детектора от 0,5 мр/час до 10 р/час
2.	Магний -2. Блоки детектирования гамма и бета излучения.	То же, что и Магний-I, но в одном блоке включены 2 детектора с разной чувствительностью.
3.	УИ-01, усилитель импульсный. Предназначен для усиления сигналов с большой частотой следования.	Коэффициент усиления 60 ± 10 . $f_{max} = 10^6$ имп/сек.
4.	УИ-02. Усилитель для усиления сигналов с многоэлектродных пропорциональных камер.	Порог минимальной регистрации 1 ± 2 мВ. Разрешающее время $0,2 \pm 0,3$ мксек. Нестабильность порога не более 1% на $^{\circ}C$.
5.	УИ-03. Усилитель для ИИС. Предназначен для использования в измерителях средней скорости счета	Выходной сигнал 0 ± 10 В и 10 В+0. Коэффициент усиления 3000. Нестабильность нуля не более 50 ± 10 мкВ/град $^{\circ}C$.
6.	УИ-04. Предусилитель для усиления сигналов с непропорциональных детекторов с малым уровнем сигнала: КНТ-31, ППД-СНН-II, I7, I4, I8; КНТ-54.	Коэффициент преобразования $I-U$ не менее $1,5$ мОм, $t_H < 100$ нсек, нестабильность не более $0,3\%$ / $10^{\circ}C$. Загрузка 10^5 имп/сек.
7.	УИ-05. Предусилитель для усиления сигналов с полупроводниковых детекторов излучений.	Величина шума $< 2,5$ кэв. Интегральная нелинейность $\sim 0,2\%$. Коэффициент усиления при разорванной обратной связи 3000. Температурная нестабильность $< 0,05\%$ на $^{\circ}C$.
8.	УИ-06. Усилитель для усиления и формирования сигналов от ФЗУ.	$K_U = 1$ до 10 . $t_H < 100$ нсек. Нестабильность $0,3\%$ на $10^{\circ}C$. $f_{max} = 10^7$ имп/сек.
9.	УИ-07. Усилитель спектрометрический.	$K_U = 2000 \pm 3000$ с замкнутой обратной связью. Формирование полосы пропускания внешнее t_H усилителя < 150 нсек. Шум 20 мкв.

I	2	3
Ю. УИ-08. Предусилитель для энергетического и временного анализа сигналов с ПЦД детекторов.	Q - шума $< 1,5 \pm 2$ кэв. Интегральная нелинейность $0,2\%$. Фронт нарастания < 10 нсек. Выход спектрометрической (0 ± 5) в. Временной $(0 - \text{минус } 1)$ в.	
И. ФИ-02. Формирователь импульсов для газоразрядных детекторов типа Гайдера с передачей сигналов по кабелю.	Полярность сигналов любая. Чувствительность не ниже 30 мВ. $T_{разр} \leq 0,2$ от выходного импульса. $U_{вых} + 6$ В на $R_{н} = 50$ Ом. Диапазон температур $(-60 \pm 60)^\circ\text{C}$.	

Таблица I

Нормализаторы, дискриминаторы, преобразователя II и III степени интеграции

I.	2	3
1. Н-01. Нормализатор	$U_{вых} = 5 \pm 6$ В, $t_{н} = 50 \pm 100$ нсек $U_{пор} = 0,5 \pm 1$ В, $T_{имп} = 0,5 \pm 10$ мксек регулируется извне. Нестабильность не более 3% при изм. ± 20 до $+50$.	
2. ЭШ-01. Экспандер с расширителем.	$U_{кв} = 0 \pm 5$. уровень экспандирования устан. плавно до $0,9$. Максимальная нагрузка 10^5 имп/с.	
3. ИД-01. Интегральный дискриминатор (компаратор)	$U_{кв} = 0 \pm 5$. Уровень дискримин. устан. плавно. Нестаб. имп. сигн. < 100 мкв/град. По постоянному току > 5 мкв/град. $T_{разр} 0,5$ мксек. Нелинейность $< 0,2\%$.	
4. ИД-02. Дифференциальный дискриминатор.	То же, что и ИД-01 с логикой диф. дискримин., с двумя независимыми порогам.	
5. ЛНУ-01. Линейное пропускающее устройство.	$U_{кв. макс} = 15$ В. Относительная точность $0,1\%$. Динамический диапазон 100 . Коэффициент подавления 60 дБ. Коммутационные помехи ~ 20 мВ.	
6. АВП-01. Амплитудно-временной преобразователь	$U_{кв} = 5$ В. Интегральная нелинейность $0,1\%$, $T_{разр. макс} = 50$ мкА.	
7. ТЧ-01. Преобразователь тока в частоту.	Чувствительность 10 ± 10 Гц/А и 10 Гц/А в зависимости от типа годовного каскада, устанавливаемого извне.	
8. ЦАП-02. Цифро-аналоговый преобразователь.	Количество уровней преобразования 2^8 . Диапазон входных напряжений от $0,2$ до $0,4$ В до $4,3$ до $4,8 \pm 4,8$ В. Интегральная ошибка	

