



ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

2
1981



**ОТБРАЖЕНИЕ
ВНУТРЕННИХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СОСТОЯНИЙ МИКРОПРИБОРОВ
С ПОМОЩЬЮ РАСТРОВОЙ
ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ—
ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ
И ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ**

АВТОМАТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

14КПЛ300-2



ПРЕДНАЗНАЧЕНА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ПРАКТИЧЕСКИ ВСЕХ ТИПОВ. Благодаря использованию оригинальных методов измерения параметров установка может применяться для автоматического контроля операционных усилителей как в условиях массового производства, так и в процессе разработки новых типов интегральных микросхем операционных усилителей.

В состав установки, выполненной на базе современных интегральных микросхем, входит процессор с кассетой памяти емкостью 4096 8-разрядных слов, что позволяет оперативно перенастраивать установку при смене типа контролируемого операционного усилителя. Предусмотрена возможность подключения ЭВМ вместо процессора для проведения статистической обработки измеренных значений параметров операционных усилителей, определения временного и температурного дрейфа параметров и т.п.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Измеряемый входной ток при разрешении	
0,1 нА	5 нА — 16 мкА
Измеряемое напряжение смещения при разрешении 1 мкВ . . .	10 мкВ — 160 мВ
Коэффициент усиления	40—150 дБ
Точность измерения статических параметров	1%
Измеряемая скорость перепада напряжения	0,5—600 В/мкс
Измеряемый интервал времени установления напряжения с точностью до 0,1% по уровню и при разрешении 0,1 нс	10 нс—16 мкс
Точность измерения временных динамических параметров	± 5%
Производительность	300 схем/ч
Продолжительность непрерывной работы	16 ч
Габариты	700x498x1000 мм

1981

МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР • НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. А. Чернышев

(главный редактор)

В. А. Афанасьев

Ф. И. Бусол

А. А. Васенков

И. Н. Воженин

Г. Г. Горбунова

(ответственный секретарь)

Г. Я. Гуськов

Н. Д. Девятков

В. И. Иванов

А. Ф. Казаков

А. А. Константинов

Ю. Г. Кувшинников

Э. А. Лукин

А. А. Маклаков

В. И. Машкин

Ю. Б. Митюшин

А. А. Орлов

Ю. П. Поцелуев

В. М. Пролейко *(зам.*

главного редактора)

Ю. А. Райнов

А. И. Савин

А. А. Сорокин

В. Д. Степанов

Ю. Б. Степанов

В. Н. Сретенский

П. М. Стуколов *(зам.*

главного редактора)

И. Ф. Фадеев

В. А. Федоров

Я. А. Федотов

О. В. Филатов

С. К. Цаллагов

● Применение нетрадиционных методов растровой электронной микроскопии для изучения линейных интегральных схем и акусто-электронных элементов позволяет получать количественную информацию о динамических характеристиках этих приборов, а также проводить неразрушающий контроль их работы без существенной модификации РЭМ серийного производства.

● Композиционный метод проектирования цифровых микросхем на основе библиотечного набора элементов с типовыми, синтезированными и эвристическими схемотехническими решениями представляет собой последовательность действий с использованием ограниченной совокупности аналитических, модельных, программных средств и информационных связей между ними, позволяющих выполнять работы на внешних и внутренних уровнях по проектированию БИС.

● Программное обеспечение, разработанное для серийной системы контроля БИС запоминающих устройств и микропроцессоров «ЭЛЕКОН СФ», позволяет автоматизировать программирование процесса контроля БИС на языке высокого уровня ЭЛЕКОН Ф, осуществлять статистическую обработку результатов контроля, автоматическую диагностику неисправности аппаратуры контроля и автоматизировать метрологическую аттестацию.

● Разбраковка и классификация по измеренным электрическим параметрам линейных интегральных стабилизаторов напряжения и интегральных операционных усилителей широкой номенклатуры успешно может проводиться на многопостовых установках, представляющих собой контрольно-измерительные системы, управляемые от мини-ЭВМ «Электроника 100-16И» или «Электроника 100-25».

● Полупроводниковая интегральная микросхема КР555РЕ4 выполнена на базе биполярного ПЗУ емкостью 16К с организацией 2048х8 разрядов и реализует функцию накопителя для генератора 160 символов. По входным и выходным сигналам накопитель полностью совместим с ТТЛ схемами серий К155, К131, К555, К556, К589.

● Комплект технологических печатных плат, отличающихся топологией, типоразмером, типом используемого разъема, позволяет сократить цикл «разработка — производство» радиоэлектронной аппаратуры.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1981 **2**
ГОД ИЗДАНИЯ ДВЕНАДЦАТЫЙ-ВЫПУСК(98)

СОДЕРЖАНИЕ

- 2 *Стуколов П.М.* Электроника – XXVI съезду КПСС
- ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ
ПРОИЗВОДСТВА**
- 5 *Беллев Ю.К., Ленская С.А., Смердинская С.Е.* Повышение эффективности использования фондов экологического назначения
- ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА**
- 8 *Дюков В.Г., Коломейцев М.И.* Применение методов растровой электронной микроскопии в микроэлектронике
- 15 *Данилин Н.Н., Попель Л.М.* Установка для функционального контроля БИС ОЗУ "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ"
- 18 *Антошин В.Д., Кагановский И.П., Костюков Е.В.* Система автоматического контроля геометрических размеров объектов с использованием датчиков изображения на ПЗС
- 20 *Давитян Э.А., Тарванян Г.С., Татевосян Е.Г.* Многопостовой комплекс для измерения электрических параметров операционных усилителей широкой номенклатуры
- 21 *Аветисян А.В., Арутюнян В.Г., Давитян Э.А., Ераносян Д.А.* Многопостовая установка для измерения параметров линейных интегральных стабилизаторов напряжения
- 23 *Макеев В.В., Саввин Ю.А., Федоренко Ю.С.* Контроль температурных запасов параметров микросхем при пониженном напряжении питания
- 25 *Борунова Н.М., Рыскин Е.З., Якунин Ю.И.* Контроль качества посадки кристалла транзистора в корпус
- ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ.
МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ**
- 28 *Борисова Я.И., Васильев Е.П., Лыщенко В.И., Орлов Е.В., Попель Л.М., Трускова С.М.* Программное обеспечение системы "ЭЛЕКОН СФ"
- 33 *Кармазинский А.Н.* Основы синтеза композиционных методов проектирования цифровых микросхем
- 43 *Горовой В.В., Савотин Ю.И., Сахащук А.Г.* Статистический анализ параметрической надежности БИС ОЗУ емкостью 256 бит
- ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ
И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ**
- 46 *Назарьян А.Р., Неклюдов В.А., Щетинин Ю.И.* Накопитель информации КР555РЕ4 емкостью 16К для генератора символов
- 48 *Самсонов Н.С., Хмельницкий С.Л.* Интегральные полупроводниковые микросхемы К170АГВ и К170АП4 для управления ЗУ на МОП-элементах
- 49 *Абрайтис В.Б., Климашаускас К.Ю., Марцинкявичюс А.-И.К.* Цифроаналоговый преобразователь К594ПА1
- 50 *Квелде Ю.А., Кокорин Е.Ю., Озолина И.Э., Фарафонов В.В.* Прецизионный операционный усилитель К153УД5
- 51 *Сучков О.В.* Комплект технологических печатных плат
- 56 *Бачурин В.В., Дьяконов В.П., Ремнев А.М.* Сильноточные ненасыщенные ключи на составном транзисторе
- 57 *Носов Ю.Р., Степанова В.Н., Хазанкин Ю.П., Эпштейн Л.Е.* Применение оптронов для передачи аналоговых сигналов
- 59 *Сальников В.М., Фирсов В.И.* Мощный высоковольтный кремниевый транзистор КТ826
- 61 *Латицкий Е.И., Овсянников Н.И., Семин В.А., Смирнов А.М.* Кремниевые транзисторы средней мощности КТ645А и КТ646А
- 62 *Демиденко В.В., Заболотный Н.А., Фирсов В.И.* Мощный высокочастотный кремниевый транзистор КТ947
- СООБЩЕНИЯ**
- 64 XI Пленум ЦК профсоюза рабочих радиоэлектронной промышленности

ЭЛЕКТРОНИКА-ХХУ I СЪЕЗДУ КПСС

УДК 621.38:329 012 1

П. М. СТУКОЛОВ

Завершена десятая пятилетка. Страна, заступив на вахту первого года пятилетки, с огромным воодушевлением встречает XXVI съезд КПСС. Немалый вклад в укрепление народного хозяйства внесла электронная промышленность, одна из отраслей, определяющая развитие научно-технического прогресса в стране. Еще больше расширилась сфера применения изделий электронной техники — от космических кораблей и сложнейших систем вычислительных комплексов до бытовых приборов и устройств: телефонные аппараты, часы, видеомагнитофоны, игры и др. Это определило значительно более высокие темпы развития электроники в десятой пятилетке по сравнению с другими отраслями промышленности.

Трудящиеся отрасли, отвечая на постоянную заботу партии и правительства о росте благосостояния народа, решая задачи экономической стратегии, поставленные на XXV съезде КПСС, и опираясь на проведение широкого комплекса технических и организационных мероприятий по повышению эффективности производства, развернутое социалистическое соревнование, одержали большую трудовую победу — 26 сентября 1980 года рапортовали Генеральному Секретарю ЦК КПСС, Председателю Президиума Верховного Совета СССР товарищу Леониду Ильичу Брежневу о выполнении заданий десятой пятилетки.

За годы минувшей пятилетки значительно вырос объем производства электронной техники. Выпуск товаров культурно-бытового назначения увеличился в 3,4 раза. Существенно обновилась номенклатура изделий электронной техники всех направлений, повысились их надежность и качество. Большинство изделий отвечает мировым стандартам, а многие и превосходят.

Опережающее развитие в десятой пятилетке получила микроэлектроника как основа научно-технического прогресса в народном хозяйстве страны. От производства интегральных микросхем малой и средней степени интеграции электроника перешла к выпуску больших интегральных схем, начат серийный выпуск сверхбольших и сверхбыстродействующих интегральных микросхем. Практически БИС пре-

вратились в функционально законченные приборы, заменяющие целые традиционные узлы и принципиально изменяющие конструкцию радиоаппаратуры и приборов. В результате развития производства интегральных схем получена экономия в народном хозяйстве, исчисляемая ни одним миллиардом рублей.

Процесс интегрирования в десятой пятилетке получил развитие в целом ряде направлений отрасли. На этой основе созданы и выпущены различные устройства вычислительной техники, товары культурно-бытового назначения и хозяйственного обихода, изделия для сельского хозяйства. Обновилась номенклатура, расширился диапазон и быстродействие микро- и мини-ЭВМ, микрокалькуляторов, уменьшились их габариты. Создано производство разнообразных электронных часов, получивших высокую оценку на внутреннем и внешнем рынках, видеомагнитофонов, малогабаритных цветных телевизоров, различных видов бытовой радиоаппаратуры и средств связи. Начат выпуск слуховых аппаратов, СВЧ печей.

На предприятиях отрасли планомерно проводится работа по снижению себестоимости выпускаемых изделий, что создает условия для снижения оптовых цен на изделия электронной техники. Так, за годы десятой пятилетки оптовые цены снижены по отрасли в среднем на 25 %, а по таким прогрессивным видам электронной техники, как интегральные схемы — на 45 %, полупроводниковые приборы — на 30%, цветные кинескопы — на 24 %. Экономия средств у потребителей за счет снижения оптовых цен на изделия отрасли за годы десятой пятилетки составила 10,86 млрд.руб. В настоящее время в отрасли завершена очередной пересмотр оптовых цен, а экономия средств от снижения цен в 1982 г. составит 3 млрд.руб.

Более чем в 1,5 раза увеличился объем поставок для сельского хозяйства. Сельское хозяйство получило тысячи станций связи, комплектов автоматики для инкубаторов, регуляторов температуры брудеров, около 3 млн. термосов для механизаторов. Начат выпуск морозильных камер, автоматизированных ли-

ний для производства трихограмм и целый ряд других изделий.

За годы десятой пятилетки организовано производство электронных изделий для медицины. В настоящее время освоены выпуск сигнализаторов потока крови, электрохирургических и стоматологических аппаратов, тетраполярных реографов, быстродействующих кардиосигнализаторов, тепловизоров и других приборов и устройств.

Научными и конструкторскими организациями отрасли разработаны новые виды изделий электронной техники, производство которых запланировано на одиннадцатую пятилетку. Они будут способствовать дальнейшему расширению сфер применения электроники в народном хозяйстве.

Установленные электронной промышленности задания в области капитального строительства на десятую пятилетку также выполнены по всем технико-экономическим показателям. Сокращено число строящихся объектов. 90% средств направлено на реконструкцию и техническое перевооружение предприятий; удельный вес строительно-монтажных работ составил 25%; около 30% площадей вновь вводимых объектов построено на основе легких конструкций, в том числе модульных корпусов с высокой производственной готовностью, выполненных на предприятиях отрасли. Такие модульные корпуса нашли широкое применение и в других отраслях промышленности.

Высокие темпы роста электронной промышленности базировались на всемерном развитии технической оснащенности производства, в первую очередь, на внедрении передовой технологии, нового, прогрессивного технологического оборудования, выпускаемого отраслью и обеспечивающего дальнейшую автоматизацию и механизацию производства, значительное увеличение производительности труда, повышение процента выхода годных изделий, улучшение их качества и надежности.

Большую роль в развитии электроники сыграл комплекс мероприятий по совершенствованию управления и планирования. В десятой пятилетке завершён переход на генеральную схему управления отраслью. Внедрение генеральной схемы сократило число управляемых объектов и повысило степень концентрации производства. Одновременно это привело к углублению специализации, более гибкой системе управления и планирования.

Опыт работы объединений за прошедший период показал, что наиболее эффективна работа объединений, в которых взаимосвязаны мощности производства основных видов про-

дукции, специального машиностроения и научно-конструкторских подразделений и организаций. В этих условиях за счет создания научно-производственных комплексов значительно ускоряется процесс разработки и внедрения новых изделий, обновляется технология, повышается уровень научно-конструкторских разработок, качество и надежность выпускаемой продукции. Вместе с тем процесс совершенствования управления продолжается и резервы повышения эффективности работы объединений в этой области еще далеко не исчерпаны.

Успешному решению экономических и социальных задач 1980 года и десятой пятилетки в целом способствовало развернувшееся в отрасли социалистическое соревнование за достойную встречу XXVI съезда КПСС. Министрство электронной промышленности СССР и ЦК профсоюза рабочих радиозлектронной промышленности наградили большое число работников нагрудными значками "Отличник социалистического соревнования электронной промышленности", "Почетный работник электронной промышленности". Передовые коллективы отрасли награждены переходящими Красными знаменами ЦК КПСС, Совета Министров СССР, ВЦСПС, Совета Министров СССР, ВЦСПС и ЦК ВЛКСМ, памятными знаками ЦК КПСС, Совета Министров СССР, ВЦСПС и ЦК ВЛКСМ "За высокую эффективность и качество работы в десятой пятилетке" с занесением на Всесоюзную доску почета на ВДНХ СССР.

В ответ на сердечное поздравление Леонида Ильича Брежнева по поводу досрочного выполнения электронной промышленностью заданий десятого пятилетнего плана работники отрасли приняли дополнительные социалистические обязательства в честь XXVI съезда Коммунистической партии Советского Союза, которые успешно выполнены. Обеспечен намеченный сверх заданий пятилетнего плана выпуск необходимой народному хозяйству продукции, включая и товары культурно-бытового назначения, которых сверх плана произведено на сумму 560 млн. руб. Превышены все технико-экономические показатели заданий пятилетнего плана, обеспечена запланированная экономия материальных, трудовых и финансовых ресурсов. К дню открытия XXVI съезда КПСС сверх плана закончены разработки большого числа новых видов электронной техники, несколько десятков разработок завершены досрочно.

Созданы новые образцы товаров культурно-бытового назначения, освоено в серийном производстве ряд новых изделий, в том числе товаров культурно-бытового назначения. Изготовлены и внедрены в производство десятки автоматизированных и механизированных линий и оборудования, управляемого электронными устройствами.

За счет проведения комплекса мероприятий по модернизации материалоемких конструкций изделий электронной техники, внедрения прогрессивных технологических процессов и средств комплексной механизации и автоматизации производства, строгого режима экономии сырья и материалов в 1980 г. сверх ранее принятых социалистических обязательств получена экономия материальных ресурсов на сумму 12 млн.руб., а за два месяца 1981 г. — на 1,5 млн.руб.

К началу 1981 г. создано 35 подсобных хозяйств, в течение года будет организовано еще 15 хозяйств.

В день открытия съезда коллективы многих предприятий и организаций электронной промышленности решили работать на сэкономленных материалах и топливно-энергетических ресурсах. Достигнутые отраслью успехи в деле выполнения заданий десятого пятилетнего плана, дополнительных социалистических обязательств к XXVI съезду КПСС нацеливают коллективы на новые трудовые свершения.

Изложенная в проекте Основных направлений экономической стратегии партии направлена на дальнейшую интенсификацию отраслей народного хозяйства и дальнейший рост благосостояния советского народа. Значительно возрастает роль электроники в деле развития научно-технического прогресса и повышения эффективности других отраслей промышленности и народного хозяйства. Это обязывает нашу отрасль сохранить опережающие по сравнению с другими отраслями темпы роста объемов производства, эффективности науки и производства.

Широко обсуждая проект "Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года", работники электронной промыш-

ленности внесли целый ряд предложений, направленных на дальнейшее повышение технического уровня выпускаемых изделий и производства, разработку и освоение новых прогрессивных видов технологии, специального технологического, высокопроизводительного автоматизированного и механизированного оборудования, а также на совершенствование планирования, управления, организации производства и труда, повышение эффективности капитальных вложений. Эти предложения будут учтены в планах на одиннадцатую пятилетку.

Предстоит мобилизовать все имеющиеся резервы для дальнейшего повышения эффективности работы объединений и предприятий отрасли на основе ускорения темпов внедрения достижений научно-технического прогресса, повышения уровня организации производства, рациональной его концентрации и специализации, более тесной связи науки и производства.

Многое необходимо сделать по совершенствованию автоматизированных систем управления, обеспечению решаемых в них задач и полной преемственности показателей, характеризующих состояние производства на всех его уровнях. Большая работа будет проведена по реализации постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР "Об улучшении планирования и усилении воздействия хозяйственного механизма на повышение эффективности и качества работы." Это постановление открывает новые перспективы в развитии экономики страны, в том числе и электронной промышленности. Опыт перевода отдельных объединений отрасли на оценку их деятельности по нормативной чистой продукции показывает большое значение разработки норм и нормативов для планирования производства. Поэтому необходимо в ближайшее время завершить их разработку, исходя из намечаемого развития отрасли в одиннадцатой пятилетке.

Вступив в новый период развития экономики страны, трудящиеся электронной промышленности, опираясь на накопленный опыт, направят все свои усилия на выполнение задач, вытекающих из решений XXVI съезда КПСС.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 574

Ю. К. Беляев, С. А. Ленская, С. Е. Смердинская

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОНДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Взимание части платы за фонды, функционирующие ниже утвержденных норм, за счет прибыли предприятий повысит эффективность использования всех производственных фондов, в том числе природоохранного назначения.

В числе мероприятий партии и правительства по совершенствованию хозяйственного механизма, предусмотренных постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР "Об улучшении планирования и усилении воздействия хозяйственного механизма на повышение эффективности производства и качества работы", важное место занимает система мер, направленных на улучшение использования производственных фондов. В решении этой задачи особое внимание уделяется плате за фонды, которая введена в связи с необходимостью активизировать влияние социалистических распределительных отношений на повышение эффективности общественного производства. Плата за производственные фонды, выражая экономические отношения между государством и объединением (предприятием), призвана выполнить две важнейшие общественные функции. Во-первых, она служит объективной основой распределения созданного чистого дохода пропорционально производственным фондам. Во-вторых, плата за фонды стимулирует их рациональное использование.

Положительное влияние платы за фонды сказалось прежде всего в снижении запасов неустановленного оборудования и сверхнормативных, непрокредитованных банком запасов товарно-материальных ценностей. Однако в дальнейшем это положительное воздействие резко уменьшилось, что повлекло за собой увеличение всех форм запасов. Основными причинами этого явились, на наш взгляд, срывы в выполнении государственных заданий и договорных обязательств некоторыми предприятиями, неточности в планировании, недо-

статочное использование принципа материальной заинтересованности и материальной ответственности работников за выполнение обязательств по поставкам в соответствии с заключенными договорами; нарушение ритмичности в материально-техническом снабжении; недоиспользование действующего оборудования, новой техники и технологии.

В настоящее время наиболее важными составляющими механизма платы за фонды являются плата за фонды экологического назначения (удельный вес которых в народнохозяйственных основных фондах стремительно возрастает) и учет степени использования основных фондов.

Указанным выше постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР предусмотрены мероприятия, направленные на лучшее использование имеющихся в распоряжении объединений и предприятий ресурсов, сокращение сверхнормативных непрокредитованных банком запасов товарно-материальных ценностей и неустановленного оборудования.

Так, за сверхнормативные непрокредитованные банком запасы материальных ценностей и неустановленное оборудование предприятия обязаны вносить плату за производственные фонды за счет прибыли, оставляемой в их распоряжении. Объединения и предприятия, выполнившие план производства и прибыли с меньшей стоимостью фондов, чем было запланировано, оставляют в своем распоряжении сумму экономии по плате за производственные фонды. Такая система санкций и поощрений повышает ответственность объединений и предприятий за своевременное вовлечение вышеперечисленных запасов в процесс производства, лучшее использование производственных фондов.

Недостаточное воздействие платы за производственные фонды на хозяйственный механизм связано также с широким применением льгот по этому платежу, в результате чего довольно значительное число объединений (предприятий) вносит плату за фонды в небольших размерах, либо совсем освобождается от ее уплаты. Применение льгот по плате за фонды привело к фактическому уменьшению норматива этого показателя примерно до 4% против установленных 6% [1]. Такие льготы, несомненно, сыграли положительную роль в процессе начального формирования указанных фондов. Однако в настоящее время на предприятиях и объединениях ряда ведущих отраслей промышленности доля фондов экологического назначения достигла 10–20% стоимости основных производственных фондов, а в ряде случаев – 30% [2]. Поэтому

к определению льгот по плате за фонды экологического назначения необходимо подходить дифференцированно. Автоматическое освобождение от этой формы стоимостных регуляторов производства всех фондов экологического назначения неоправдано, так как снижает эффективность использования фондов природоохранного назначения.

Взимание платы за производственные фонды должно идти по линии сокращения перечня производственных фондов, по которым предоставляются льготы по плате за фонды. На наш взгляд, целесообразно сохранить льготы по плате лишь за основные фонды, созданные за счет банковского кредита (в части, подлежащей погашению) и консервированные по решению правительства. Основные производственные фонды, до сих пор освобождаемые от платы за фонды, следует облагать платой в размере 6% годовых.

Взимание платы за фонды экологического назначения предполагает прежде всего необходимость выделить в составе основных производственных фондов их экологическую составляющую. При этом становится обязательным дифференцированный подход, при котором устанавливается плата за фонды на отдельные виды и типы природоохранного оборудования с учетом реализации их природоохранной функции. Ряд экономистов [3-5] такую дифференциацию осуществляет по стоимости основных производственных фондов и оборотных средств ввиду особенностей их кругооборота. Размер платы за основные производственные фонды должен устанавливаться с учетом степени экологичности функционирующих производственных фондов, которая определяется приходящейся на единицу мощности величиной отходов производства, оказывающих отрицательное воздействие на человека и природные условия его жизнедеятельности, а также удельным весом стоимости основных производственных фондов природоохраны в общей стоимости основных производственных фондов объединений (предприятий).

Природоохранные фонды направляются не только на выпуск дополнительной продукции за счет утилизации отходов производства и потребления (и, следовательно, экономию капитальных затрат на строительство специализированных мощностей по производству этой продукции), экономию природных ресурсов, предотвращение прямого ущерба хозяйственным объектам, возникающего при ухудшении качественных параметров природной среды, но и на улучшение условий жизнедеятельности человека, развитие его способностей управлять природными процессами. И, наконец, существует и чисто экологическое назначение природоохранных фондов. Оно заключается в предотвращении возможности нанесения ущерба (или по крайней мере его уменьшения или компенсации) природным условиям жизнедеятельности общества. Отмеченные виды эффектов функционирования основных про-

изводственных фондов экологии взаимосвязаны и способны трансформироваться из одного вида в другой. Поэтому величина норматива платы за производственные фонды экологического назначения, которую предлагается установить с целью их более эффективного использования, должна в конечном счете ориентироваться как на экономическую, так и на социально-экологическую "рентабельность" с учетом того, что размер платы за эти фонды должен быть тем выше, чем больше доля эффекта в общем результате функционирования этих фондов и, наоборот, снижаться по мере возрастания удельного веса социально-экологических компонентов общего эффекта. Дальнейший поиск возможностей прямой или косвенной экономической оценки конечных результатов функционирования фондов экологии поможет решить проблему их сопоставимости, разработать единую методологическую базу, позволяющую органично включать в хозяйственный механизм экономические инструменты стимулирования развития и движения основных производственных фондов. Таким образом, новые требования к уровню экологичности основных производственных фондов, развитию основных фондов природоохранного назначения усилят стимулирующую роль платы за производственные фонды.

В последние годы особенно насущной становится проблема наиболее рационального и эффективного использования имеющихся в народном хозяйстве производственных мощностей, в частности, производственного оборудования. Как показало выборочное обследование, проведенное ЦСУ СССР в 1975 г., на основе межотраслевого баланса основных фондов на предприятиях машиностроительных министерств, где сосредоточена основная масса металлообрабатывающего и кузнечно-прессового оборудования, это оборудование используется в сутки лишь на 85% [6, 7]. Коэффициент сменности работы оборудования в основном производстве указанных министерств составил 1,41, причем основная причина потерь рабочего времени обуславливается неудовлетворительной организацией труда.

Для электронной промышленности проблема повышения степени использования производственных фондов, особенно технологического оборудования, также очень актуальна. Динамизм морального старения изделий, технологии, оборудования требует предельного внимания к интенсификации производственного процесса, использованию экономических рычагов и стимулов повышения степени эксплуатации основных фондов.

По-видимому, существующая система экономических средств воздействия на повышение эффективности использования действующих производственных фондов недостаточна. Особенно это важно в условиях постоянного роста пассив-

ной части производственных фондов за счет необходимости повышения их экологических характеристик. С целью улучшения использования имеющихся производственных мощностей представляется целесообразным взимать плату за производственные фонды с учетом коэффициента сменности. Если коэффициент сменности оборудования превышает нормативный, плата за фонды вносится за счет прибыли, оставляемой в распоряжение объединений и предприятий (предполагается, что распределение прибыли осуществляется по нормативному методу).

Проиллюстрируем это на условном примере. Предположим, что среднегодовая стоимость производственного оборудования — 600 тыс.руб., норматив платы за производственные фонды — 6%, нормативный коэффициент сменности — 2, фактический коэффициент сменности работы оборудования — 1,4, недоиспользование оборудования — 0,6. По действующей ныне методике расчета платы за производственные фонды ее размер в данном слу-

чае составит 36 тыс.руб. $\frac{(600 \times 6)}{100}$, причем при

нормативном методе распределения прибыли эта сумма будет полностью изъята из прибыли, отчисляемой в бюджет.

По предлагаемой методике плата за фонды также составит 36 тыс.руб. Однако часть этой суммы, а именно плата за используемое оборудование при коэффициенте сменности равном 1,4,

т.е. 25,2 тыс.руб. $\frac{(600 \times 6 \times 1,4)}{100 \times 2}$ будет взиматься

за счет прибыли, отчисляемой в государственный бюджет, а другая часть — плата за оборудование, не используемое объединением или предприятием в соответствии с нормативным коэффициентом

сменности, т.е. 10,8 тыс.руб. $\frac{(600 \times 6 \times 0,6)}{100 \times 2}$, будет

изыматься из прибыли, оставляемой в распоряжении министерств, объединений, предприятий. Такая методика расчета и взимания платы за производственные фонды будет стимулировать объединения и предприятия наиболее полно использовать имеющееся в их распоряжении оборудование, способствовать сокращению времени простоев.

Таким образом, плата за производственные фонды, если ее увязать с конечными результатами производственно-хозяйственной деятельности объединений (предприятий), с научной организацией труда и производства может сыграть активную роль в повышении эффективности использования огромных по масштабам производственных фондов социалистического общества, что явится фактором повышения эффективности всего общественного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отсасон Р. Хозрасчетные стимулы использования основных фондов. — Вопросы экономики, 1977, № 9, с. 50.
2. Хачатуров Т.С. Эффективность капитальных вложений. — М.: Экономика, 1979, с. 207–208.
3. Тальмина П.В. Финансовые проблемы повышения эффективности основных фондов предприятий. — М.: Финансы, 1978, с. 135.
4. Даниленко А.И., Шемученко И.В., Николаева Л.Н. Финансово-кредитные проблемы социалистической промышленности. — Киев: Наукова Думка, 1977, с. 223.
5. Масленников В.Н., Моляков Д.С. Денежные накопления в промышленности. — М.: Финансы, 1979, с. 201–202.
6. Вестник статистики, 1976, № 4, с. 93, 94.
7. Камаев В.Д. Развитой социализм: темпы и качество экономического роста. — М.: Мысль, 1977, с. 95.

Статья поступила 29 мая 1980 г.

РЕКЛАМА · ЭП · РЕКЛАМА

НОВЫЕ КНИГИ

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ СОЦИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Б.Н.Хомелянский

М.: Мысль, 1981, 16 л., 10000 экз.

Монография посвящена исследованию новой проблемы — эффективности функционирования отраслей социально-экономической инфраструктуры в воспроизводственном процессе. Особое внимание уделяется экономической сущности, народнохозяйственным функциям, специфике форм представления социально-экономических услуг.

Значительное место уделено анализу экономических ресурсов, необходимых для осуществления прогрессивных сдвигов в народном хозяйстве.

ПОЛУПРОВОДНИКИ НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА БАРИЯ

Пер. с яп. — М.: Энергия, 1981,
11 л., ил., 7000 экз.

В книге, написанной ведущими японскими специалистами, изложены физические свойства, технология изготовления и области применения одного из новых материалов — полупроводниковой сегнетокерамики, используемой в производстве изделий электронной техники, — позисторов, варисторов и других приборов.

Предназначена для инженерно-технических работников, специализирующихся в области разработки и производства полупроводниковой сегнетокерамики и радиоэлектронных деталей на ее основе.

ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

УДК 621.385.833.049.77

В. Г. Дюков, М. И. Коломейцев

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

Нетрадиционные методы растровой электронной микроскопии могут успешно применяться для получения количественной информации о динамических характеристиках линейных микросхем и акусто-электронных устройств, а также для проведения неразрушающего и не вносящего нагрузку контроля их работы без существенной модификации РЭМ серийного производства.

Развитие растровой электронной микроскопии [1] привело к созданию метода наблюдения и измерения постоянных и переменных поверхностных потенциалов с высокой чувствительностью, приближающейся к единицам милливольт, и субнаносекундным временным разрешением [2]. Этот метод базируется на способе измерения поверхностных потенциалов с использованием явления вторичной эмиссии [3] и на принципе стробоскопии, предложенном в электронной оптике [4] и реализованном в РЭМ [5].

На поверхности функционирующей интегральной схемы существует потенциальный рельеф, отображаемый на экране РЭМ в виде картины областей различной яркости, которую принято называть изображением, имеющим потенциальный или вольтовый контраст. Закономерность его формирования заключается в следующем. Микрообласть объекта — ИС, облучаемая электронным зондом РЭМ, может рассматриваться как своеобразный микрокатод, эмиттирующий вторичные электроны и имеющий размер, близкий к диаметру электронного зонда. Область эмиссии перемещается при сканировании зонда по поверхности функционирующей схемы, попадая на участки, потенциалы которых различаются в пределах, определяемых значением напряжения питания. Рассматривая приемник вторичных электронов РЭМ как эквивалент анода, находящегося под более высоким, чем ИС, фиксированным потенциалом, можно констатировать, что вторичные электроны достигают его в среднем с разными энергиями, задаваемыми разностью потенциалов между текущим положением эмиттирующей области — микрокатодом и анодом. Если предположить, что между катодом и анодом введена сетка, то в зависимости от ее потенциала относительно катода вторичные электроны с одних участков ИС (отрицательных) способны пройти сетку

и попасть в приемник, а другие (с положительных) будут частично задержаны. Таким образом, отрицательные по отношению к сетке токоведущие дорожки и элементы ИС будут выглядеть на экране РЭМ светлыми на фоне положительных (темных) элементов. В принципе подобный эффект имеет место в чисто диодном серийном коллекторном устройстве РЭМ, однако потенциальный контраст без дополнительного промежуточного электрода выражен значительно слабее.

Указанное рассмотрение механизма формирования потенциального контраста является упрощенным, так как оно не учитывает траекторные эффекты, связанные с присутствием на поверхности объекта электрических микрополей, сопутствующих потенциальному рельефу. Искажение изображений потенциального контраста и погрешности измерений локальных потенциалов могут быть сведены к минимуму выбором соответствующего устройства сбора и улавливания вторичных электронов, которое образует коллектор вторичных электронов, отличающийся повышенной по сравнению с серийным, чувствительностью к потенциальному рельефу. Поскольку число задержанных вторичных электронов зависит не только от потенциала сетки, но и от их энергетического спектра, то данный способ отображения потенциального рельефа фактически основан на энергетическом анализе спектра вторичной эмиссии, а вместо тормозящей сетки в коллектор может быть введен энергоанализирующий элемент другого типа.

Для получения изображения потенциального рельефа, периодически изменяющегося во времени, ИС либо облучают короткими импульсами синхронно с частотой изменения потенциального рельефа, либо при непрерывном облучении зондом применяют такое импульсное управление коллекторным устройством, при котором сбор вторичных электронов производится на определенных фазах периодического процесса [6]. Временное разрешение определяется практически длительностями соответствующих строб-импульсов.

Совершенствование техники и методики измерений привело к разработке трех режимов отображения периодически изменяющегося во времени потенциального рельефа, существующего на поверхности функционирующей ИС.

1. Режим стробоскопии [7]: наблюдение отдельных фаз логических состояний ИС с возможностью сдвига выбранной фазы наблюдения во времени; зонд РЭМ выписывает растр по наблюдаемому участку схемы.

2. Режим электронно-зондовой осциллографии [8]: наблюдение формы сигнала на выбранном элементе ИС путем наведения на него неподвижного зонда РЭМ (например, на токоведущую дорожку, идущую к электроду транзистора), временная задержка строб-импульсов автоматически изменяется и построение осциллограммы происходит так же, как и в стробоскопическом осциллографе.

3. Режим потенциального кодирования [9]: "эле"

ктронная штриховка" дорожек и элементов ИС, по которым проходит переменное напряжение сигнала; период штриховки обратно пропорционален частоте сигнала и зависит от длительности строчной развертки РЭМ.

При этом только второй режим дает возможность измерить амплитуду, длительность и оценить искажения формы периодического сигнала, тогда как два других используются в основном для качественного контроля функционирования ИС.

Таким образом, можно констатировать, что электронный зонд в РЭМ служит своеобразным щупом, с помощью которого обеспечивается неразрушающий контакт с элементами ИС, причем вносимая самим зондом нагрузка, особенно емкостная, может быть сделана пренебрежимо малой [2]. Локальная мощность, подводимая к схеме зондом, составляет обычно 10^{-4} – 10^{-7} Вт.

Описанные методы используются преимущественно для выявления дефектов цифровых интегральных схем, которые анализируются либо в открытых корпусах, либо непосредственно на платах при подключении напряжения питания и управляющих сигналов с помощью металлических зондов к контактным площадкам кристаллов [10].

Цель настоящей работы – создание доступной методики, не связанной с существенной модификацией РЭМ серийного изготовления, для исследования микроэлектронных устройств, с помощью которых осуществляется преобразование электрических сигналов, изменяющихся во времени по синусоидальному закону. К устройствам такого типа относятся линейные интегральные схемы и акустоэлектронные микроприборы. Методика, разработанная для их изучения, базируется на описанном выше механизме формирования потенциального контраста. Для отображения синусоидально изменяющегося потенциального рельефа не требуется вводить в РЭМ устройства, реализующие традиционный стробоскопический режим.

Применение предлагаемой методики представляется полезным не только на стадии отработки лабораторных образцов ЛИС с целью определения коэффициентов усиления и частотных характеристик отдельных каскадов, но также и при контроле их характеристик, изменяющихся под влиянием внешних факторов [11], оперативном анализе полных и функциональных отказов.

Покаскадный контроль ЛИС традиционными способами затруднителен, так как обычно внешние выводы от промежуточных каскадов отсутствуют, а применение механических зондов может привести к повреждению схемы и в ряде случаев внести заметную емкостную нагрузку.

Если в цифровых микросхемах перепад напряжений, соответствующий смене логических состояний, одинаков для большинства ячеек и каскадов схемы, то в ИС усилителя амплитуды сигнала могут существенно отличаться не только на входе и выходе схемы, но и в промежуточных каскадах.

Для определения частотных и усилительных свойств каскадов можно подать на вход ЛИС прямоугольный импульс и по искажению его формы судить о характеристиках каскадов, "подключая" последовательно электронный зонд к их выходам и применяя режим электронно-зондовой осциллографии. Однако, если при этом окажется, что полоса пропускания, например, второго каскада шире, чем первого, и форма сигнала исказилась на выходе

первого каскада, то сигнал пройдет второй каскад без искажений, и полоса пропускания второго каскада не будет определена.

В предлагаемой ниже методике развит способ оценки усилительных и частотных свойств линейных микроприборов в РЭМ, основанный на использовании входных синусоидальных напряжений различных частот. Этот способ применим также для изучения акустоэлектронных микроприборов, в которых распространение поверхностных акустических волн (ПАВ) по пьезоэлектрическому звуководу сопровождается перемещением синусоидального потенциального рельефа.

Хотя возможность наблюдения пульсирующего по гармоническому закону потенциального рельефа с применением узкополосного усиления сигнала в видеотракте РЭМ была продемонстрирована раньше [12], чем получили распространение стробоскопические способы его регистрации, однако она не получила развития из-за ограниченной полосы пропускания коллекторных устройств РЭМ.

Рассматриваемому ниже способу наблюдения и измерения переменного потенциального рельефа не свойственен указанный недостаток, так как он основан на использовании приемов детектирования и гетеродина (преобразования частоты) сигналов за счет нелинейности передаточных характеристик коллекторных устройств РЭМ.

При гетеродинаровании коллектор вторичных электронов формирует сигнал разностной частоты, лежащей в пределах его полосы пропускания, который возникает при смешивании двух других более высокочастотных сигналов, один из которых распространяется по цепям ЛИС или сопровождает бегущую ПАВ, а другой может быть введен от постороннего генератора-гетеродина. При этом нет необходимости в установлении в колонну РЭМ blankирующего устройства для модуляции тока первичного зонда, что приводит к некоторой потере разрешающей способности [13].

Изучение ЛИС и элементов акустоэлектронных приборов проводилось на установке с применением модифицированного РЭМ типа ННS-2R. Модификация прибора сведена в основном к добавлению специального коллектора вторичных электронов триодного типа [14]. На рис.1 представлены блок-схема установки и схематический эскиз коллекторного устройства, состоящего из иммерсионного объектива с апертурной диафрагмой, уста-

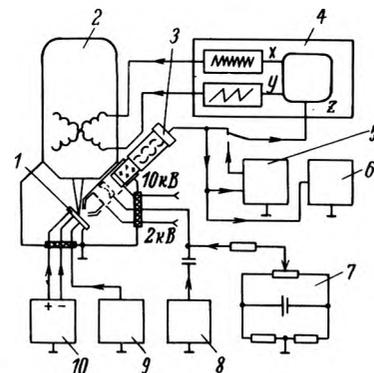


Рис. 1. Блок-схема установки: 1 – объект; 2 – колонна РЭМ; 3 – коллектор вторичных электронов; 4 – видеоконтрольный блок; 5 – селективный вольтметр; 6 – вольтметр постоянного тока; 7 – источник смещения; 8, 9 – генераторы синусоидальных напряжений; 10 – источник питания ЛИС

новленной вблизи кроссовера; полусферической мелкоячеистой сетки высокой прозрачности, центр кривизны которой совпадает с положением кроссовера; приемника прошедших электронов типа сцинтиллятор-световод-фотоумножитель. Потенциал анода иммерсионного объектива поддерживается равным 2 кВ, а сцинтиллятора — 10 кВ. Для уменьшения влияния сильного поля сцинтиллятора на работу анализатора сферическая сетка экранирована более редкой плоской сеткой. В качестве источников питания приемника электронов используются блоки питания серийного коллектора РЭМ. Применяемый коллектор представляет собой упрощенный вариант разработанного ранее устройства [15], но отличается от него большим полем зрения. Погрешность при измерениях потенциала в поле зрения диаметром 0,7 мм составляет 0,05 В.

Изучение ЛИС, основанное на использовании принципов детектирования и гетеродинамирования в РЭМ, предусматривает наличие нелинейного элемента в тракте приемника вторичных электронов, в качестве которого может быть использовано коллекторное устройство диодного или триодного типа. Эффективность частотных преобразований определяется степенью нелинейности соответствующих характеристик данных устройств. На рис.2 приведены нормированные передаточные характеристики $U_k = f(U_0)$, где U_k — постоянное напряжение на выходе коллектора, U_0 — потенциал образца относительно камеры объектов РЭМ. Кривая 1 снята для серийного коллектора при усредненном напряжении 5 кВ, длине рабочего отрезка 30 мм и горизонтальном расположении плоскости объекта. Кривая 2 получена при напряжении на сетке $U_c = 0$ и фактически представляет собой

интегральный спектр или кривую задержки медленной компоненты вторичных электронов. Как видно из графика, передаточная характеристика триодного коллектора имеет значительно большую нелинейность и две характерные области. Кривую 2 можно рассматривать как зеркальное отображение анодно-сеточной характеристики лампы-триода. При этом наблюдаемый сдвиг начала насыщения относительно $U_0 = 0$ обусловлен внешней контактной разностью потенциалов между медной сеткой и алюминиевым катодом.

При детектировании следует учитывать, что переменные напряжения на различных участках

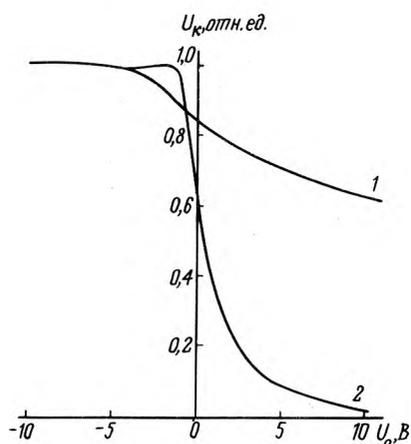


Рис. 2. Нормированные передаточные характеристики коллекторов вторичных электронов РЭМ: 1 — диодного; 2 — триодного

ЛИС могут отличаться постоянной составляющей, и с помощью источника смещения (см.рис.1) устанавливать рабочую точку на нелинейном участке кривой 2. При работе с серийным (диодным) коллектором (кривая 1) для изменения положения рабочей точки необходимо менять потенциал ЛИС вместе с ее источником питания и генератором входного сигнала, что практически трудно осуществить.

Как уже ранее упоминалось, значение переменного напряжения на элементах ЛИС существенно изменяется от каскада к каскаду. При регистрации малого входного сигнала проявляется эффект квадратичного детектирования, а для измеряемых выходных сигналов — линейного. Отсюда следует, что значение коэффициента передачи детектора будет зависеть от значения измеряемого напряжения. Регистрируемые при этом на выходе коллекторного устройства постоянные напряжения не будут пропорциональны эффективным значениям переменных напряжений на образце в широком диапазоне этих напряжений. Для преодоления указанного недостатка целесообразно введение глубокой отрицательной обратной связи, понижающей общий коэффициент усиления ЛИС вплоть до нескольких единиц, а также проведение по каскадным измерениям по методу сравнения.