I	2	3
		преобразования $\sim 1\%$. Максимальное время установления выходного сигнала 4 мксек. $E_n = 6$ В $- 12$ В.
9. ЦАП-03. Цифро-аналоговый преобразователь.		Количество разрядов автономно по 2^6 в каждой схеме. Интегральная нелинейность не хуже $0,05\%$. $E_n = +24, +12, +6$ В.
10. ЦАП-4. Цифро-аналоговый преобразователь.		Количество разрядов 6×2 . $U_{вых} = 0 \pm 5$ В.
11. АУ-01. Аналоговый умножитель (усилитель с регулируемым коэффициентом усиления).		$U_{кв} =$ от 0 до $+5$ В. $f_{max} = 10^5$ имп/сек $T_{гр} = 0,3$. Неточность умножения в диапазоне сигналов (5 ± 1) В $< 10\%$.
12. УИС-01. Измеритель средней скорости счета.		Диапазон входных сигналов от 10 до 10^3 имп/сек. Постоянные интегрирования от 1 до 100 нсек. $U_{кв. макс} = +10$ В. Нелинейность $\sim 2\%$.

Таблица I.

Счетчики, таймеры и логические схемы III и IV степени интеграции

I	2	3
1. ДС-01. Декадный счетчик		Емкость $- 10^5$. $f_{max} = 1$ МГц $P_{max} = 11$ мВт, $I_m = 1,2$ мА; $E_n = +9 \pm 10\%$ В.
2. ДРС-01. Двоичный реверсивный счетчик		Емкость 2^6 , $f_{max} = 1$ МГц $P_{max} = 8$ мВт; $I_m = 0,8$ мА; $E_n = +9 \pm 10\%$ В.
3. ИЛР-01. Счетчик с памятью		Емкость 10^3 ; $f_{max} = 1$ МГц; $I_m = 0,25$ А; $E_n = +5 \pm 10\%$ В
4. ППБД. Редуктор частоты		Коэффициент редукции $\dots 10^{-3}$. Шаг редукции 10^{-3} $f_{max} = 10$ МГц. $I_m = 0,3$ А. $E_n = +5 \pm 10\%$ В.
5. ДС-02. Вычислитель с емкостью памяти 2^8 .		Скорость поступления сигналов 2 МГц. Статистическая неточность $\sim 1\%$ при $n/n_2 = 1,05$.
6. ДЧ-01. Делитель частоты		Емкость 10^6 , частота счета 10 МГц; $E_n = 5 \pm 10\%$ В.

1.	2	3
7. СНП-2. Стабилизатор прецизионный.	$U_{out}=6$ В.	$I_U=0,5$ А, $\text{Нет} \pm 0,001\%$
8. СНП-3. Стабилизатор напряжения прецизионный.	$U_{out}=12$ В	$I_U=0,3$ А, $\text{Нет} \pm 0,001\%$
9. СНП-4. Стабилизатор напряжения прецизионный.	$U_{out}=24$ В,	$I_U=0,1$ А, $\text{Нет} \pm 0,001\%$.

Таблица № 2

Наименование блока, узла	Конструктивное исполнение	Выходное напр., В	Ток нагрузки, А	Состояние разработки
Блок питания БНН-150	С-ма "Черешня"	6 6	15 10	Госиспыт. июль 74 г.
Блок питания БНН-153	С-ма "УТК"	24 24	3 3	
Блок питания БНН-151	С-ма "Черешня"	6 6 12	15 10 3	- " -
Блок питания БНН-154	С-ма "УТК"	12 24 24	1,5 1,5 1,5	
Блок питания БНН-152	С-ма "Черешня"	6 6	10 10	- " -
Блок питания БНН-156	С-ма "УТК"	6 6	10 10	
Блок питания БНН-90	С-ма "Черешня"	6 6 24 24	10 6 3 3	Серийное освоение
Блок питания БНН-90-01	- " -	6 6 12 24 24	10 6 2 1,5 1,5	
Блок питания БНН-92	- " -	5 5 5 12 12	7 7 4 4 0,7 0,7	- " -
Стабилизатор напряжения ЕС-20А	С-ма "УТК" (ТЭЭ)	6	1,0	
Стабилизатор напряжения ЕС-21А	- " -	12	0,7	- " -
Стабилизатор напряжения ЕС-22А	- " -	24	0,5	- " -
Стабилизатор напряжения ЕС-23А	- " -	24	1	- " -