Процедура таких измерений заключается в том, что электронный зонд РЭМ останавливают на заданном элементе схемы, подключенной к источнику питания, рабочую точку выбирают на нелинейном участке передаточной характеристики коллектора. Затем подают на вход ЛИС сигнал и измеряют вольтметром постоянное напряжение выходное напряжение коллектора. Далее входное напряжение ЛИС отключают, а на сетку от генератора с индикатором выхода (см.рис.1) подают напряжение той же частоты и такого значения, при котором выходное напряжение коллектора принимает прежнее значение. Таким образом, напряжение генератора 8 будет равно измеряемому в данной области схемы. Зависимость эффективного значения напряжения на сетке от эффективного значения напряжения на объекте, снятая на частоте 10 МГц, представляет собой прямую линию (рис.3) и иллюстрирует эквивалентность детектирования сигнала, подаваемого на объект или на сетку. Она сохраняется с относительной погрешностью $\pm 5\%$ для ши-

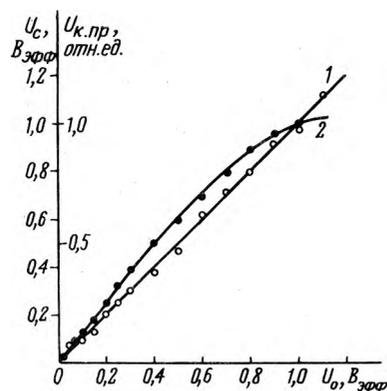


Рис. 3. Зависимости измеряемого высокочастотного напряжения от подаваемого на объект РЭМ: в режимах детектирования по методике сравнения (1) и гетеродинамирования (2)

рокого диапазона частот, вплоть до сотен мегагерц. Нижний частотный предел принципиального ограничения не имеет, хотя при детектировании роль фильтра играет инерционный элемент коллектора — сцинтиллятор, верхний частотный предел пропускания которого выбран вблизи 150 кГц. При измерениях на более низких частотах пульсации сигнала могут быть сглажены с помощью внешних элементов.

При наблюдении изображения потенциального рельефа функционирующей ЛИС в режиме детектирования электронный зонд, сканирующий поверхность схемы, вызывает появление в детектируемом сигнале амплитудной модуляции от элементов схемы, по которым проходит усиливаемое переменное напряжение. Оно фильтруется при детектировании. Вырабатываемый при этом видеосигнал имеет частотную полосу, не выходящую за пределы полосы пропускания фильтра при скоростях развертки, типичных для РЭМ. Из сказанного следует, что режим детектирования при измерениях переменных поверхностных потенциалов достаточно прост в реализации и оказался особенно эффективным при изучении акустоэлектронных устройств. Однако для ЛИС, как показали эксперименты, он не всегда применим по следующим причинам: в случае самовозбуждения схемы на некоторой частоте соответствующее напряжение будет вносить вклад в выходное напряжение коллектора наряду с полезным от подаваемого на вход схемы сигнала другой частоты; нелинейные искажения, которые зачастую возникают в схеме, приведут также к появлению неконтролируемой погрешности; режиму детектирования свойственна ограниченная чувствительность (50 мВ при токе зонда 10^{-9} А для данного коллектора).

В ряде случаев для изучения ЛИС более удобным оказался режим гетеродинирования, при котором в процессе измерений значение напряжения разностной частоты регистрируется селективным вольтметром 5 (см.рис.1). Рабочая точка выбирается на нелинейном участке передаточной характеристики коллектора, а в качестве гетеродина используется генератор 8. Для определения возможностей режима была снята зависимость

$u_{к.пр} = f(u_0)$ при неизменном напряжении гетеродина $u_{г} = 1 \text{ В}_{эфф}$ (кривая 2, рис.3) для $f_0 = 1 \text{ МГц}$, $f_{г} = 1,019 \text{ МГц}$. Здесь $u_{к.пр}$ означает выходное напряжение коллектора на промежуточной частоте. f_0 и $f_{г}$ — частоты основного сигнала и гетеродина. Разностная частота 19 кГц измерялась вольтметром 5 с полосой пропускания 200 Гц. Коэффициент преобразования до значений измеряемого сигнала $\sim 0,5 \text{ В}_{эфф}$ остается примерно постоянным, а при больших значениях начинает уменьшаться, что следует из изменения наклона кривой 2. Данная кривая построена для участка передаточной характеристики с наибольшей кривизной т.е. вблизи $U_0 = 0$ (см.рис.2). Для другого нелинейного участка, например при $U_0 = 5 \text{ В}$, зависимость $u_{к.пр} = f(u_0)$ будет линейной в более широком диапазоне, однако коэффициент преобразования при этом уменьшится. Полученная зависимость позволяет провести коррекцию результатов измерений при напряжениях на элементах ЛИС, превышающих указанное выше значение.

Следует отметить, что измерения при гетеродинировании являются относительными, так как в отличие от режима детектирования значение сигнала разностной частоты зависит при прочих равных не только от кривизны соответствующего участка передаточной характеристики, но и от значения сигнала гетеродина. Для получения абсолютных значений измеряемых напряжений необходимо хотя бы одно значение измерить способом детектирования. При проведении экспериментов целесообразно использовать оба режима совместно.

По предлагаемой методике определены коэффициенты усиления каскадов и частотные характеристики. Выбранные режимы детектирования и гетеродинирования при применении специального коллектора в РЭМ обеспечили измерения напряжений на элементах ИС в пределах от 50 мВ до $2 \text{ В}_{эфф}$ и от 10 мВ до $1,2 \text{ В}_{эфф}$ соответственно в широком частотном диапазоне (ток зонда составлял 10^{-9} А). Следует учесть перечисленные выше недостатки режима детектирования, а также то обстоятельство, что в режиме гетеродинирования требуются коррекция ($> 0,5 \text{ В}_{эфф}$) и калибровка.

В качестве объекта исследования использована ЛИС К140УД1А (К1УТ401А) [16], которая включалась по схеме неинвертирующего усилителя с коэффициентом усиления 3,7 без цепей коррекции при пониженном напряжении питания $\pm 5 \text{ В}$. На микрофотографии (рис.4, а) видны элементы схемы и токоведущие дорожки, находящиеся под напряжением положительной (темные области) и отрицательной (светлые области) полярности по отношению к серому фону заземленных участков схемы. Элементы, находящиеся под переменным напряжением, выделены косой штриховкой (электронное кодирование). На вход ЛИС подан сигнал $0,5 \text{ В}_{эфф}$ на частоте 0,3 МГц. Снимок получен в

режиме гетеродинирования, и частота гетеродина подобрана так, чтобы разностная частота, напряжение которой ответственно за формирование штриховки, в десятки раз превышала частоту строчной развертки РЭМ во время фотосъемки. Переключатель S находится в положении, показанном на блок-схеме (см.рис.1). Получаемое изображение схемы дает возможность выявить дефектный элемент, приводящий к полному отказу, и выяснить наличие обрыва или короткого замыкания в цепях питания или переменного напряжения.

В более сложных схемах по картине потенциального контраста трудно провести анализ их дефектов. В этом случае можно выделить только ту цепь, которая находится под переменным напряжением (рис.4, б). На контрольный блок при этом подается выпрямленный сигнал с выхода селективного вольтметра 5, настроенного на промежуточную частоту (переключатель S — в нижнем положении). В таком режиме выявляется дефектный элемент только в цепи переменного напряжения. Находящиеся под постоянным напряжением цепи практически не отображаются на микрофотографии. Как видно на рис.4, б, переменный сигнал поступает на выходную контактную площадку схемы, что свидетельствует об отсутствии дефектов, ответственных за полный отказ.

Полученные изображения не несут точной количественной информации об электрическом состоянии элементов схемы, так как различия в их

градациях яркости на изображениях не могут точно соответствовать значениям переменных напряжений. Это объясняется тем, что рабочая точка при гетеродинировании смещается по отношению к оптимальному положению за счет разных постоянных составляющих на элементах ЛИС. В принципе данный эффект может быть скомпенсирован введением в цепь коллектора отрицательной

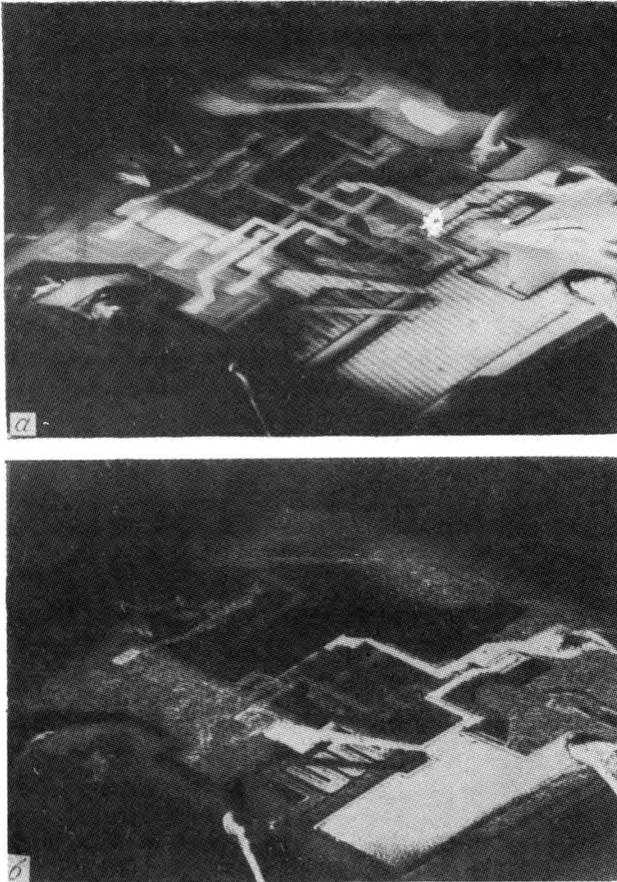


Рис.4. Микрофотографии ЛИС К140У ДА при подаче на неизвертывающийся вход сигнала $0,5 \text{ В}_{\text{эфф}}$ при частоте 300 кГц в режиме гетеродинирования: а – кодирование токоведущих дорожек и элементов схемы (наклонные полосы) на разностной частоте; б – выделение цепей распространения переменного напряжения. Размер кристалла – $1 \times 1 \text{ мм}$

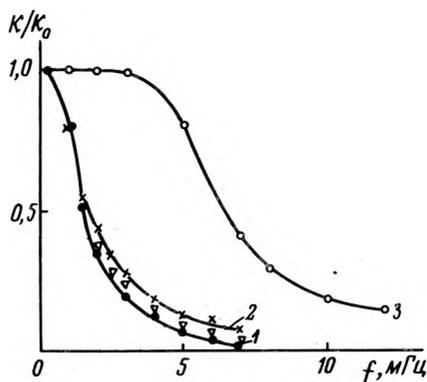


Рис.5. Нормированные амплитудно-частотные характеристики ЛИС: 1 – контрольная для всей схемы (точки); 2 – измеренная в режиме гетеродинирования без коррекции (крестики) и с коррекцией (треугольники); 3 – второго каскада

обратной связи для стабилизации положения рабочей точки на передаточной характеристике.

Количественную информацию получали при измерениях переменных напряжений на отдельных элементах ИС при наведении неподвижного зонда РЭМ. Для контроля результатов снималась частотная характеристика ЛИС в целом (точки на кривой 1, рис.5). Затем методом гетеродинирования на РЭМ была получена та же зависимость (кривая 2) без коррекции. Экспериментальная зависимость, снятая с учетом коррекции (см.рис.3), практически совпадает с контрольной (треугольники на рис.5). В этих экспериментах значение входного сигнала поддерживалось на уровне $0,3 \text{ В}_{\text{эфф}}$. Кривая 3 (см.рис.5)

представляет собой частотную характеристику второго каскада ЛИС. Для ее получения значения переменного напряжения последовательно измерялись на дорожках, идущих от базы и коллектора соответствующего транзистора. На частоте 100 кГц коэффициент усиления равен $3,5$ и уменьшается с увеличением частоты. Этот каскад имеет более широкую полосу пропускания, чем усилитель в целом. Полученные результаты (с учетом введения обратной связи) согласуются с оценками, приведенными в работе [17].

Таким образом, применение метода гетеродинирования показывает возможность измерений на РЭМ амплитудно-частотных характеристик каскадов, не имеющих внешних выводов. Описанная методика позволяет также оценивать нелинейные искажения, вносимые каскадами ЛИС, путем частотного преобразования гармоник основного сигнала, подаваемого на вход исследуемой схемы.

Разработанные методы детектирования и гетеродинирования в растровой электронной микроскопии применимы для наблюдения и измерения характеристик акустических полей в приборах, использующих ПАВ, которые можно рассматривать в ряде применений как аналоги ЛИС. Рост функциональных возможностей этих приборов сопровождается их структурным усложнением и повышением рабочей частоты [18]. Для изучения работы таких приборов, особенностей излучения ПАВ электроакустическими преобразованиями, а также для неразрушающего контроля дефектов в приповерхностных слоях твердых тел важное значение приобретает возможность визуализации полей ПАВ на поверхности [19]. Возможность наблюдения объемных акустических волн, выходящих на поверхность кварцевого резонатора, была продемонстрирована в РЭМ ранее [20] и широко используется в различных исследованиях [21]. Изображения стоячих ПАВ в резонаторах были получены в РЭМ недавно [22] в обычном статическом режиме работы, так как акустическое поле при этом статично. Для наблюдения бегущих ПАВ в ряде акустоэлектронных приборов предлагается использовать стробоскопический режим работы [22].

Из сравнения вида потенциальных рельефов, созданных переменным напряжением в цепях ЛИС и на поверхности звукопровода акустоэлектронных устройств, видно, что в ЛИС значение потенциала токоведущей дорожки, соединяющей два элемента схемы, изменяется практически одновременно по всей ее длине, тогда как на поверхности пьезоэлектрического звукопровода его значение в данный момент времени является функцией координаты. Если для наблюдения ПАВ применить

режим детектирования, то на экране РЭМ область канала распространения ПАВ будет светлее по отношению к участкам поверхности, по которым волна не распространяется. Однако сами волны в этом случае не могут быть визуализированы, хотя значение их амплитуды может быть оценено.

В режиме гетеродинирования удобно частоту гетеродина выбрать равной частоте распространяющегося сигнала, при этом коллектор с нелинейной передаточной характеристикой будет работать как фазовый детектор. Поскольку в отличие от ЛИС значения напряжения потенциального рельефа, сопровождающего бегущую ПАВ, могут быть повышены до десятков вольт, то для наблюдения акустического поля нет необходимости в применении специального триодного коллектора с крутой передаточной характеристикой, который был использован для изучения ЛИС. Степень нелинейности характеристики серийного коллектора РЭМ оказывается достаточной для получения контрастных изображений акустического поля ПАВ. Так как серийный коллектор является диодным, то подачу гетеродинного сигнала можно осуществить двумя способами.

Подводимый к встречно-штыревому преобразователю акустоэлектронного устройства высокочастотный сигнал частично излучается над его поверхностью, и электромагнитное поле, воздействуя на медленную компоненту вторичных электронов, изменяет эффективность работы коллектора РЭМ.

Принцип формирования видеосигнала для построения в РЭМ неподвижного изображения бегущих ПАВ, эквивалентный способу автостробоскопии, схематически поясняется на временных диаграммах, представленных на рис.6, а. На графике $U_k = f(U_0)$ показана передаточная характеристика серийного коллектора РЭМ (та же, что и на рис.2) в моменты времени t_1 и t_2 . В момент t_1 высокочастотное поле способствует попаданию вторичных электронов в коллектор, и "мгновенная" передаточная характеристика (t_1) становится близкой по форме к статической, а в момент t_2 часть вторичных электронов, подвергаясь траекторной модуляции, не достигает коллектора, что приводит к деформации характеристики (t_2). Синусоиды, изображенные в координатах U_0 и x , показывают распределение мгновенных значений напряжения на плоскости пьезозвукопровода (x — координата в направлении акустического канала,

перпендикулярном к штырям преобразователя) для тех же моментов времени t_1 и t_2 . На графике $U_k = f(x)$ показаны выходные сигналы кол-

лектора в функции от координаты, т.е. положения электронного зонда на образце для тех же моментов t_1 и t_2 , а также усредненная кривая (сплошная линия), которая отражает формирование контраста в данном случае.

Как показали эксперименты, эффект фазового детектирования с помощью электромагнитного излучения незначителен, а соответствующий контраст составляет $0,01 \text{ В}^{-1}$ напряжения возбуждения и может быть усилен введением в камеру объектов РЭМ дополнительного электрода, подключаемого к цепи питания преобразователя и расположенного вблизи звукопровода. Контраст уменьшается при экранировке преобразователя и питающих его цепей.

Вторая возможность подачи гетеродинного сигнала реализуется при нанесении на поверхность пьезоэлектрика полупроводящего покрытия с высоким поверхностным сопротивлением (более 10^9 Ом/кв.кв.), имеющего контакт с гребенкой преобразователя, на которую подано напряжение возбуждения. Такое покрытие не шунтирует потенциальный рельеф ПАВ и может быть напылено [20] или нанесено с помощью спиртового раствора антистатика. При наличии полупроводящей пленки потенциал поверхности звукопровода в среднем изменяется синхронно с частотой распространяющейся по нему звуковой волны. Формирование контраста при этом может быть объяснено с помощью графиков, представленных на рис.6, б. Как и на предыдущем рисунке, здесь фигурирует передаточная характеристика коллектора $U_k = f(U_0)$. Временная диаграмма $u_{\text{п}} = f(t)$ показывает изменение потенциала проводящей пленки во времени. График $U_{\Sigma} = f(x)$ иллюстрирует периодический сдвиг рабочей точки за счет изменения напряжения поверхности для зависящего от координаты значения напряжения ПАВ. Результирующий эффект (сплошная линия) показан на графике $U_k = f(x)$. Совместное действие двух описанных механизмов определяет более высокое значение контраста ($2 \div 3 \cdot 10^{-2} \text{ В}^{-1}$) изображений акустического поля бегущей ПАВ.

На рис.7 представлены микрофотографии полей бегущих ПАВ, полученные при амплитуде напряжения возбуждения 10 В (ширина вертикальной токоведущей дорожки 200 мкм). В качестве образцов использованы акустоэлектронные устройства, изготовленные на пластинах ниобата лития ХУ среза. Снимки получены при ускоряющем напряжении РЭМ 5 кВ, которое необходимо уменьшить примерно до 2 кВ, если исследуются объекты без проводящей пленки. Микрофотография рис. 8, иллюстрирует эффект рассеяния ПАВ на поверхностном дефекте, которое приводит к образованию интерференционной картины (правая часть снимка). В левом нижнем углу виден дополнительный канал распространения волны в направлении, перпендикулярном основному.

Получение фазоконтрастных изображений вполне возможно и на ЛИС, при этом могут быть измерены и фазочастотные характеристики каскадов. Однако в данном случае необходим фазочувствительный детектор в видеотракте РЭМ.

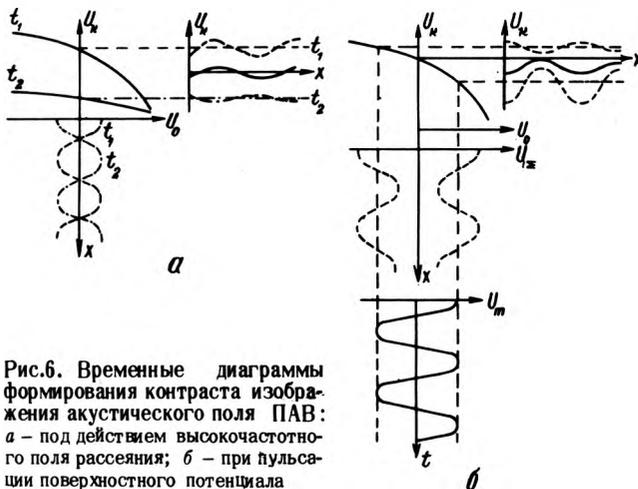


Рис.6. Временные диаграммы формирования контраста изображения акустического поля ПАВ: а — под действием высокочастотного поля рассеяния; б — при пульсации поверхностного потенциала

Расчеты показывают, что ПАВ, бегущие по поверхности пьезоэлектрика, отображаются в РЭМ с сохранением естественной длины волны, причем перепады яркости на изображении акустического поля при определенных условиях соответствуют значениям сопутствующих перепадов потенциала между областями сжатия и растяжения.

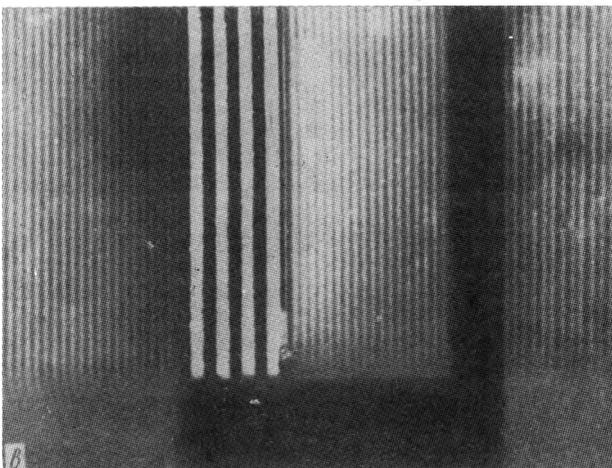
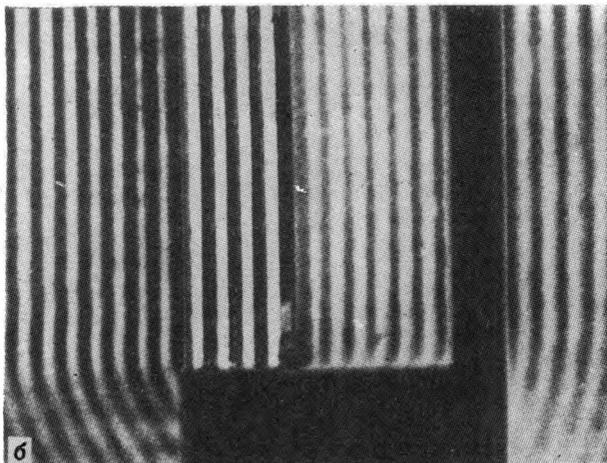
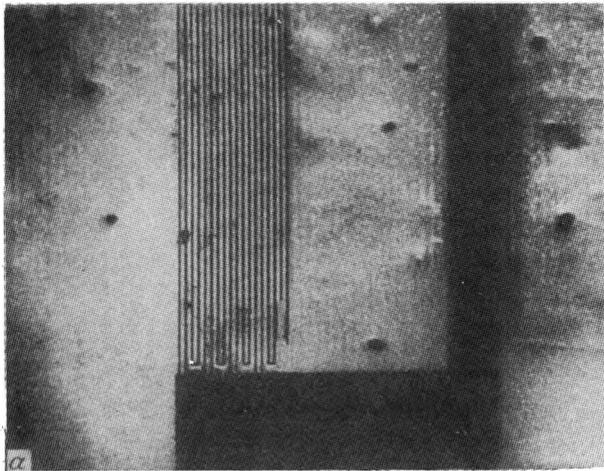


Рис.7. Микрофотографии акустического поля бегущих ПАВ вблизи встречно-штыревого преобразователя на кристалле ниобата лития: *a* – в отсутствие напряжения возбуждения; *b* – при подаче напряжения возбуждения на основной частоте $f = 33$ МГц; *c* – при подаче напряжения возбуждения на частоте третьей гармоники

Для определения коэффициента преобразования электроакустического преобразователя зонд останавливают на полоске преобразователя и отмечают приращение сигнала на выходе коллектора после подачи высокочастотного напряжения возбуждения, далее сдвигают зонд в область звукопровода, соответствующую максимуму на изображении ПАВ, и продлевают ту же операцию. По полученным приращениям сигнала можно рассчитать коэффициент преобразования. В качестве примера следует указать, что для преобразователя, изображение которого приведено на рис.7, он равен 0,76 на основной частоте (33 МГц) в средней части и уменьшается до 0,7 в области повреждения (нижняя часть).

При исследовании ПАВ с малой амплитудой сопутствующего напряжения необходимо применять коллектор, обеспечивающий значение контраста $(1 \div 2) \cdot 10^{-1} \text{ В}^{-1}$ при подаче соответствующего постоянного смещения на сетку.

Для оценки затухания волны измеряется перепад выходного напряжения коллектора, когда зонд последовательно переводится с темной на белую полосу акустического поля, а затем аналогичный перепад измеряется на другой области объекта. Отношение перепадов соответствует отношению амплитуд волн в исследуемых областях.

В заключение целесообразно сравнить возможности режимов гетеродинирования и стробоскопии для отображения и измерения потенциального рельефа на поверхности твердых тел. Эффективность способа гетеродинирования определяется коэффициентом преобразования, который задается отношением значений сигнала промежуточной частоты и переменного напряжения на объекте. Он оказывается в 5 раз меньше своего статического эквивалента – коэффициента передачи коллектора, определяемого отношением приращений выходного напряжения коллектора и потенциала объекта.

Согласно работе [23], минимальное регистрируемое переменное напряжение в стробоскопическом режиме пропорционально $Q^{1/2} I^{1/2}$, где Q – скважность строб-импульсов, а I – ток зонда. Отсюда следует, что при прочих равных условиях (полоса пропускания видеотракта, отношение сигнал/шум, значение крутизны передаточной характеристики коллектора) режим гетеродинирования

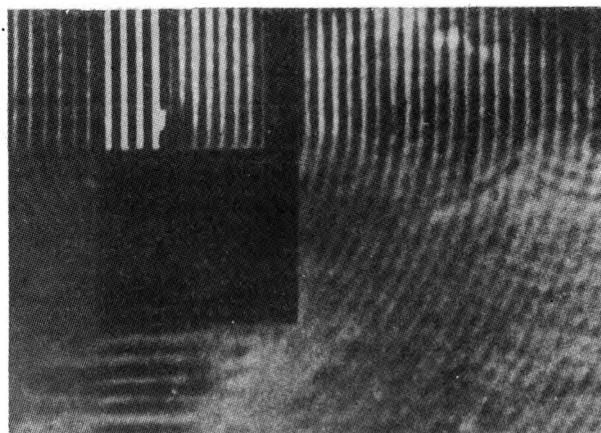


Рис.8. Микрофотография акустического поля бегущей ПАВ на другом участке поверхности объекта, показанного на рис.7,б

имеет преимущество перед стробоскопическим при $Q > 25$. Кроме того, он применим для изучения магнитных переменных микрополей и, в ограниченных случаях, для дефектоскопии цифровых интегральных схем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каранович Г.С., Кузнецов М.В. Растровая электронная микроскопия. — Электронная промышленность, 1978, вып.11–12, с.14–17.
2. Feuerbaum H.P. VLSI Testing using the electron probe. — In: Scanning Electron Microscopy, 1979, vol.1, p.285–296.
3. А.с. 256098 (СССР). Способ измерения поверхностных потенциалов. В.Г.Дюков, А.Н.Невзоров, Н.Н.Седов, Г.В.Спивак. Опубл. в БИ, 1969, № 34, с.57.
4. Über die beobachtung der dynamischen vorgänge in den $p-n$ übergängen mit hilfe von dem emisionelektronenmikroskop / V.G.Dukov, G.V.Spivak, N.N.Sedov, V.V.Evdokimov. In: Proceeding of the 3rd European Regional Confer. on Electron Microscopy, Prague, 1964, vol.1, p.283–284.
5. Plows G.S., Nixon W.C. Stroboscopic scanning electron microscopy. — J.Phys.E: Sci.Instr., 1968, Ser.2, vol.1, p.595–600.
6. Многоцелевая коллекторная система для растрового электронного микроскопа / В.Г.Дюков, Г.В.Спивак, А.А.Соловьев, Э.И.Рай. — ПТЭ, 1974, № 5, с.200–203.
7. Gopinath A., Hill M.S. Some aspects of the stroboscopic mode: A review. — In: Scanning Electron Microscopy, 1974, vol.1, p.235–242.
8. The observation of fast voltage waveforms in SEM using sampling techniques / P.R.Thomas, K.G.Gopinathan, A.Gopinath, A.R.Owens. — In: Scanning Electron Microscopy, 1976, vol.1, p.609–614.
9. Lukianoff G.V., Touw T.R. Voltage coding: Temporal versus spatial frequencies. — In: Scanning Electron Microscopy, 1975, vol.1, p.465–471.
10. On-wafer defect classification of LSI-circuit using a modified SEM / P.Fazekas, H.Lindner, R.Lindner, J.Otto, E.Wolfgang. In: Scanning Electron Microscopy, 1978, vol.1, p.801–806.
11. Stanley A.G., Gauthier M.K. SEM analysis of ionizing radiation effects in linear integrated circuits. — IEEE Transaction on Nuclear Science, 1977, vol.NS-24, N 6, p.2060–2065.
12. Saparin G.V., Spivak G.V., Stepanov S.S. Observation of the $p-n$ junctions at small constant and alternating bias with the scanning electron microscope. — In: Proceed. of 6th Inter. Cong. for Electron Microscopy, Kyoto, 1966, vol.1, p.609–610.
13. Menzele E., Kubalek E. Electron beam chopping systems in the SEM. — In: Scanning Electron Microscopy, 1979, vol.1, p.305–318.
14. Дюков В.Г., Коломейцев М.И., Ншанян Т.А. Наблюдение многослойных гетероструктур в РЭМ. — В сб. Тезисы докладов на симпозиуме "Применение электронной микроскопии в современной технике". М., 1978, Изд-во ИКАН СССР, с.82.
15. Коллектор с энергетическим анализатором для растрового электронного микроскопа / В.Г.Дюков, А.В.Емельянов, Н.Н.Седов, М.И.Коломейцев. — Изв.АН СССР. Сер.Физическая, 1977, т.41, № 5, с.891–895.
16. Справочник по полупроводниковым диодам, транзисторам и интегральным схемам. Под ред. Горюнова Н.Н. М.: Энергия, 1977, 602 с.
17. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы. М.: Сов. радио, 1979, с.99–105.
18. Гуляев Ю.В., Медведь А.В. Акустические волны в твердых телах и их использование в радиоэлектронике. — Электронная промышленность, 1977, вып.6 (60), с.83–89.
19. Characterization of subsurface anomalies by elastic surface wave dispersion / B.R.Tittman, G.A.Alers, R.B.Thompson, R.A.Yang. — In: 1974 Ultrasonics Symposium Proceedings, N.-Y., N 4, 1974, p.561.
20. Наблюдение распространения упругих волн в пьезоэлектриках в растровом и зеркальном электронном микроскопах / Г.В.Спивак, М.К.Антошин, А.Е.Лукьянов и др. — Изв. АН СССР. Сер.Физическая, 1972, т.36, № 9, с.1954–1956.
21. Studies on SEM surface patterns of oscillating quartz crystals and applications to energy trapping / H.Bahadur, A.Nepworth, V.K.Lall, R.Parshad. — In: Scanning Electron Microscopy, 1979, vol.1, p.333–337.
22. Wittels N.D., Tanski W.I. Voltage contrast observations of surface acoustic waves. — In: Scanning Electron Microscopy, 1979, vol.1, p.319–323.

23. Gopinath A., Gopinathan K.G., Thomas P.R. Voltage contrast: A review. — In: Scanning Electron Microscopy, 1978, vol.1, p.375–380.

Статья поступила 27 мая 1980 г.

УДК 621.3.049.771.14

Н.Н.Данилин, Л.М.Попель

УСТАНОВКА ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ БИС ОЗУ "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ"

Предназначена для функционального контроля на частотах до 12,5 МГц ТТЛ, ЭСЛ, И²Л и МОП БИС ОЗУ в производственных условиях. Позволяет проводить оценку качества изготовленной продукции и исследования разработанных схем.

Для функционального контроля БИС ОЗУ объемом до 1К широко применяются алгоритмы типа MARCH и GALPAT. Время функционального контроля по алгоритмам типа MARCH пропорционально $10 NT$, где N — число ячеек в контролируемой схеме, а T — период одного обращения к памяти. С помощью этих алгоритмов в основном можно обнаружить явные отказы схемы. С помощью алгоритмов типа GALPAT выявляется наибольшее число отказов, но время контроля составляет $(4 \div 8) N^2 T$, что затрудняет использование этих алгоритмов при контроле БИС ОЗУ объемом свыше 4К (длительность контроля ОЗУ объемом 4К ~32 с).

Для функционального контроля БИС ОЗУ с объемом памяти 4К, 16К, 64К и более разработаны высокопроизводительные алгоритмы типа $KN^{3/2}T$, например GALTDIA — галлопирующая диагональная последовательность, позволяющие обнаруживать большинство отказов схемы. Алгоритмы данного типа выявляют как явные дефекты, так и отказы, связанные с чувствительностью схемы к определенным последовательностям сигналов в цепях адреса или данных, нарушения в работе, связанные с дефектами усилителя считывания, с замедленным временем выборки.

Для реализации алгоритмов типа $N^{3/2}$, например GALTDIA, необходимо иметь возможность в установках контроля получать значения текущего адреса контролируемой схемы путем сложения (вычитания) предыдущего значения адреса с определенной константой, изменять значения адреса на ± 1 , хранить промежуточное значение адреса (результат изменения адреса на ± 1 или суммирование).

В алгоритмах типа $N^{3/2}$ каждая ячейка памяти контролируется относительно равномерно выбранной зоны, например диагонали, а не относительно всей матрицы ЗУ, поэтому время контроля схемы

резко сокращается. Например, при выявлении одних и тех же видов отказов время контроля по алгоритму GALTDIA БИС ОЗУ емкостью 4К сокращается в 64 раза, т.е. в \sqrt{N} раз по сравнению с алгоритмом CALPAT.

Алгоритмы типа N , N^2 и $N^{3/2}$ реализуются установкой функционального контроля БИС ОЗУ "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ".

Внешний вид установки представлен на рис. 1, а блок-схема — на рис. 2.

Установка выполнена в настольном и встраиваемом в контрольно-измерительное оборудование вариантах и имеет габариты 662 × 692 × 520 мм. Она состоит из двух блоков: питания, в котором расположены три управляемых источника питания контролируемых БИС и источники питания установки; функционального контроля БИС ОЗУ.

Техническая характеристика

Максимальная частота функционального контроля	12,5 МГц
Период сигналов функционального контроля	от 80 нс до 0,1 с
Максимальный объем контролируемых ОЗУ	64К 16-разрядных слов
Число адресных входов	16
Число информационных входов	16
Число информационных выходов	16
Число управляющих входов	3
Число управляемых источников питания контролируемой БИС	3
Выходное напряжение источников питания при токе нагрузки до 0,3 А	± 30 В
Объем управляющей памяти установки	128 28-разрядных слов

Ввод программ осуществляется с пульта оператора или с фотосчитывающего устройства типа FS1501.

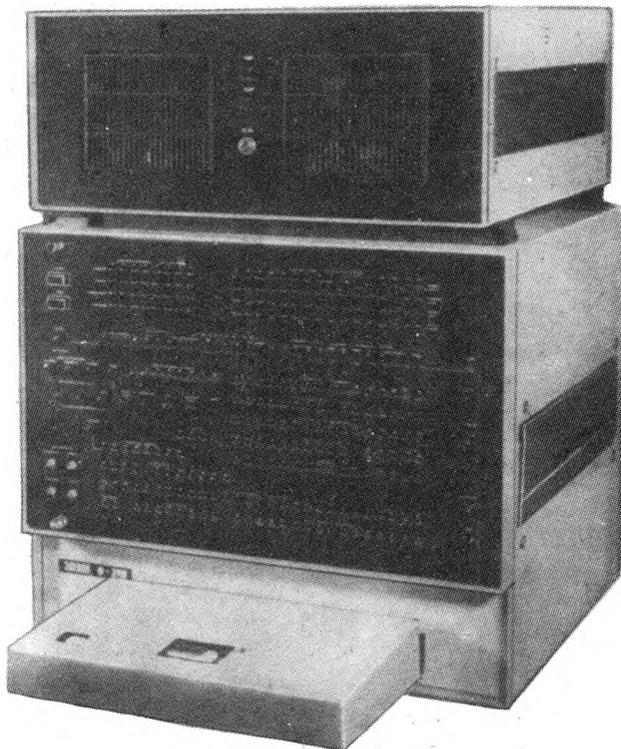


Рис. 1. Внешний вид установки функционального контроля "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ"

Контроль БИС ОЗУ ведется по принципу "Годен" — "Брак" с выводом результатов контроля на индикационные элементы панели управления.

Исходной установкой "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ" является специализированный процессор. Его функциональная схема, а также функциональные схемы блоков задания адреса, задания и обработки данных имеют много общего с установкой "ЭЛЕКОН Ф-ЗУ"*

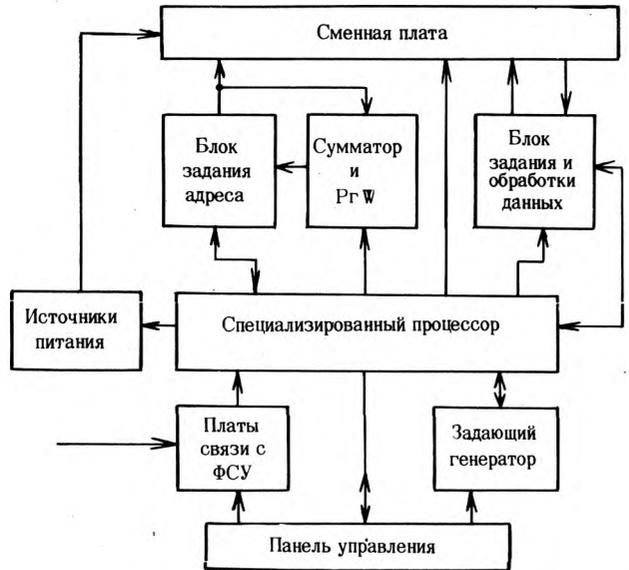


Рис. 2. Блок-схема установки "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ"

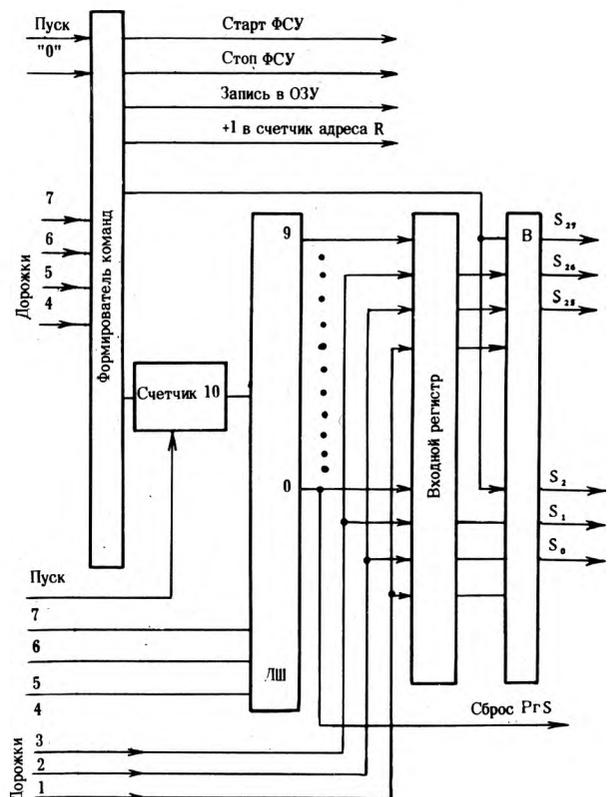


Рис. 3. Функциональная схема платы связи с ФСУ

* Данилин Н.Н., Попель Л.М. Установка функционального контроля БИС ОЗУ "Элекон Ф-ЗУ". — Электронная промышленность, 1977, № 2, с. 20–24.

В быстродействующую оперативную память установки (время выборки до 10 нс, объем 128 28-разрядных слов) с панели управления или устройства ввода информации с перфоленты можно записать любые программы, необходимые для функционального контроля БИС ОЗУ. Увеличение длины слова ОЗУ позволило расширить функциональные возможности установки и увеличить число сигналов управления, выдаваемых на сменную плату и контролируемую БИС ОЗУ.

Для упрощения эксплуатации и сокращения времени смены программ контроля в установку дополнительно введена плата согласования с фотосчитывающим устройством (ФСУ), функциональная схема которой приведена на рис. 3. Она позволяет, применяя в составе установки стандартное устройство считывания с перфолент, оперативно вводить программу ее работы.

Информация для ввода подготавливается на любом серийном устройстве подготовки перфоленты в соответствии с ГОСТ 13052-74. При этом 28-разрядное слово на перфоленте набивается десятью триадами (дорожки 1-3). Свободная от информации часть дорожек (старшие разряды) перфоленты используется для набивки команд сопровождения. С помощью этих команд последовательно по триадам информация заносится в соответствующие разряды входного регистра платы связи с ФСУ.

После ввода последней триады 28-разрядного слова командой с перфоленты через вентили В информация из входного регистра заносится в ОЗУ специализированного процессора (см. рис. 3). По окончании цикла передачи информации в ОЗУ в адресный регистр памяти добавляется 1 и она подготавливается к приему следующего слова, цикл занесения которого аналогичен описанному. Кроме команд ввода информации, на перфоленту могут быть занесены команды, обеспечивающие занесение массива информации в ОЗУ по сигналу специального процессора. Эта команда позволяет организовать контроль БИС ОЗУ по любому числу алгоритмов. Незначительная модернизация платы связи с ФСУ дает возможность подключать установку к ЭВМ и обеспечить автоматическое управление несколькими установками от одной вычислительной машины.

Для выполнения функционального контроля по алгоритмам типа $N^{3/2}$ в установке применены сумматор с регистром W, с помощью которых происходит алгебраическое суммирование текущих адресов контролируемой БИС с константами в обратном или дополнительном коде (рис. 4).

Сумматор и устройства установки при формировании адреса контролируемой ячейки памяти БИС ОЗУ работают следующим образом. При передаче конечного адреса в регистр А (команда $N \rightarrow A$) и равенстве нулю содержимого регистра W через вентили В2 происходит передача информации из

регистра N в регистр А. В этом случае в контролируемой БИС ОЗУ выбирается ячейка памяти, адрес которой хранился в регистре N.

Если содержимое регистра W не равно нулю, выполняется алгебраическое суммирование содержимого регистра А (адреса) с содержимым регистра W (константой). Для этого константа из регистра W через вентили В поступает на входы А сумматора S. На входы В сумматора подается информация из регистра А. По сигналам схемы управления сумматором происходит суммирование и передача вновь образованного адреса в регистр А. В контролируемой БИС ОЗУ выбирается ячейка памяти, величина которой изменена на величину константы.

Для выполнения цикла суммирования указанных величин устройством управления устанавливается режим работы сумматора. Действия выполняются по определенной команде, которая выдается дважды: первый раз для задания режима работы сумматора, второй – для занесения константы в регистр W.

Сумматор может работать в следующих режимах:

- если информационная часть первой команды подготовки сумматора имеет величину +0, то происходит передача содержимого регистра N в регистр А ($PgN \rightarrow PgA$); сумматор отключен;

- если информационная часть первой команды подготовки сумматора имеет величину -0, то выполняется суммирование величин очередного адреса контролируемой ячейки памяти БИС ОЗУ и константы с добавлением 1 в младший разряд регистра А при его перевыполнении;

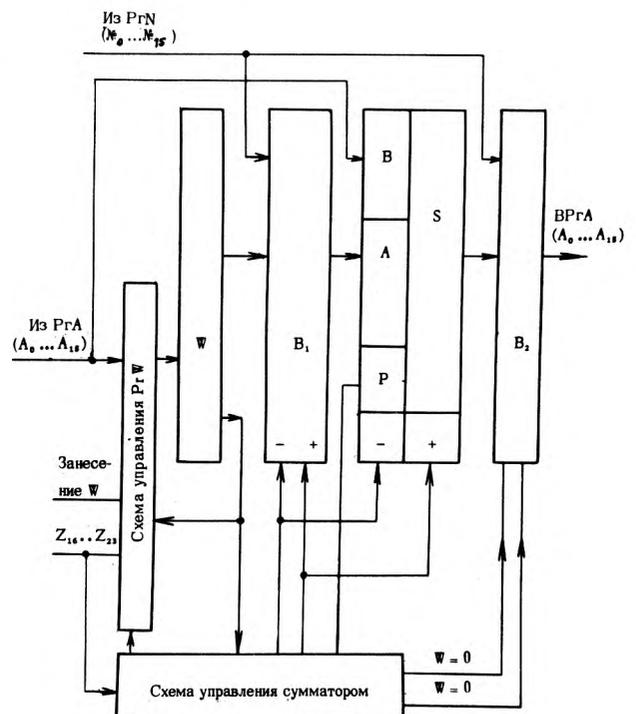


Рис. 4. Функциональная схема блока сумматора

– если информационная часть первой команды подготовки сумматора имеет величину +1, то выполняется суммирование величин очередного адреса контролируемой ячейки БИС ОЗУ и константы без добавления 1 в младший разряд регистра А при его переполнении;

– если информационная часть первой команды подготовки сумматора имеет величину -1, то происходит суммирование величин очередного адреса контролируемой ячейки и константы; содержимое регистра А передается в регистр W.