Таблица № 5

Параметры	Кокс и Смит	Артамонов	Кокс и Смит с учетом обратных связей	Настоящая работа	Математическое моделирование на ЭВМ М-220
T^*	7,5 час	12,7 час	30,2 час	6,9 час	14,4 час
N^*	8,5 заявок	7,4 заявки	9,1 заявок	11,9 заявок	7,8 заявок
S^*	5,3 час	5,5 час	19,9 час	19,0 час	12,2 час
ν	5 заявок	14 заявок	20 заявок	12 заявок	17 заявок
R	31,8 час	89,1 час	53,1 час	58,0 час	55,5 час
Дисперсия D	4,9 час	6,7 час	5,2 час	7,3 час	1,8 час
Доверитель- ный интервал	$29,2 \leq R \leq 35,1$	$79,5 \leq R \leq 102,3$	$47,4 \leq R \leq 57,7$	$48,3 \leq R \leq 54,1$	$53,2 \leq R \leq 57,1$

44

Таблица 3.

Унифицированный ряд запоминающих устройств ядерного приборостроения

№ п/п	Тип ЗУ	Время цик- ла считыва- ния	Время полного цикла	Основные хар-ки	Тип конструк- тива и размеры	Рабочий диапазон
1.	БЗУ-1 256x24	1,5 мксек	4-6 мксек	Привод на ИС. Ферриты $\varnothing 0,6$; 1,5 ВТ. Число каналов 256 раз. 24.	"Черешня"; "Гранит" Размер платы 140x160	Диапазон 0-49 система 3-4/435/
2.	БЗУ1 256x18	350 нсек	1 мксек	Привод на ИС. МДП-м/схемах ч.к. 256; ч.р. 18	"Черешня"; "Гранат" "УТК", размеры пла- ты 140x160	Диапазон -10 + +55°C /436/
3.	БЗУ1-1024	1 мксек	4 мксек	Привод на ИС. Феррит $\varnothing 0,6$ 3ВТ; ч.к. 1024, ч.р. 24	"Гранит"; "Черешня" "УТК", плата 140x160	Диапазон 0 + 40°C /437/
4.	БЗУ1 1024x18	350 нсек	1 мксек	Привод на БГИС; ч.к. 1024, ч.р. 18	"Черешня"; "УТК" плата 140x160	Диапазон - 10 + +55°C /438/
5.	БЗУ2 1024x18x2	380 нсек	500 нсек	- " -	- " -	Температ. диапазон -10+55°C
6.	БЗУ-1	700 нсек	1,5 мксек	Привод на ИС. Феррит $\varnothing 0,6$ 5ВТ; ч.к. 4096, ч.р. 24	- " -	Диапазон 0+40°C /439/
7.	БЗУ-2 4096x56	150 нсек	700 нсек	Привод на БГИС. Феррит $\varnothing 0,4$ 7ВТ или 9ВТ, ч.к. 4096, ч.р. 56	"Черешня" плата 480x320	Темпер. диапазон 0-50°C /440/

35

Таблица 3 (продолжение).

№ пп	Тип ЗУ	Время цикла считывания	Время полного цикла	Основные хар-ки	Тип конструктива и размеры	Рабочий диапазон
8.	БЗУ-3 8I92x24	700 нсек	1,5 мксек	Привод на ИС. Феррит $\varnothing 0,6$ 5ВТ; ч.к. 8I92, ч.р.24	"Черешня", "УТК" плата 140x160	Темпер. диапазон 0-40°C /429/
9.	БЗУ-4	700 нсек	1,5 мксек	Привод на БГИС. Феррит $\varnothing 0,6$ 5ВТ; ч.к. 8I92, ч.р.24	"Черешня".Общий размер 80x480x400	Темпер.диап. 0-40°C /44I/
10.	БЗУ-5 8I92x24x3	700 нсек	1,5 мксек при 500нсек при 8к.	"-" (ч.к.24, ч.р.24)	"Черешня".Общий размер 240x480x400	"--"