При вторичной подаче команды в регистр W заносится константа со знаком плюс или минус и сумматор подготавливается к суммированию, которое выполняется при проведении команды передачи информации из регистра N в регистр А ($P_{rN} \rightarrow P_{rA}$).

В установке "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ" существенно изменен по сравнению с установкой "ЭЛЕКОН Ф-ЗУ" задающий генератор. Делитель частоты заменен программируемым генератором импульсов, что обеспечило программированное формирование частоты сигналов контроля с дискретностью 2 нс и увеличение достоверности функционального контроля.

Панель управления установки предназначена для задания режимов ее работы и индикации результатов контроля БИС. Благодаря имеющимся на передней панели органам управления и индикации оператор может занести в память специализированного процессора различные программы контроля БИС ОЗУ, проверить по шагам (отдельным тактам) правильность выполнения алгоритмов контроля БИС при их отладке, т.е. позволяет проводить различные инженерные работы. Предусмотрена возможность автоматического многократного повторения алгоритмов контроля, необходимого для отладки сменной платы, настройки установки или исследования функционирования контролируемой БИС.

Для каждого типа БИС ОЗУ разрабатывается сменная плата, на которой устанавливается контактирующее устройство и собирается схема организации временной диаграммы работы контролируемой БИС.

Применение сменных плат, на которых могут быть собраны различного типа модули, дает возможность проводить функциональный контроль не только БИС ОЗУ, но ПЗУ и логических схем. При этом на сменной плате могут быть собраны схемы, позволяющие контролировать БИС как методом перебора сигналов в соответствии с таблицей истинности, так и путем сравнения с эталоном.

Для функционального контроля БИС на платах используются выносные сменные платы. Подключение выносных сменных плат к управляемым от ЭВМ измерительным цепям установок контроля статических параметров БИС дает возможность создавать на их основе системы для совмещенного

контроля функционирования и статических параметров БИС.

Конструктивное и схемное выполнение установки позволяет использовать ее как в виде автономного настольного прибора, так и в качестве одного из модулей более сложных установок и систем контроля электрических параметров БИС.

Подключение установки "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ" к ЭВМ дает большой экономический эффект благодаря увеличению коэффициента использования оборудования, его производительности, а также возможности сбора и обработки информации о результатах контроля.

Статья поступила 16 июля 1980 г.

УДК 621.382-52

В. Д. Антошин, И. П. Кагановский,
Е. В. Костюков

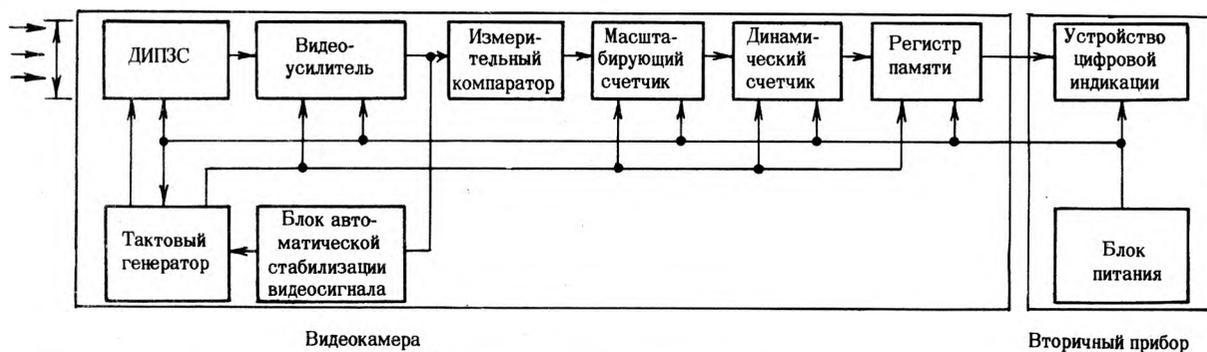
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ОБЪЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАТЧИКОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ПЗС

Система может быть использована для бесконтактно-го измерения геометрических размеров объектов. Отличается от известных аналогов низкой погрешностью и высокой эксплуатационной надежностью. Измеряемая величина выдается в цифровой форме, удобной для дальнейшей математической обработки на внешней ЭВМ.

Повышение точности контроля геометрических размеров различных объектов телевизионными методами с использованием в качестве датчиков изображения вакуумных телевизионных трубок в значительной степени ограничено геометрическими искажениями и нестабильностью раstra, нелинейностью разверток. Как правило, погрешность контроля составляет не менее 1–2 % от сканируемого размера.

Появление в последние годы твердотельных аналогов вакуумных телевизионных трубок-датчиков изображения на приборах с зарядовой связью (ДИПЗС) открыло новые возможности для создания высокоточных телевизионных систем контроля размеров. Существенное повышение точности контроля достигается благодаря ряду уникальных свойств ДИПЗС, к важнейшим из которых относятся:

– возможность оптической дискретизации изображения, что позволяет представлять контролируе-



Блок-схема системы автоматического контроля геометрических размеров объектов

мый размер числом видеоимпульсов, не зависящим от дестабилизирующих факторов;

— относительная простота стабилизации амплитуды видеосигнала путем регулирования времени накопления ДИПЗС, что дает возможность сохранить высокую точность измерений в широком диапазоне изменения освещенности объекта контроля;

— конструктивная прочность и малая масса, низкие питающие напряжения, существенно облегчающие условия эксплуатации ДИПЗС по сравнению с вакуумными трубками.

В системах контроля могут успешно использоваться линейные и матричные ДИПЗС. Для систем, требующих высокого линейного разрешения, наиболее целесообразным представляется применение линейных ДИПЗС. В настоящее время разработаны и изготавливаются линейные ДИПЗС на 500, 1000, 2000 элементов разложения (бит). Матричные имеют ограниченные размеры: 500×500 бит, они значительно дороже и требуют более сложных электронных схем обрамления.

Блок-схема системы автоматического контроля светоконтрастного объекта с использованием ДИПЗС, описанного ранее*, приведена на рисунке. С помощью объектива изображение измеряемого объекта проецируется на фоточувствительную секцию ДИПЗС. Видеосигнал с выхода ДИПЗС усиливается видеоуслителем, в котором осуществляется также фильтрация видеосигнала от когерентной помехи, и далее поступает на измерительный компаратор. Последний срабатывает при превышении амплитуды видеосигнала заданного значения, осуществляя таким образом преобразование измеряемого размера в число импульсов фиксированной амплитуды. С выхода компаратора импульсы поступают на масштабирующий делитель и далее на динамический измерительный счетчик, осуществляющий счет выходных импульсов компаратора за время одной строки (кадра). В конце строки измеренное число с динамического счетчика передается в регистр памяти и далее на цифровую индикацию измеряемого значения. При необходимости

это число в виде кода может быть передано во внешние устройства.

Для обеспечения высокой точности контроля в условиях переменной освещенности объекта в систему включен блок автоматической стабилизации амплитуды видеосигнала. Этот блок осуществляет сравнение амплитуды видеосигнала с заданным значением и регулирование по сигналу их разбаланса значения времени накопления фоточувствительной секции ДИПЗС. Блок автоматической стабилизации поддерживает неизменной амплитуду видеосигнала с погрешностью не более $\pm 5\%$ при изменениях освещенности объекта в 10^2 раз. При необходимости используемый принцип регулирования позволяет расширить диапазон до 10^4 . При этом обеспечивается максимальное соотношение сигнал-шум и заданная точность стабилизации амплитуды видеосигнала.

К источникам погрешностей измерения размеров, связанных со спецификой использования ДИПЗС, следует отнести неэффективность переноса заряда в ПЗС, разрешающую способность объектива, неоднородность фоточувствительности ДИПЗС, контрастность объекта. Первые два фактора практически проявляются в том, что граница светотени контура объекта в видеосигнале размывается на несколько бит ДИПЗС.

Исследования показали, что при использовании в системе контроля стандартных оптических объективов (с разрешением 40–50 лин/мм) и стандартных ДИПЗС граница светотени размывается в видеосигнале на два-три бита, а неоднородность фоточувствительности равняется примерно 0,1. При этих условиях объект с контрастностью 0,3 (фон составляет 0,5 от полезного сигнала) может быть измерен с абсолютной погрешностью ± 2 бит, что при использовании ДИПЗС на 1000 бит и сканировании объекта по всей длине обеспечивает относительную погрешность $\pm 0,2\%$.

Дальнейшее повышение точности контроля — в пределе до 1 бит — может быть достигнуто снижением влияния неоднородности фоточувствительности за счет индивидуальной калибровки ДИПЗС с помощью внешнего вычислительного устройства.

Предлагаемая система контроля для удобства эксплуатации выполнена в виде малогабаритной видеокамеры, располагающейся на объекте конт-

* Крымко М.М., Левин С.А. Линейный формирователь видеосигнала на 512 элементов разложения. — В кн.: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы. М.: Сов. радио, 1977, вып.2, с.211–216.

роля, и вторичного прибора, помещаемого, например, на пульте управления. В системе предусмотрен вывод видеосигнала на осциллограф или внешнее вычислительное устройство, что позволяет использовать систему как однострочный телевизионный сканатор исследуемого объекта с возможностью цифровой обработки видеосигнала.

Статья поступила 4 июня 1980 г.

УДК 621.375:621.317.799

Э. А. Давитян, Г. С. Парванян, Е. Г. Татевосян

МНОГОПОСТОВОЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ШИРОКОЙ НОМЕНКЛАТУРЫ

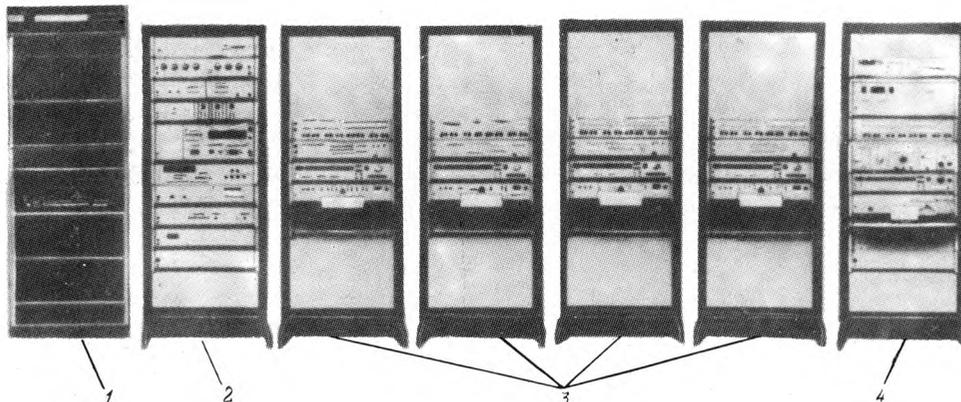
Комплекс предназначен для измерения, разбраковки и классификации электрических параметров интегральных операционных усилителей (ОУ) широкой номенклатуры на пластине и в корпусе. Разработан на базе унифицированных программируемых блоков и приборов, объединенных интерфейсом ввода-вывода, удовлетворяющим требованиям МЭК-IEE488-75. Представляет собой многопостовую контрольно-измерительную систему, управляемую от ЭВМ "Электроника 100-16И" или "Электроника 100-25".

Комплекс конструктивно выполнен в виде одной общей измерительной стойки, четырех идентичных постов для измерения статических параметров ОУ и одного поста для измерения максимальной скорости нарастания выходного напряжения ОУ (см. рисунок). На всех контрольно-измерительных постах установлены столики оператора со сменными типовыми блоками.

Техническая характеристика

Наименование измеряемого параметра	Значение параметра	Погрешность измерения
Входные токи, средний входной ток и разность входных токов, нА	0,1–10 ⁴	$\pm(0,02 I_x + 0,02)$
Напряжение смещения нуля и ЭДС смещения, мВ	0,05–100	$\pm(0,02 U_x + 0,02)$
Ток потребления и ток короткого замыкания, мкА	10–5 · 10 ⁴	$\pm(0,02 I_x + 0,2)$
Размах выходного напряжения, В	$\pm(1–30)$	$\pm(0,01 U_x + 0,01)$
Скорость нарастания выходного сигнала, В/мкс	0,02–700	$\pm 0,1 v_x$
Температурный коэффициент напряжения смещения нуля, мкВ/град	10–100	$\pm(0,1 \Delta U_x / \Delta T + 0,5)$
Температурный коэффициент разности входных токов, нА/град	0,01–0,5	$\pm(0,1 \Delta I_x / \Delta T + 0,5 \text{ нА})$
Коэффициент усиления, дБ	60–100	$\pm 1^*$
Коэффициент ослабления синфазного входного сигнала, дБ	60–100	$\pm 1^*$
Коэффициент влияния нестабильности источника питания на ЭДС смещения, дБ	100–200	$\pm 2^*$

*Указанные погрешности обеспечиваются при размахе низкочастотного шумового напряжения, приведенного к входу ОУ, не более 1 мкВ в диапазоне частот 0,1–100 Гц, остальные погрешности – не более 3 мкВ.



Многопостовой комплекс для измерения электрических параметров ОУ широкой номенклатуры: 1 – ЭВМ "Электроника 100-25"; 2 – измерительная стойка; 3 – пост для измерения статических параметров; 4 – пост для измерения динамических параметров

Для измерения статических параметров ОУ применяется вспомогательный балансирующий усилитель: по приращению его выходного напряжения можно рассчитать все статические параметры. Измерения могут проводиться на постоянном или переменном токе.

Максимальная скорость нарастания выходного напряжения ОУ определяется при включении ОУ в режиме повторителя напряжения, при этом на вход ОУ подается управляемый по амплитуде импульс положительной (отрицательной) полярности или перепад напряжения, проходящий через нулевой уровень. Измерение длительности фронта выходного импульса ОУ осуществляется с помощью стробоскопического измерителя динамических параметров.

С целью повышения стабильности измерения некоторых параметров (коэффициентов усиления, ослабления синфазного входного сигнала и влияния нестабильности источника питания на ЭДС смещения) для ОУ с большим напряжением шумов предусмотрена возможность усреднения значения любого параметра. Число усреднений практически определяется объемом памяти ЭВМ. Проверка параметров ОУ может проводиться в различных режимах (просмотрах): при различных напряжениях питания и входных воздействиях. Так параметры ОУ 140УД12 проверяются в шести режимах.

Каждый пост для измерения статических параметров может работать автономно, а также совместно с зондовой установкой, автоматом контактирования и сортировки микросхем (АКСМ-10-8) и проходной камерой (ПК-5005). При подключении к любым двум постам для измерения статических параметров автоматического комплекса контактирования и сортировки микросхем типа АККС-8, состоящего из АКСМ-10-8, транспортера и проходной камеры типа ПК-5005, обеспечивается измерение дрейфовых параметров ОУ ($\Delta U_{\text{см}} / \Delta T$ и $\Delta \Delta I_{\text{вх}} / \Delta T$).

Методика измерения дрейфовых параметров в принципе не отличается от методики измерения статических параметров, но при этом организация работы комплекса имеет следующую особенность.

Параметры ОУ ($U_{\text{см}}$, $\Delta I_{\text{вх}}$), измеренные при нормальной температуре, запоминаются ЭВМ и после повторного измерения ОУ в ПК-5005 при крайних температурах используются при расчете дрейфовых параметров. Число микросхем, параметры которых могут запоминаться при измерениях, составляет ~ 100 шт.

Пост для измерения статических параметров содержит пульт управления для задания требуемых режимов и программ работы постов, программируемый источник напряжения (13РМ 30/600-001), служащий для компенсации приведенного к входу измеряемого ОУ напряжения смещения, счетверенный источник с десятью программируемыми значениями напряжения для подачи на измеряемый ОУ напряжений питания и опорных напряжений, коммутатор, предназначенный для балансировки ОУ

по постоянному току, коммутации входных и выходных цепей, определения наличия самовозбуждения на выходе ОУ и сопряжения поста с измерительной стойкой и внешними устройствами.

В пост для измерения динамических параметров входят пульт управления, программируемый генератор тактовых импульсов, измеритель динамических параметров (14КЛ-300-002), счетверенный источник с десятью программируемыми значениями напряжения и коммутатор ОУ, предназначенный для формирования управляемого по амплитуде перепада напряжения при измерении скорости нарастания напряжения и коммутации входных и выходных цепей.

Измерительная стойка состоит из быстродействующего ампервольтомметра (13 УБ-00-003) и измерителя интегрирующего типа ЦУИП, программируемого генератора низкой частоты (13 СН-1001) и преобразователя низкочастотного напряжения в постоянное (13УБ-5-008), коммутационной матрицы, связывающей измерительные приборы постов и общей стойки, магистрального канала связи для сопряжения ЭВМ с комплексом, шестиканального таймера.

Программное обеспечение комплекса представляет собой перфоленточную операционную систему.

Производительность на одном посту при измерении статических параметров ОУ—500 схем/ч, динамических — 800 схем/ч.

Комплекс может быть использован для контроля ОУ практически всех типов кроме прецизионных.

Статья поступила 21 апреля 1980 г.

УДК 621.317:621.722.1.049.77

А. В. Аветисян, В. Г. Арутюнян, Э. А. Давитян,
Д. А. Ераносян

МНОГОПОСТОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПЯЖЕНИЯ

Установка, предназначенная для разбраковки и классификации по измеренным электрическим параметрам линейных интегральных стабилизаторов напряжения (ЛИСН), разработана на базе унифицированных программируемых блоков и приборов, объединенных интерфейсной системой управления, удовлетворяющей требованиям МЭК-IEE 488-75.

Представляет собой пятипостовую контрольно-измерительную систему, управляемую от микро-ЭВМ "Электроника 100-16И" или "Электроника 100-25" (рис. 1).

Установка позволяет измерять электрические параметры ЛИСН как на постоянном, так и на переменном токе. Для ЛИСН с регулируемым выходным напряжением параметры определяются в любой из трех точек диапазона регулирования. При этом автоматически устанавливается необходимое значение выходного напряжения с точностью не хуже $\pm 5\%$. Перед измерением параметров проверяется наличие контакта выводов ЛИСН с контактирующим устройством.

Приращение выходного напряжения $\Delta U_{\text{вых.лисн}}$ определяется методом компенсации, аппаратурная реализация которого показана на рис. 2. Величина $\Delta U_{\text{вых.лисн}}$, измеренная быстродействующим цифровым вольтметром (БЦВ), передается на ЭВМ. С ЭВМ на компенсирующий программируемый источник напряжения (КПИН) поступает команда, в результате выполнения которой на выходе устанавливается напряжение, равное по величине напряжению $U_{\text{вых.лисн}}$, но противоположное по знаку.

При этом к одному плечу измерительного делителя (ИД) приложено напряжение $U_{\text{вых.лисн}}$, к другому — $U_{\text{вых.кпин}}$. Напряжение в точке компенсации

$$U_0 = U_{\text{вых.лисн}} - (I_{\text{ид}} R1) = U_{\text{вых.кпин}} - (I_{\text{ид}} R2)$$

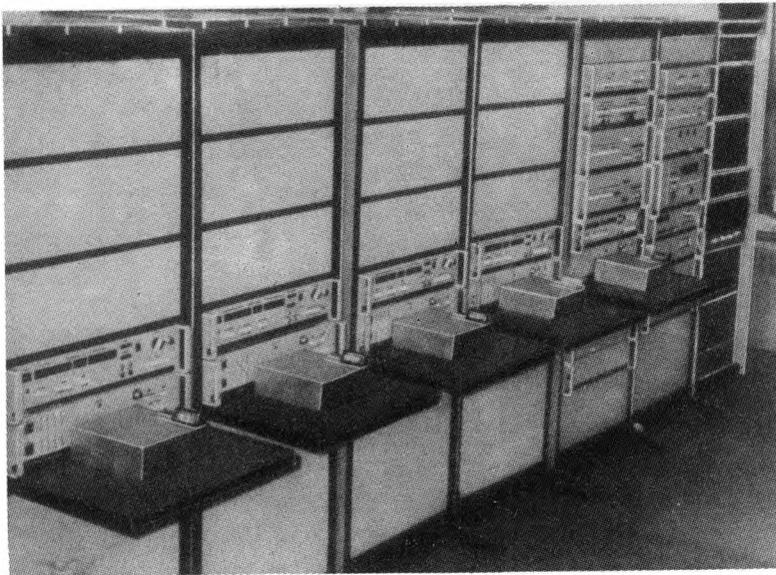
или

$$U_0 = \frac{U_{\text{вых.лисн}} R2 + U_{\text{вых.кпин}} R1}{R1 + R2}$$

Здесь $R1$ и $R2$ — плечи измерительного делителя. В данном случае $R1 = R2$ и, следовательно,

$$U_0 = (U_{\text{вых.лисн}} + U_{\text{вых.кпин}}) / 2.$$

Но так как $U_{\text{вых.лисн}} = -U_{\text{вых.кпин}}$, то в идеальном случае произойдет полная компенсация выходного напряжения ЛИСН и $U_0 = 0$. Однако, как правило, этого не происходит. Если пренебречь значением напряжения недокомпенсации, то величина $\Delta U_{\text{вых.лисн}}$ будет измерена с большой погрешно-



Техническая характеристика

- Измеряемые приращения выходного напряжения при $U_{\text{вых}} = 1-40 \text{ В}$ 1-1500 мВ
- Погрешность измерения приращения ΔU $\pm(0,03 \Delta U + 200 \text{ мкВ})$
- Погрешность измерения при $U_{\text{вых}} = 1-60 \text{ В}$ 0,5 %
- Задаваемый ток нагрузки $\pm(10^{-3} \div 3) \text{ А} \pm 5\%$
- Задаваемое постоянное напряжение при максимальном токе до 3 А и средней мощности не более 60 Вт $(1-60) \text{ В} \pm 5\%$
- Модуляция напряжения питания и тока нагрузки
 - частота 100, 400, 1000 Гц
 - глубина до 20 %
- Измеряемое переменное напряжение в диапазоне частот $20-100 \cdot 10^3 \text{ Гц}$.. $(1-5000) \text{ мВ} \pm 3\%$
- Максимальная потребляемая мощность $\leq 1,5 \text{ кВА}$
- Производительность до 2000 схем/ч

Рис. 1. Внешний вид установки для измерения параметров стабилизаторов напряжения

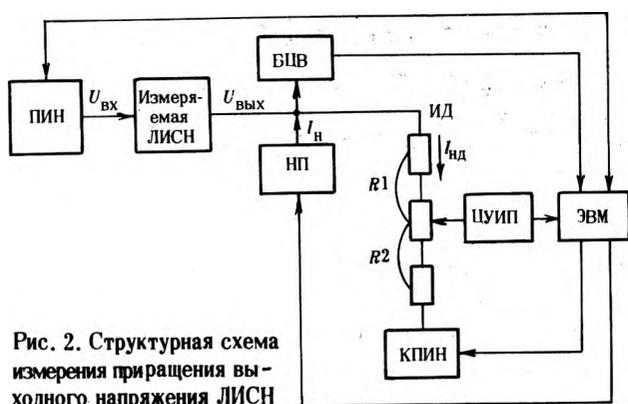


Рис. 2. Структурная схема измерения приращения выходного напряжения ЛИСН

стью. В данной установке для измерения $\Delta U_{\text{вых.лисн}}$ с высокой точностью измеренное значение напряжения недокомпенсации (U'_0) запоминается, затем после воздействия возмущающих факторов (изменения входного напряжения $U_{\text{вх.лисн}}$ или тока нагрузки $I_{\text{н.лисн}}$) проводится повторное измерение значения напряжения (U''_0) цифровым вольтметром ЦУИП и результат измерения также запоминается.

Приращение выходного напряжения ЛИСН вычисляется по формуле

$$\Delta U_{\text{вых.лисн}} = (U''_0 - U'_0) 2.$$

Нестабильность по напряжению, определяемая как относительное изменение выходного напряжения стабилизатора при заданном изменении входного напряжения, приведенное к одному вольту изменения входного напряжения, рассчитывается по формуле

$$K_u = \frac{2(U''_0 - U')}{U_{\text{вых. лисн}}} \cdot 100 \%$$

Нестабильность по току, определяемая как относительное изменение выходного напряжения стабилизатора при изменении выходного тока на заданную величину, рассчитывается по той же формуле.

Измерение электрических параметров ЛИСН может производиться в режимах шагового измерения всех выбранных параметров, непрерывного измерения всех выбранных параметров с остановом после последнего параметра, а также непрерывного измерения всех выбранных параметров с остановом после первого бракованного параметра.

Установка позволяет измерять относительный коэффициент напряжения при подключении к постам проходных камер типа ПК-5003, электрические параметры ЛИСН на пластине при подключении любого из постов к зондовой установке.

Для контроля конкретного типа ЛИСН необходимо ввести в ЭВМ соответствующую программу и подключить контактное устройство с измеряемой схемой. Программное обеспечение установки представляет собой перфоленточную операционную систему и содержит управляющую и обслуживающие программы. Наличие шестиканального таймера позволяет организовать параллельно-последовательную работу.

Статья поступила 21 апреля 1980 г.

УДК 621.3.049.77.536

В. В. Макеев, Ю. А. Саввин, Ю. С. Федоренко

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЗАПАСОВ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСХЕМ ПРИ ПОНИЖЕННОМ НАПЯЖЕНИИ ПИТАНИЯ

Введение контроля электрических параметров кристаллов на пластине в нормальных условиях при пониженном питании позволит сэкономить значительное число дорогостоящих корпусов и снизить затраты, связанные со сборкой, а также повысить процент выхода годных микросхем.

Пооперационный контроль электрофизических параметров компонентов ИС служит необходимым условием достижения качества и надежности гото-

вых изделий. При существующих методах контроля ряд дефектов, возникающих на ранних стадиях технологического процесса, может быть выявлен только на готовых изделиях. Кроме того, имеющаяся в производстве тенденция обеспечивать температурные запасы параметров микросхем путем ужесточения норм контроля не всегда оправдана. Так, контроль статических параметров ТТЛ ИС в диапазоне рабочих температур показал, что основная доля брака приходится на выходное напряжение логического "0" ($U^0_{\text{вых}}$).

Для ТТЛ микросхем $U^0_{\text{вых}}$ в нормальных условиях лежит в пределах 220–320 мВ, а с увеличением температуры до 125°С уход этого параметра для недефектных кристаллов составляет 40–100 мВ при норме на параметр $U^0_{\text{вых}}$ 350–370 мВ и ужесточение норм приводит к необоснованному бракованию годных ИС.

Увеличение параметра $U^0_{\text{вых}}$ выше нормы при уменьшении температуры для ТТЛ ИС со сложным инвертором на выходе (рис. 1) связано обычно с низким коэффициентом усиления транзистора ТЗ. При низких температурах этот транзистор может перейти из насыщенного в нормальный активный режим работы из-за уменьшения величины коллекторного тока насыщения до величины тока нагрузки и ниже. При этом резко увеличивается выходное сопротивление транзистора и, следовательно, увеличивается величина $U^0_{\text{вых}}$. Таким образом, при ужесточении норм на статические параметры микросхем с целью обеспечения их температурных запасов могут быть забракованы схемы, для которых значения параметров лежат ниже нормы и не являются граничными.

Предлагаемый метод контроля электрических параметров кристаллов в нормальных условиях при значительном понижении напряжения питания позволит до посадки микросхем в корпус выявить наличие в них внутрисхемных утечек, малую нагрузочную способность выходных транзисторов и другие аномалии, а также отбраковать различные дефекты фотолитографии, которые не отбраковываются при контроле кристаллов по внешнему виду.

Зависимость $U^0_{\text{вых}}$ от напряжения питания и от температуры для трех микросхем приведены на рис. 2 а, б. Из рисунка видно, что две микросхемы (кривые 1 и 3), которые имеют отказ при крайних значениях рабочих температур, бракуются и при пониженном напряжении питания.

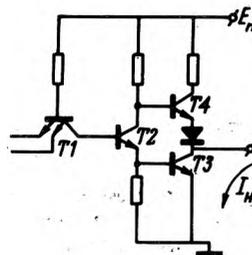


Рис. 1. Схема ТТЛ ячейки

Из выходных характеристик микросхем (рис.3) видно, что при пониженном напряжении питания (кривая 4) условия контроля могут быть созданы более жесткие, чем при повышенной и пониженной температурах. Хотя механизмы изменения выходных параметров микросхем при изменении температуры и при изменении напряжения питания совершенно различны, тем не менее для 96 % биполярных ТТЛ ИС

$$\Delta U_{\text{вых}}^{\circ} | T = -60^{\circ}\text{C} \div +125^{\circ}\text{C} \cong \cong \Delta U_{\text{вых}}^{\circ} | E_{\text{п}} = 3 \div 5 \text{ В}$$

Рассмотрим одну из часто встречающихся причин отказов ИС на испытаниях – утечку базы одного из транзисторов на подложку из-за дефектов фотолитографии или эпитаксиальной пленки. Например, если у выходного транзистора Т3 (см. рис. 1) сопротивление утечки базы на подложку равно 0,6–0,8 кОм, то в нормальных условиях оно не сказывается на значении выходных статических параметров микросхемы. При уменьшении же температуры это значение сопротивления утечки приводит к отказу микросхемы. Такой дефект микросхемы обнаруживается и в нормальных условиях при $E_{\text{п}} = 4 \text{ В}$. Если сопротивление утечки базы верхнего выходного транзистора Т4 на подложку составляет 0,9–1 кОм и более (см.рис.1), то микросхема в нормальных условиях также будет годной. При увеличении температуры сопротивление утечки увеличивается, что приводит к отказу микросхемы. Микросхемы с таким дефектом отбраковываются в нормальных условиях при снижении питающего напряжения до 3,9 В.

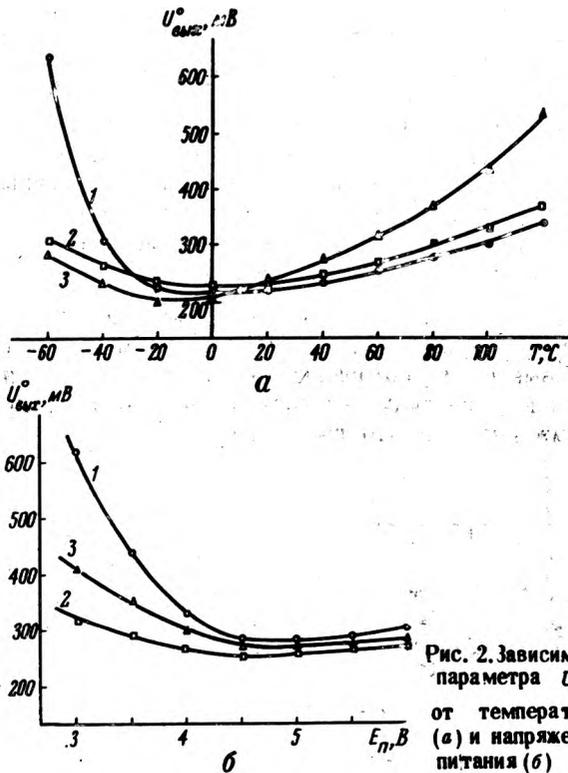


Рис. 2. Зависимость параметра $U_{\text{вых}}^{\circ}$ от температуры (а) и напряжения питания (б)

Следующим примером может служить обрыв коллектора транзистора Т2 (см. рис.1), возникший из-за отсутствия контактного окна к коллектору. В нормальных условиях статические параметры микросхемы удовлетворяли техническим условиям, поскольку базового тока этого транзистора вполне хватало для приведения в насыщение транзистора Т3. Однако при снижении температуры данная микросхема перестала функционировать, причиной чего явилось малое значение базового тока транзистора Т3. Микросхема также не функционировала в нормальных условиях при напряжении питания 4 В.

Анализ микросхемы, забракованной при температуре -60°C и $E_{\text{п}} = 4,5 \text{ В}$, показан на примере двоично-десятичного реверсивного счетчика типа ИЕ6, выходные каскады которого аналогичны показанному на рис. 1. В нормальных условиях микросхема функционировала нормально и значения ее выходных параметров соответствовали требованиям технических условий. Значения $U_{\text{вых}}^{\circ}$ были по различным выходам одинаковы:

$$U_{\text{вых.1}}^{\circ} = U_{\text{вых.2}}^{\circ} = \dots = U_{\text{вых.6}}^{\circ} = 0,4 \text{ В}$$

При $T = -60^{\circ}\text{C}$ был зафиксирован отказ, при котором $U_{\text{вых.1}}^{\circ} = 2 \text{ В}$, а значения $U_{\text{вых}}^{\circ}$ по остальным выходам были в пределах нормы. Выявить этот брак можно не прибегая к низкотемпературным измерениям. Так, при снижении напряжения питания $U_{\text{вых}}^{\circ}$ по дефектному выходу резко увеличивается (рис.4).

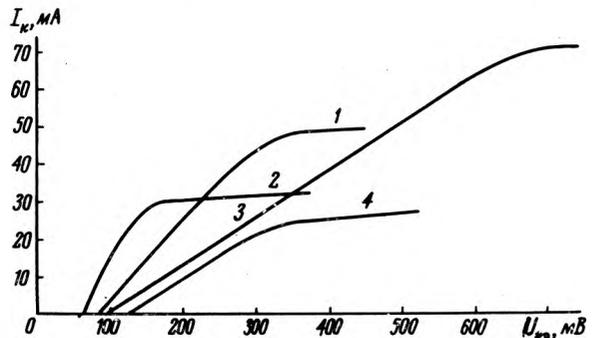


Рис. 3. Выходные характеристики при различных температурах и различных напряжениях питания: 1 – $T = 25^{\circ}\text{C}$ и $E_{\text{п}} = 4,5 \text{ В}$; 2 – $T = -60^{\circ}\text{C}$ и $E_{\text{п}} = 4,5 \text{ В}$; 3 – $T = 125^{\circ}\text{C}$ и $E_{\text{п}} = 4,5 \text{ В}$; 4 – $T = 25^{\circ}\text{C}$ и $E_{\text{п}} = 3,0 \text{ В}$

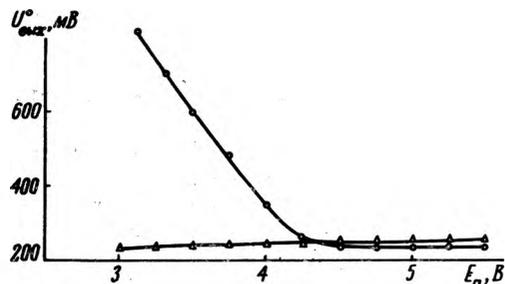


Рис. 4. Зависимость параметра $U_{\text{вых}}^{\circ}$ от напряжения питания для дефектного (о) и недефектного (Δ) выхода счетчика

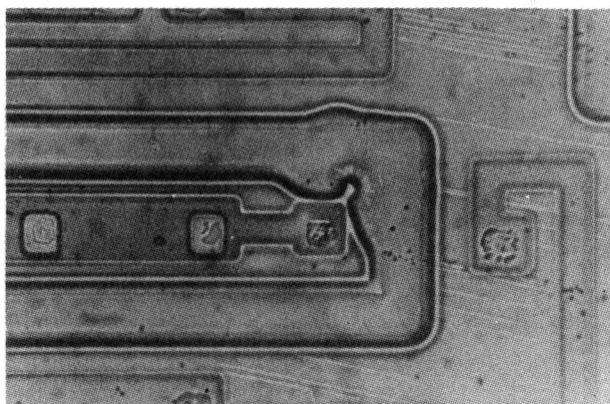


Рис. 5. Вид дефекта после снятия с кристалла термического окисла и его травления в селективном травителе

В процессе анализа выяснилась причина отказа – сопротивление утечки базы транзистора Т1 на подложку (между базой и подложкой оказался включенным паразитный резистор утечки $R_{ут} = 10 \text{ кОм}$).

Вид дефекта после снятия с кристалла термического окисла и его травления в селективном травителе показан на рис. 5.

Этот метод контроля после подбора соответствующих режимов измерений был опробован на рабочих партиях микросхем и позволил отбраковать до 80% приборов, не годных по статическим параметрам микросхем при крайних значениях рабочих температур.

Приемлемой для разбраковки величиной напряжения питания выбрано 3,2 В, так как дальнейшее его снижение приводит к забракованию микросхем, параметры которых удовлетворяют требованиям технических условий во всем диапазоне рабочих температур. Исследования показали, что процент выхода годных микросхем на измерительных операциях для партий общей численностью 8 тыс. микросхем, кристаллы которых прошли отбраковку при пониженном напряжении питания, колеблется в пределах 95,5–97%. Для партий, не подвергавшихся такому методу контроля, процент выхода годных лежит в пределах 85,5–93%.

Полученные результаты можно распространить на все типы ТТЛ ИС средней и малой степени интеграции. Установлена также возможность отбраковки пониженным напряжением питания дефектных микросхем типа ЭСЛ. Такие измерения должны проводиться на современных измерительных системах при тщательной согласованности применяемой оснастки, так как снижение напряжения питания уменьшает помехоустойчивость микросхем при измерении их электрических параметров.

Статья поступила 17 апреля 1980 г.

УДК 621.382.3.002.2

Н. М. Борунова, Е. З. Рыскин, Ю. И. Якунин

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОСАДКИ КРИСТАЛЛА ТРАНЗИСТОРА В КОРПУС

Структура транзистора – это многослойная система прилегающих друг к другу разнородных элементов с внутренним источником тепла, расположенным в *p-n* переходе. Обычно максимальное количество тепла выделяется в коллекторном переходе, и наилучший режим работы транзистора определяется прежде всего качеством теплового контакта кристалла с корпусом, который осуществляется через компенсатор или путем непосредственной посадки кристалла на корпус.

Для выполнения 100%-ного контроля качества посадки кристалла транзистора на корпус предлагается измерять температуру нагрева транзистора относительно окружающей среды в результате воздействия одиночного импульса греющей мощности длительностью $\tau_{и}$. При достаточно малой величине $\tau_{и}$ корпус транзистора служит бесконечным радиатором и при плохом качестве теплового контакта кристалла и корпуса кристалл имеет температуру выше окружающей.

Исследовались мощные германиевые сплавно-диффузионные транзисторы ГТ806 и мощные кремниевые диффузионные КТ814, КТ815, КТ816. Выявлено до 10–15% приборов с аномально высокими значениями $\Delta t_{пер}$. По всем остальным электрическим параметрам, контролируемым в процессе изготовления, эти приборы соответствовали техническим условиям. Проводились сравнительные замеры параметра $\Delta t_{пер}$ и величины теплового сопротивления R_t транзисторов (все измеряемые приборы классифицированы на три группы по величинам $\Delta t_{пер}$; в каждой группе измеряли R_t). Результаты измерений приведены в таблице.

Тип прибора	$\Delta t_{пер}$	R_t , град/Вт	R_t по нормам ТУ, град/Вт
ГТ806	< 20	1,5–2	2
	20–30	2–4	
	> 30	3–10	
КТ816	< 50	4–5	5
	50–70	5–8	
	> 70	7–15	

Таким образом, среди приборов, прошедших все предусмотренные технологическим процессом испытания, встречаются транзисторы, которые не соответствуют требованиям ТУ по параметру R_t .

Отбраковать их позволит только 100%-ный контроль величины $\Delta t_{\text{пер}}$.

Анализ приборов с аномально высокими значениями температуры показал, что для транзисторов ГТ806 основными видами дефектов являются плохая смачиваемость компенсатора припоем при посадке на корпус и расслоение компенсатора. В приборах КТ814, КТ815, КТ816 некачественная посадка кристаллов на корпус практически всегда приводит к локализации тока при пониженных электрических режимах. Уровень локализации проверялся по методике, изложенной в работе [1].

Большое значение при определении характера дефекта имеет длительность импульса греющей мощности. При изменении величины $\tau_{\text{и}}$ от единиц до сотен миллисекунд выявляются дефекты, имеющие различные механизмы образования. Дефекты, которые обнаруживаются при длительности до нескольких десятков миллисекунд, могут почти не проявляться при длительности греющего импульса в несколько сотен миллисекунд. Это объясняется прежде всего тем, что с увеличением длительности импульса греющей мощности уменьшается предельно допустимая мощность, подаваемая на прибор, а распределение тока при меньших его уровнях становится более равномерным даже при несмачиваемости кристалла или компенсатора.

С целью определения наиболее оптимальных режимов отбраковки транзисторов по параметру $\Delta t_{\text{пер}}$ была исследована зависимость этого параметра от длительности греющего импульса $\tau_{\text{и}}$, приведенная на рис. 1. Характерной особенностью этой зависимости является то, что греющая мощность подавалась при постоянном коллекторном напряжении, а ток коллектора устанавливался такой величины, чтобы приборы с минимальными значениями $\Delta t_{\text{пер}}$ (т.е. заведомо годные) при любом значении длительности греющего импульса $\tau_{\text{и}}$ имели постоянное значение параметра $\Delta t_{\text{пер}}$.

Такой режим измерения наиболее наглядно показывает разницу между годными и дефектными приборами при контроле $\Delta t_{\text{пер}}$ и широком диапазоне $\tau_{\text{и}}$: от единиц до тысячи миллисекунд.

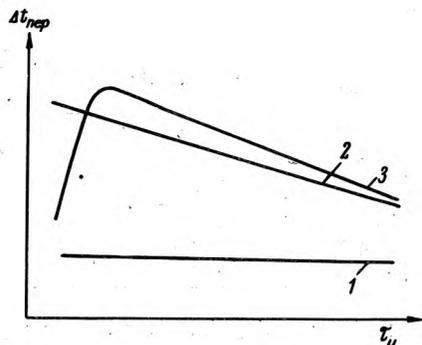


Рис. 1. Зависимость температуры перегрева перехода относительно окружающей среды $\Delta t_{\text{пер}}$ от длительности греющего импульса: 1 - для приборов с хорошим тепловым контактом кристалл-корпус; 2, 3 - для дефектных приборов с повышенным $\Delta t_{\text{пер}}$

Для дефектных транзисторов характерны повышенные значения $\Delta t_{\text{пер}}$ при любых длительностях греющего импульса. Однако, если при $\tau_{\text{и}} = 800 \div 1000$ мс различие между средними значениями $\Delta t_{\text{пер}}$ хороших и дефектных приборов составляет 30–40%, то при $\tau_{\text{и}} = 5 \div 100$ мс эта разница может возрасти до 400–500%.

Различный ход зависимости $\Delta t_{\text{пер}} = f(\tau_{\text{и}})$ для дефектных приборов (кривые 2 и 3 на рис. 1) указывает на то, что некачественная посадка кристалла на корпус стимулирует возникновение самых разнообразных дефектов, которые могут привести к отказам. Точно установить их природу можно только после дополнительного исследования приборов.

Для более эффективной отбраковки приборов с плохим качеством посадки кристалла на корпус следует выбирать длительность греющего импульса, обеспечивающую максимальную разницу между значениями $\Delta t_{\text{пер}}$ годных и дефектных транзисторов. При обследовании приборов КТ814, КТ815, КТ816 максимум $\Delta t_{\text{пер}}$ наблюдался при $\tau_{\text{и}} = 50$ мс, для приборов ГТ806 - при 200 мс. Эти величины $\tau_{\text{и}}$ и были выбраны в качестве рабочих значений при внедрении контроля качества посадки кристаллов в производство. Найденные значения $\tau_{\text{и}}$ совпали с постоянными времени кристаллов приборов КТ814–816 и ГТ806. Таким образом, описываемый метод можно использовать еще и для косвенной оценки последних.

Для проведения измерений в соответствии с предлагаемым методом разработан прибор (рис. 2), принцип действия которого основан на измерении зависимости прямого падения напряжения на переходе база-эмиттер $U_{\text{бэ}}$ от температуры транзистора. Испытания транзисторов типов *p-n-p* и *n-p-n* проводятся в схеме с общей базой. Для каждого типа измеряемых приборов выбирается исходное значение $U_{\text{бэ нач}}$ при температуре окружающей среды. Величина измерительного тока автоматически устанавливается такой, при которой напряжение на переходе база-эмиттер контролируемых транзисторов данного типа в исходном состоянии равно $U_{\text{бэ нач}}$. Затем на транзистор подается одиночный импульс греющей мощности $P = U_{\text{к}} I_{\text{к}}$ длительностью $\tau_{\text{и}}$, по окончании которого измеряется

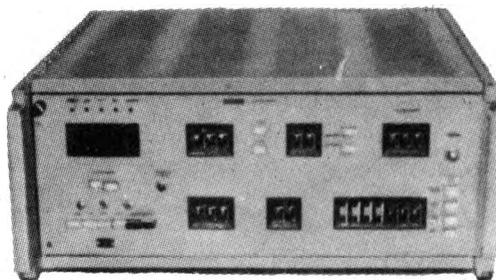


Рис. 2. Прибор для испытаний транзисторов

напряжение $U_{бэ}$. Вследствие нагрева транзистора это измеренное значение меньше, чем установленная величина $U_{бэ \text{ нач}}$. Прибор вычисляет разницу между начальным измеренным $U_{бэ}$, делит ее на коэффициент K (зависимость напряжения $U_{бэ}$ от температуры) и индицирует значение температуры перегрева прибора относительно окружающей среды

$$\Delta t_{\text{пер}} = (U_{бэ \text{ нач}} - U_{бэ \text{ изм}}) / K.$$

В приборе предусмотрены программное управление и цифровой отсчет измеряемого параметра.

Техническая характеристика

Диапазоны измеряемых значений $\Delta U_{бэ}$	1-99,9; 1-999 мВ
Погрешность измерений	10 %
Длительность греющего импульса	5-999 мс
Напряжение коллектора	1-30 В
Ток коллектора	0,01-5 А
Начальное напряжение	100-990 мВ
Максимальное время измерения	1,1 с
Потребляемая мощность	200 Вт
Напряжение питания	220 В (50 Гц)
Масса	20 кг
Габариты	500×200×500 мм

Основную погрешность при измерении вносит разброс значений коэффициента K , часто не превышающий 7-8%. При неотлаженном технологическом процессе для вновь осваиваемых транзисторов разброс значений K между отдельными приборами может быть еще больше. Значительное влияние на точность измерения оказывает правильный выбор значения $U_{бэ \text{ нач}}$. Эта величина устанавливается, исходя из того, что нагрев транзистора и разброс значений K в выбранном диапазоне измерительного тока должны быть минимальными.

Разработанный прибор позволяет контролировать только транзисторы, однако рассмотренный метод применим и для измерения диодов, тиристоров, МОП-транзисторов и т.д. [2]. Метод контроля качества посадки кристалла на корпус можно использовать для отбраковки готовых структур. Он является оперативным инструментом для отработки качества выполнения технологической операции посадки кристалла (индивидуальный контроль труда работниц, отдельных единиц технологического оборудования). Метод поможет оценить качество посадки кристалла на подложку при сборке гибридных интегральных схем, определить степень влияния конструктивных изменений в транзисторах (вид материала, геометрические размеры элементов и т.д.) на их параметры, установить области безопасной работы транзисторов при нагрузке единичными импульсами. Зная изменение параметра $\Delta t_{\text{пер}}$, потребитель полупроводниковых приборов сможет отбраковать потенциально ненадежные изделия в условиях повышенной рабочей температуры, произвести сравнение различных типов транзисторов по предельно допустимой импульсной мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кернер Б.С., Рубаха Е.А., Синкевич Б.Ф. Анализ токораспределения в структурах мощных транзисторов с неоднородностью. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1978, № 1, с. 15-30.
2. Зигель Б. Электрический метод быстрой проверки качества напайки кристалла. — Электроника. Пер. журн. США "Electronics", 1979, № 8, с. 60-65.

Статья поступила 20 мая 1980 г.

РЕКЛАМА · ЭП · РЕКЛАМА

НОВЫЕ КНИГИ

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ЦИФРОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Ю.С.Мальцев

М.: Энергия, 1981, 10,5 л., ил., 10000 экз.

Рассмотрены схемотехника, методы конструирования и технология производства микросхем, выполненных на основе интегральных микросхем. Отражены вопросы обеспечения конструкторскими и технологическими методами помехоустойчивости, надежности, стабильности приборов, согласования интегральных микросхем с индикаторами и другими внешними устройствами, вопросы эффективного отвода тепла и т.д. Приведено описание особенностей монтажа, сборки, регулирования и испытаний микросхем, цифровых приборов. Даны описания схем и конструкций лучших отечественных и зарубежных образцов приборов.

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ: ТЕХНОЛОГИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ

Ф.Мейзда

Пер. с англ. — М.: Мир, 1981,
17 л., 40000 экз.

Рассмотрены все типы интегральных микросхем, в том числе логические элементы, цепи арифметических и запоминающих устройств, микропроцессоры, цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи, линейные усилители; приборы с зарядовой связью и схемы с фазовой автоподстройкой частоты. Достаточно полно освещены технология производства, принципы работы и применения каждого типа микросхем. Дан словарь общепринятых сокращений и технологических терминов.

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

УДК 681:325.65.06

Я. И. Борисова, Е. П. Васильев, В. И. Лыщенко,
Е. В. Орлов, Л. М. Попель, С. М. Трускова

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ "ЭЛЕКОН СФ"

Программное обеспечение позволяет автоматизировать программирование процесса контроля БИС на основе языка высокого уровня ЭЛЕКОН Ф, проводить статистическую обработку результатов, автоматическую диагностику неисправностей аппаратуры контроля и автоматизировать метрологическую аттестацию.

Современная система автоматического контроля ИС – это комплекс программных и технических средств. Аппаратурная часть системы представляет собой набор десятков и сотен программируемых устройств, связанных между собой сложным алгоритмом работы.

Эффективность работы аппаратуры при контроле схем высокого уровня интеграции, насчитывающих десятки тысяч активных элементов в одном кристалле, во многом определяется степенью полноты и совершенства программного обеспечения. Основным средством автоматизации программирования является применение языка, ориентированного на описание процесса контроля.

Программное обеспечение системы "ЭЛЕКОН СФ" позволяет разрабатывать программы контроля БИС на языке высокого уровня ЭЛЕКОН Ф. Наличие в языке ЭЛЕКОН Ф специальных операторов управления устройствами системы контроля БИС, а также всех возможностей языка программирования ФОРТРАН IV дает возможность успешно и быстро разрабатывать программы контроля и статистической обработки результатов контроля БИС.

Состав программного обеспечения. Программное обеспечение системы "ЭЛЕКОН СФ" [1] состоит из программного обеспечения управляющей ЭВМ СМ-1 и специального программного обеспечения системы (рис. 1).

Монитор программ контроля БИС – программа, которая организует процесс контроля на рабочем месте в режимах разбраковки, распечатку результатов контроля и отладки. Запуск монитора осуществляется специальной командой во время работы ДОС ЭВМ.

Транслятор с языка контроля ЭЛЕКОН Ф, редактор, перемешающий загрузчик и отладчик поз-

воляют разрабатывать и отлаживать программы контроля БИС.

Все программы системы "ЭЛЕКОН СФ" записаны на магнитном диске. При запуске дисковой операционной системы в ОЗУ ЭВМ загружается резидентная часть управляющей программы: супервизор, монитор программ контроля БИС, драйверы основных устройств ввода-вывода информации, которая занимает около 6 К слов. В оставшуюся



Рис. 1. Состав программного обеспечения системы контроля БИС "ЭЛЕКОН СФ"

часть ОЗУ в процессе работы загружаются программы контроля БИС. При такой организации оператор может набрать в любой момент времени любой номер программы контроля БИС, находящейся на диске, затем монитор программ загружает ее в ОЗУ и запускает ее на исполнение.

В процессе контроля БИС происходит накопление результатов контроля на магнитном диске в специальном зарезервированном файле данных, что позволяет проводить статистическую обработку накопленных данных.

Разработка и отладка программ контроля БИС. Язык ЭЛЕКОН Ф включает в себя: язык ФОРТРАН IV, операторы управления контрольно-измерительным оборудованием, язык МНЕМОКОД Ф-ЗУ. Тексты программ контроля БИС, разработанные на языке ЭЛЕКОН Ф, доступны инженерам, не специализирующимся в области программирования, так как словарь языка представляет собой сокращения общепринятых наименований в автоматической аппаратуре контроля. Широкие возможности языка ЭЛЕКОН Ф — наличие переменных, циклов, выполнение сложных вычислительных операций, разнообразных видов печатей — обусловлены наличием в его составе универсального языка программирования ФОРТРАН IV. Они обеспечили создание сложного программного обеспечения, включающего разнообразные программы статистической обработки результатов контроля БИС.

Исходные и объектные программы хранятся на НМД емкостью 5 Мбайт. Процессы редактирования, трансляции программ и обработки их перемещающим загрузчиком выполняются в дисковой операционной системе без использования носителей на перфолентах. Операторы управления контролем позволяют задавать режимы работы, значения программируемых параметров, считывать результаты контроля и управлять различными устройствами установки "ЭЛЕКОН СФ". Операторы управления подразделяются на исполнительные и неисполнительные. В состав неисполнительных операторов входит МНЕМОКОД Ф-ЗУ, операторы программирования тестовой последовательности, операторы определения входов, выходов и магистралей проверяемой микросхемы.

Программа на языке ЭЛЕКОН Ф состоит из основной программы и подпрограмм. Подпрограммы языка ЭЛЕКОН Ф оформляются как программы на языке ФОРТРАН. Если программа, составленная на языке ЭЛЕКОН Ф, не помещается в оперативную память, ее можно разбить на главную программу и сегменты.

МНЕМОКОД Ф-ЗУ предназначен для разработки программ контроля БИС ОЗУ с помощью программируемой алгоритмической установки "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ".

Транслятор языка контроля ЭЛЕКОН Ф в процессе трансляции выдает диагностиче-

ские сообщения об ошибках в программе контроля.

С целью облегчения процесса отладки программ контроля БИС используется программа отладки. Она позволяет проводить распечатку состояний на выводах БИС или во время исполнения программы контроля БИС считывание состояний различных устройств, изменение режимов и программируемых величин в устройствах, осуществлять повторный запуск и зацикливание тестовой последовательности, поступающей от генератора слова и установки "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ".

Монитор имеет специальные директивы задания режимов отладки и печати программ контроля БИС. При этом могут быть заданы следующие режимы отладки: остановки по всем или заданным номерам тестов, по командам ввода-вывода информации в установку "ЭЛЕКОН СФ".

В режимах печати программ контроля могут быть заданы: при контроле статистических параметров — печать всех или только бракованных номеров тестов с измеренной величиной и признаком брака или только печать номеров бракованных тестов; при функциональном контроле БИС микропроцессоров — печать по всем или только бракованным тестам входных воздействий, состояний на магистралах и результатов контроля на выходах; при функциональном контроле БИС ОЗУ — печать ма-

FTN4,L	PROGRAM N15	
C	ПРОГРАММА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ	Операторы управления контролем
C	БИС ЗУ (1024*1 БИТ,ЗСЛ)	
	IPIN=2-7,9-15	определение входов
	OPIN=1	определение выходов
	TEST 1,F	
	I4=0	
	VS1=-5.2V	задание напряжения
	VS2=-2V	
	RATE=90NS	период
	CLK1=50NS,40NS	задержка и длит.синхр.имп.
	STRB1=65NS	строб
	IN1=-0.9V,-1.7V	вх.лог.уровни
	OUT1=-1.1V,-1.5V	вых.лог.уровни
	P2=7,9-12,14,15=IN1,MO,INH,DRF	
	P13=IN1,CLK1,M2,INH,DRF	
	P1=OUT1(0,1),LOAD1,CPE	коммутация
	OTHERS=INH	
	ROM0,VS1	включение источников
	ROM0,VS2	
	SEND EXER GALOP	запись тестовой последовательности
	FCNT=0	
	MEAS EXER 1 GALOP:15	пуск контроля
	IF (IS.LT.0) I4=1	
	IF (I4.EQ.0) GOTO 52	
	SET RESULT 1	группа "брак"
	GOTO 102	
52	RESET RESULT 0	группа "годен"
	GOTO 102	
	EXER GALOP ; GALOP:ING	язык МНЕМОКОД Ф-ЗУ
	START 1	
	PC=1	
	GW=0	
	NW=1023	ЗАДАНИЕ
	TP=3	
	END	АЛГОРИТМА
G1:	G1,W,JMNN,MA+1)MA	КОНТРОЛЯ
	TP>B)TP,GW)MA	
G2:	G3,W,JMNN,TP>B)TP,MA)AS,MA+1)MA	
	GW)MA	
G3:	G4,R,JMNN,TP>B)TP,MA)AS,AS)MA	
G4:	G5,R,JMNN,TP>B)TP,MA)AS,AS)MA	
G5:	G6,R,JMNN,MA+1)MA	
	GW)MA	
G6:	G3,JMNS	
	G2,JMNN,TP>B)TP,MA+1)MA	
	GW)MA	
	STPS	
102	END	
	END*	

Рис. 2. Текст программы контроля БИС ЗУ на языке ЭЛЕКОН Ф

тематической или физической матриц отказов. На рис. 2 приведен текст программы функционального контроля БИС ОЗУ на языке ЭЛЕКОН Ф. На рис. 3,4 даны примеры форматов печати результатов контроля БИС ОЗУ и микропроцессоров.

На рис. 5 показана схема процесса трансляции и исполнения программы контроля БИС на языке ЭЛЕКОН Ф, где в фазе 1 осуществляется трансляция на языке ФОРТРАН, в фазе 2 - трансляция с языка ФОРТРАН в объектные коды и в фазе 3 - исполнение скомпонованной абсолютной программы контроля БИС.

При исполнении абсолютной программы контроля БИС формируются коды аппаратуры контроля в виде адреса блока, адреса устройства, информации и выдаются в устройства системы контроля (см. рис. 5, фаза 3).

```

ПРОГ NO26 NO3 01
ТЕСТ 1
      ВХОДМ  МАГИСТРАМИ  ВЫХОДМ
000011      0011      0011
147925      3603      2514

СЛОВО
1  011110      ....      ----
2  000000      **Н*      ----
3  011111      1111      ....
4  011111      0000      ****
5  111111      1111      ----
6  011111      1111      .В..
7  011110      ----      ----
8  000000      ****      ----
КОНЕИ
    
```

1-ЛОГИЧЕСКАЯ "1" НА ВХОДЕ
0-ЛОГИЧЕСКАЯ "0" НА ВХОДЕ
--НЕОПРЕДЕЛЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НА ВЫХОДЕ
#-"ГОДЕН" - СРАВНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ "1"
.-"ГОДЕН" - СРАВНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКИХ "0"
Н-"НЕ ГОДЕН"-ВМЕСТО "1" НА ВЫХОДЕ "0"
В-"НЕ ГОДЕН"-ВМЕСТО "0" НА ВЫХОДЕ "1"

Рис. 3. Пример формата печати результатов функционального контроля БИС микропроцессоров

```

ПРОГ NO60 NO3 01
ТЕСТ 1
МАТРИЦА ОТКАЗОВ

0000000000 1111111111 2222222222 33
0123456789 0123456789 0123456789 01

0 .....
1 .....
2 .....
3 .....
4 .....
5 .....
6 .....
7 .....
8 .....Н .....Н .....Н ..
9 .....
10 .....
11 .....Н .....Н .....Н ..
12 .....
13 .....
14 .....
15 .....
16 .....
17 .....
18 .....
19 .....
20 .....
21 .....
22 .....
23 .....
24 .....
25 .....
26 .....
27 .....
28 .....
29 .....
30 .....
31 .....
КОЛИЧЕСТВО БРАКОВАННЫХ ЯЧЕЕК 6
КОНЕИ
    
```

Рис. 4. Пример формата печати матрицы отказов БИС ОЗУ

Программы статистической обработки результатов контроля БИС. Комплект программ статистической обработки результатов контроля БИС позволяет:

1. Накапливать на магнитном диске в процессе контроля партии БИС результаты функционального контроля в виде признака годен - не годен, измеренные величины параметрического контроля по каждому тесту, группу брака, число нефункционирующих ячеек БИС ОЗУ, координаты местоположения кристалла на пластине при контроле с использованием зондов.

2. Обрабатывать накопленные на магнитном диске результаты параметрического контроля партии БИС и строить затем гистограмму, кумулянту и табличную форму распределения измеренных величин по заданной группе тестов.

3. Обрабатывать накопленные на магнитном диске данные о числе нефункционирующих ячеек по каждой БИС ЗУ и затем строить гистограмму

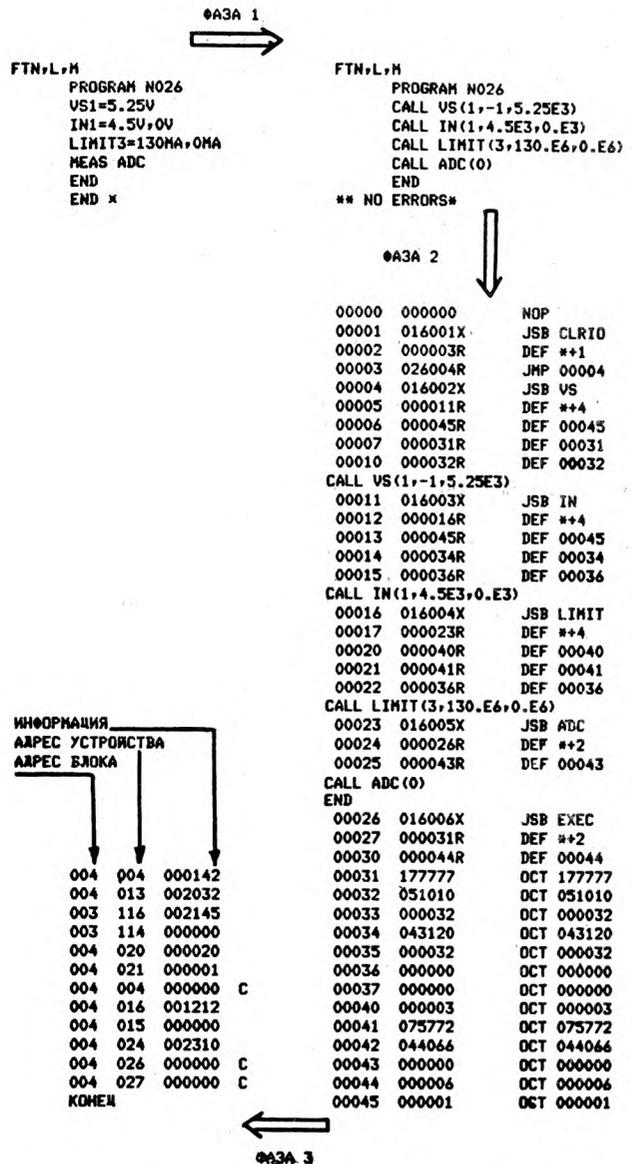


Рис. 5. Схема процесса трансляции и исполнения программы контроля БИС на языке ЭЛЕКОН Ф

в координатах: число нефункционирующих ячеек — число БИС.

4. Строить двух- и трехмерные диаграммы зон работоспособности БИС.

5. Обрабатывать накопленные на магнитном диске результаты функционального контроля для двумерных диаграмм зон работоспособности партии БИС ЗУ и строить статистическую двумерную диаграмму зон работоспособности для партии БИС.

6. Обрабатывать накопленные на магнитном диске группы брака по партии БИС и строить сводную распечатку распределения БИС по группам брака.

Файл для накопления результатов контроля БИС создается директивной дисковой операционной системы с указанием его размера. Размер файла определяется пользователем по следующей зависимости:

$$R = N(2M + 8) + 2,$$

где R — размер файла в словах; N — число БИС в партии; M — число тестов параметрического контроля.

Накопление измеренных величин параметрического контроля БИС производится только после задания режима накопления результатов контроля БИС с дисплея ЭВМ.

После контроля определенного числа БИС процесс может быть остановлен. Затем запускается на исполнение какая-либо программа обработки результатов контроля, накопленных на магнитном диске. После этого можно продолжить контроль БИС с накоплением результатов контроля.

Если был задан режим накопления результатов контроля, то в процессе контроля БИС на магнитный диск записываются измеренные величины по всем тестам параметрического контроля. За счет этого обеспечивается возможность многократной обработки накопленных результатов по любым тестам или группам тестов.

Пример построения гистограммы распределения измеренных величин параметрического контроля приведен на рис. 6.

При инженерных исследованиях характеристик БИС в настоящее время большое внимание уделяется двух- и трехмерным диаграммам зон работоспособности. Например, изображенная на рис. 7 двумерная параметрическая диаграмма зоны работоспособности БИС ЗУ получается в результате многократного проведения функционального контроля БИС ЗУ при изменении по оси X параметра времени выборки адреса, а по оси Y — значения напряжения питания. Если результат функционального контроля "Брак", на диаграмме печатается черточка; если результат "Годеи" — точка. Тогда область диаграммы, содержащая точки, представляет зону работоспособности БИС ЗУ при заданных интервалах изменения параметров.

Программное обеспечение системы "ЭЛЕКОН СФ" позволяет при построении двумерных пара-

метрических диаграмм зон работоспособности записывать их на магнитный диск в файл. Затем накопленные данные обрабатываются и строятся

ТАБЛИЦА, ГИСТОГРАММА, КУМУЛЯНТА N 1

```

КОЛИЧЕСТВО ТЕСТОВ ДЛЯ ГИСТОГРАММЫ = 1
НОМЕР ПЕРВОГО ТЕСТА В ГРУППЕ = 1.
ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРА =МКА
МИНИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПАРАМЕТРА = 15.000
МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПАРАМЕТРА = 598.000
СРЕДНЕЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ = 281.900
СРЕДНЕЕ КВАДРАТИЧЕСКОЕ ОТКЛОНЕНИЕ = 210.94
ВАРИАЦИЯ = 74.83
АБС.ВЕЛИЧИНА ПРОИЗВ.ЗАПАСА ПО НГ = 5.00
ОТН.ВЕЛИЧИНА ПРОИЗВ.ЗАПАСА ПО НГ = 50.00
АБС.ВЕЛИЧИНА ПРОИЗВ.ЗАПАСА ПО ВГ = 2.00
ОТН.ВЕЛИЧИНА ПРОИЗВ.ЗАПАСА ПО ВГ = .33
ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО МИКРОСХЕМ = 10
    
```

```

X ВЫХОДА ГОДНЫХ МИКРОСХЕМ ПО ПАРАМЕТРУ X,
НАХОДЯЩИХСЯ В ПРЕДЕЛАХ ФИЗИЧЕСКИХ ГРАНИЦ =100.00
X ВЫХОДА ГОДНЫХ МИКРОСХЕМ ДЛЯ ВСЕЙ ВЫБОРКИ =100.00
    
```

! N !	НИЖНЯЯ !	ВЕРХНЯЯ !	СОДЕРЖИМОЕ !	КУМУЛЯНТА !	ГИСТОГРАММА !
! ИНТ. !	ГРАН.ИНТ. !	ГРАН.ИНТ. !	СЧЕТЧИКА !	X !	X !
! 0 !	-137.500!	10.000!	0 !	.00 !	.00 !
! 1 !	10.000!	128.000!	2 !	20.00 !	20.00 !
! 2 !	128.000!	246.000!	3 !	50.00 !	30.00 !
! 3 !	246.000!	364.000!	2 !	70.00 !	20.00 !
! 4 !	364.000!	482.000!	1 !	80.00 !	10.00 !
! 5 !	482.000!	600.000!	2 !	100.00 !	20.00 !
! 6 !	600.000!	747.500!	0 !	100.00 !	.00 !

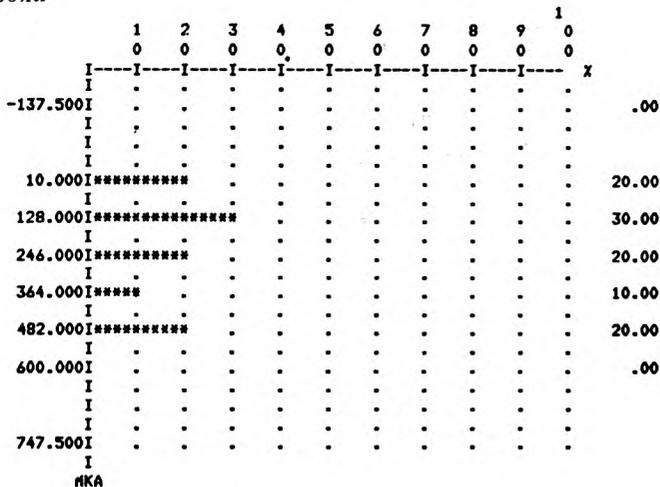


Рис. 6. Пример построения гистограммы распределения параметров статического контроля БИС

2-Х МЕРНАЯ ДИАГРАММА X-TBA, Y-УПН

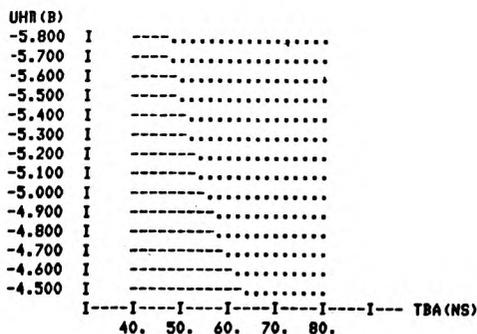


Рис. 7. Двухмерная параметрическая диаграмма зоны работоспособности БИС

"ЭЛЕКОН СФ" предназначена для оперативного программногo контроля работоспособности устройств системы, участвующих в контроле БИС. Программа выполняется в двух режимах — оперативном с выдачей сообщения "Система исправна" или "Система неисправна" и в диагностическом с выдачей сообщений о неисправностях в блоках системы на дисплей или печатающее устройство. Время исполнения программы контроля работоспособности в оперативном режиме зависит от состава проверяемой конфигурации установки и составляет в среднем ~ 10 с.

В диагностическом режиме выдаются сообщения, позволяющие определить неисправный блок в установке, после чего для более детального определения места неисправности запускается программа диагностики неисправного блока.

Программа контроля работоспособности системы контролирует только те устройства, которые участвуют в контроле БИС. Для этого предварительно с помощью программы формирования массивов конфигурации в диалоговом режиме с дисплея вводятся данные, используемые для настройки программы контроля работоспособности на проверку необходимой конфигурации системы "ЭЛЕКОН СФ".

В состав данных, формирующих массив конфигурации, входят: номера тестов программы контроля работоспособности, подлежащих исполнению; номера каналов блоков электроники выводов и формирования тестовых последовательностей, участвующих в контроле БИС; логические уровни формирователей уровней; период частоты функционального контроля; коммутация выходов и входов установки "ЭЛЕКОН Ф-ЗУМ" с блоком формирования тестовых последовательностей и другие данные.

Программы контроля работоспособности и формирования массивов конфигурации написаны на языке ФОРТРАН IV с использованием подпрограмм библиотеки языка ЭЛЕКОН Ф и содержат около 2000 операторов.

Программы диагностики системы "ЭЛЕКОН СФ" предназначены для определения места неисправности и обладают диагностической разрешающей способностью до сменной платы. Они могут выдавать сокращенные и подробные сообщения о неисправностях в системе. В случае обнаружения неисправностей предусмотрены закливания программ, что позволяет с помощью осциллографа просмотреть временные диаграммы работы контролируемого узла.

Программы диагностики структурно разделены на части, каждая из которых диагностирует определенный блок или часть блока. Поэтому предварительное определение неисправного блока с помощью программы контроля работоспособности позволяет сократить время поиска места неисправности в установке. Программы написаны на языке ЭЛЕКОН Ф и содержат около 4000 операторов.

Программы диагностики разработаны по принципу функциональных тестов. Для обеспечения диагностической разрешающей способности с точностью до сменной платы в состав аппаратуры введены

клапаны считывания цифровой информации и аналоговые коммутаторы для контроля аналоговых величин. При этом использован метод увеличения диагностической разрешающей способности программных средств за счет введения дополнительных аппаратных средств [2].

Программы метрологической аттестации обеспечивают проверку метрологических характеристик установки. В процессе выполнения программ на дисплей или печатающее устройство выдаются сообщения о проверяемых устройствах, режимах, значениях параметров. В случае неправильного выполнения проверки выдается специальная метка. Программы метрологической аттестации обеспечивают в соответствии с имеющейся методикой проверку цифровых и аналоговых устройств системы во всех режимах и диапазонах параметров.

Программы аттестации написаны на языке БЭЙСИК с использованием подпрограмм на мнемокоде для управления устройствами системы. Объем этих программ составляет 12000 операторов языка БЭЙСИК. Применение языка БЭЙСИК с расширенными возможностями для управления оборудованием позволило существенно ускорить разработку и отладку программ аттестации системы "ЭЛЕКОН СФ".

Использование современной мини-ЭВМ с дисквой операционной системой и широким набором внешних устройств, включающим накопитель на магнитном диске, позволило применить языки высокого уровня, организовать библиотеку программ контроля БИС и накопление результатов контроля с целью последующей их обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система "Электрон СФ" для контроля электрических параметров БИС ЗУ и микропроцессоров / О.Г.Грачев, Н.Н.Данилин, Л.В.Духовской и др. — Электронная промышленность, 1980, вып. 6 (90), с. 21.
2. Разработка систем контроля работоспособности и диагностики неисправностей измерительных комплексов / Е.В.Батырев, В.Б.Задубровский, Е.В.Орлов и др. — Электронная техника. Сер. Микроэлектроника, 1976, вып. 5, с. 112—118.

Статья поступила 19 июня 1980 г.

УДК 681.3:621.3.049.77

А. Н. Кармазинский

ОСНОВЫ СИНТЕЗА КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ МИКРОСХЕМ

Анализ возможных типовых и эвристических решений на разных уровнях проектирования позволяет синтезировать метод, в наибольшей степени соответствующий квалификации разработчика.

Проектирование — начальный период жизни микросхемы от момента зарождения замысла и формулирования технических требований до изго-

товления экспериментальных образцов. Целью процесса проектирования является разработка проектов, на основе которых создается микроэлектронное изделие, соответствующее или опережающее современный уровень науки и техники. Обоснование методов проектирования микроэлектронных изделий и создание средств для их реализации является актуальной народнохозяйственной задачей, решаемой в рамках нового научного направления — электронного аппаратостроения [1–4]. Элементы и устройства цифровой вычислительной техники — цифровые микросхемы — составляют значительную часть аппаратуры. Поэтому необходимость создания эффективных методов проектирования цифровых микросхем и их постоянное совершенствование очевидны.

Общие принципы, на которых основывается электронное аппаратостроение [1], распространяются на все сферы деятельности, охватываемые этим направлением. В частности, применительно к проектированию и разработке цифровых микросхем они включают: прогнозирование развития микроэлектронных изделий и их электрических характеристик; синтез, оптимизацию и анализ функционально-логических, схмотехнических и топологических решений; разработку многофункциональных элементов и средств их проектирования, а также ИС и БИС широкого применения, входящих в состав функционально законченных наборов, позволяющих проектировать аппаратуру широкой номенклатуры; реализацию многоцелевых средств проектирования цифровых микросхем на разных стадиях, позволяющих повысить качество проектов.

В настоящее время отсутствует методология синтеза методов проектирования, в том числе микросхем [5, 6], хотя и осуществляется реальное проектирование и отрабатываются технологические маршруты этого процесса [2]. Объектом исследования данной работы являются методы проектирования цифровых микросхем. Цель работы — развитие концептуально-методологических основ синтеза методов проектирования цифровых БИС на основе библиотечного набора элементов. Разработка концепции и обоснование метода связаны с решением эвристическим путем стратегических и тактических задач проектирования.

Стратегия проектирования предусматривает выработку главных принципов, на которых основывается метод проектирования:

- выбор класса схем, пригодных для проектирования;
- определение главной цели проектирования и стадии (стадий), обуславливающих выбор метода проектирования;
- определение исходных данных для проектирования;
- обоснование и выбор числа этапов проектирования данным методом;
- определение целей проектирования, принятие соглашений о ручном, автоматическом или автоматизированном выполнении работ на каждом этапе;
- определение процессов, к изменению которых метод будет инвариантным.

Тактика проектирования включает способы оптимального решения задач, возникающих на каждом этапе и ограниченных стратегическими принципами.

Возможности, которые закладываются в метод при разработке стратегических принципов, реализуются в виде аналитических, алгоритмических, модельных, программных и других средств, необходимых для выполнения конкретных работ по проектированию.

Методологическая основа концепции. Морфологический подход (включающий анализ и синтез) к объектам, методам, проектным ситуациям [7–9] является основой поисковой методологии, стимулирующей творческую деятельность проектировщика. Его применение позволяет расширять проектные ситуации и получать новые научные результаты и технические решения, систематизировать эвристические приемы. Поэтому морфологический подход служит методологической основой при решении задач в данной работе. Морфологический подход интуитивно применялся многими авторами, однако целенаправленное его использование в технике началось сравнительно недавно [10–12].

Применение поисковой методологии для совершенствования элементов и устройств вычислительной техники, микроэлектронных устройств, методов их проектирования ограничено небольшим числом работ, опубликованных в периодической печати [13–17]. Малое число работ в этой предметной области, с нашей точки зрения, обусловлено интенсивным развитием этой области техники и генерированием множества новых эвристических решений без применения методов, стимулирующих творческую деятельность, а также недостаточным знанием методов поиска новых технических решений и малым опытом их практического использования.

Назовем морфологической переменной семантическую величину, характеризующую исследуемый объект, метод, ситуацию и т.п. на данном уровне абстракции [9] и принимающую ряд различных альтернативных или совместимых значений. Значения морфологической переменной, как правило, представлены в семантической форме. Выбор уровня абстракции для анализа и синтеза объекта диктуется: объективными условиями его существования и функционирования, субъективным мнением проектировщика или включает оба эти фактора, образуя полное множество способов определения уровня абстракции. Значения морфологических переменных устанавливаются по объективным данным — из периодической литературы, патентов, каталогов и других источников информации; эвристически — в результате творческой деятельности проектировщика или путем совмещения этих двух подходов.

Сущность морфологического подхода заключается в том, что на основе точной постановки задачи исследуемый объект расчленяется на составные части — морфологические переменные, отыскиваются альтернативные и/или совместимые способы реализации переменных, комбинации значений дают множество возможных решений,

анализ и сравнение которых по заранее сформулированным критериям позволяют выбрать лучшее или удовлетворяющее определенным условиям.

Особенности разработанной концепции состоят в следующем:

- морфологический подход является единой методологической основой при решении большинства задач, рассмотренных в работе;

- значения морфологических переменных определяются как из литературных источников, так и эвристически;

- значения морфологических переменных выбираются совместимыми,обеспечивающими автоматизацию процесса поиска новых технических решений;

- для разных объектов применяется одно– или многоступенчатый морфологический анализ, основанный на последовательном выделении анализируемых уровней абстракции, который аналогичен представлению технического решения в виде дерева [10];

- морфологический подход соединяется с другими научно обоснованными методами.

Классификация методов проектирования. Полный цикл проектирования микросхем обычно делится на четыре стадии [1–4; 18–22]: *функционально-логическую* (ФЛ); *физико-технологическую* (ФТ); *схемотехническую* (Сх); *конструкторско-топологическую* (КТ).

Множество методов, охватывающих одну или несколько стадий, образуют *класс методов проектирования*. Следовательно, комбинацией различных стадий нетрудно образовать шестнадцать классов методов проектирования. Однако проектирование на ФТ стадии практически не зависит от результатов на остальных стадиях, так как служит фундаментом для создания микросхем. Поэтому целесообразно рассматривать классы методов, представляющие комбинации трех стадий. В этом случае методы проектирования должны быть инвариантными к технологии изготовления.

Морфологическая таблица

Группы методов проектирования	Номер класса	Стадия проектирования		
		ФЛ	Сх	КТ
Автоматические	1	–	–	–
Обособленные	2	+	–	–
	3	–	+	–
	4	–	–	+
Композиционные	5	+	+	–
	6	+	–	+
	7	–	+	+
Полный цикл	8	+	+	+

Морфологическая таблица позволяет определить восемь классов методов проектирования, которые охватывают ФЛ, Сх, КТ стадии. Назовем стадии, входящие в класс методов, *основными*, не входящие – *дополняющими*. Классы методов отличаются друг от друга числом стадий, для которых разрабатываются средства проектирования.

Наличие знака "+" на пересечении строки и столбца в таблице означает, что данная стадия является основной и включается в класс методов проектирования; разрабатываются средства для проведения работ на этой стадии; средства и результаты проектирования инвариантны к результатам, полученным на дополняющих стадиях; для достижения технических целей проекта данные, получаемые на дополняющих стадиях, должны удовлетворять заданным требованиям.

Наличие знака "-" на пересечении строки и столбца означает, что данная стадия является дополняющей и непосредственно не включается в класс методов проектирования; средства для реализации работ на этой стадии не разрабатываются, а фактические данные получаются автоматически; данные, полученные на дополняющих стадиях, являются исходными или справочными для основных стадий.

В соответствии с морфологической таблицей все классы методов проектирования объединены в четыре группы.

К *первой группе* относится автоматическое проектирование микросхем. Потребитель получает готовый проект и не разрабатывает методы, алгоритмы и средства проектирования.

К *второй группе* относятся классы методов, которые ориентированы на создание средств проектирования для одной стадии. Такие методы назовем *обособленными*. Создаваемые средства проектирования в этом случае должны быть инвариантными к изменениям, вносимым на других стадиях.

Цели, которые ставятся при развитии обособленных методов, следующие:

ФЛ стадия – определение принципов организации устройства, разработка системы команд и алгоритмов выполнения микроопераций, создание функционально-логической схемы, системы логических тестов для контроля работоспособности, временной диаграммы функционирования устройства [21, 22].

Сх стадия – синтез принципиальной схемы, анализ и оптимизация условий работоспособности элементов и параметров компонентов, входящих в схему [15–17, 20].

КТ стадия – синтез топологии микросхемы, включающий иерархическое создание топологии на компонентном, элементном (микротопология) и блочном уровнях (макротопология), решающий задачи компоновки, размещения и абсолютной трассировки всех соединений [1, 18, 19].

ФТ стадия – синтез физической структуры компонентов, выбор режимов, материалов и процессов для ее реализации технологическими методами [1].

К *третьей группе* относятся классы методов, предназначенные для создания средств проектирования на нескольких стадиях (в данном случае на двух стадиях). Такие классы назовем *композиционными*. Как правило, композиционные методы ориентированы на проектирование определенного типа микросхем. В частности, рассматриваемый ниже метод ориентирован на проектирование цифровых МДП-микросхем. Из таблицы видно, что суще-

ствуется три класса композиционных методов, объединяющих соответственно ФЛ, Сх стадии (метод 5); ФЛ, КТ стадии (метод 6); Сх, КТ стадии (метод 7). Средства проектирования, разрабатываемые для этих методов, инвариантны к изменениям, вносимым на тех стадиях, которые не включены в композицию.

К четвертой группе относятся классы методов, которые охватывают все стадии. Назовем их *полными циклами проектирования*. Это, как правило, универсальные методы, пригодные для реализации широкой номенклатуры микросхем [3]. Однако возможно создание и узкоориентированных (схемотипированных) полных циклов. Полные циклы разрабатывают и используют, как правило, только крупные предприятия и научно-производственные объединения. Большинство разработчиков развивают обособленные или композиционные методы проектирования.

Особенности композиционных методов. Рассмотрены методы, предназначенные для проектирования цифровых микросхем. Цель каждого метода — создать средства проектирования и последовательность действий, позволяющие разработать проект микросхемы, удовлетворяющий требованиям технического задания и пригодный для технической реализации. Метод и разработанные средства проектирования должны обеспечивать: создание охраноспособных микросхем, повышение качества за счет сокращения числа ошибок при проектировании и оптимизации электрических характеристик, ускорение процесса проектирования.

Классы композиционных методов объединяют две из трех основных стадий (см. таблицу). Совокупность стадий, образующих класс методов, делится на этапы. Число этапов и решаемых на них задач не является величиной постоянной, а изменяется в зависимости от метода и технологии проектирования на каждой стадии. Работы на каждой стадии могут выполняться автоматически, автоматизированно или вручную. Степень автоматизации определяется числом типовых решений, которые принимаются в процессе проектирования. Типизация позволяет сократить число технических решений (иногда до одного). Очевидно, что длительность процесса проектирования будет минимальной, если на каждом этапе принимается единственное типовое решение. Однако в этом случае проектируемая микросхема будет далека от оптимальной по техническим характеристикам.

Применение композиционных методов позволяет создавать охраноспособные микросхемы. Использование на всех этапах типовых решений не может привести к созданию охраноспособных микросхем. Поэтому в методе проектирования следует предусмотреть стадию, на которой будет осуществляться эвристический или направленный поиск новых решений. Как правило, поиск эвристических решений — творческий процесс, выполняемый вручную. Автоматизации поддается перебор возможных вариантов и их сравнение. Очевидно, что эвристическое проектирование на отдельных стадиях и этапах позволяет наиболее полно использо-

вать творческий потенциал проектировщика. Таким образом, если в методе предусматривается создание и использование новых технических решений, полученных проектировщиком вручную, то все остальные стадии и этапы должны быть *вспомогательными*, обеспечивающими наиболее быструю реализацию в виде проекта этих решений и, следовательно, должны быть автоматизированы.

Назовем стадию *порождающей*, если на ней предусматривается создание охраноспособных решений, полученных вручную. Охраноспособные решения чаще всего возникают на ФЛ и Сх стадиях, а также на ФТ стадии, где создаются новые интегральные структуры (например, И²Л), которые затем тиражируются во многих микросхемах. Выбор порождающих стадий зависит от квалификации проектировщиков, от того, на каких стадиях они могут внести наибольший творческий вклад в создание охраноспособных микросхем.

На каждой стадии могут приниматься типовые, синтезированные или эвристические технические решения.

Будем считать типовым известное базовое решение, полученное до начала процесса проектирования, эвристическим — новое решение, полученное вручную в процессе проектирования, синтезированным — решение, полученное в результате применения отработанного метода, как правило, с использованием ЭВМ.

Обозначим класс композиционных методов K_{ij} , где i — номер класса методов в соответствии с таблицей, j — номер подкласса, зависящий от выбранной порождающей стадии. Основные и дополняющие стадии обозначим соответственно O_i, D_i ; подмножества порождающих и вспомогательных стадий P_i, V_i , где $P_i = \{P_{ij} | j = 1 \div 3\}, V_i = \{V_{ij}\}$, причем $V_{ij} = O_i \setminus P_{ij}$. Так, для $K_{5j}, O_5 = \{\text{ФЛ}, \text{Сх}\}, D_5 = \{\text{КТ}\}, P_5 = \{\text{ФЛ}, \text{Сх}(\text{ФЛ}, \text{Сх})\}$, а $V_5 = \{\text{Сх}, \text{ФЛ}, \phi\}$, соответственно. Тогда класс композиционных методов можно записать в виде

$$K_{ij} = \{P_{ij}, V_{ij}, D_i\}. \quad (1)$$

Условие существования метода проектирования — совместимость порождающей и вспомогательной стадий по способам получения на них технических решений. Для повышения качества проекта и ускорения процесса проектирования на вспомогательной стадии применяются, как правило, типовые или синтезированные технические решения. Эвристические решения на вспомогательной стадии эффективны при условии, что их число невелико и они многократно повторяются при создании микросхемы, т.е. для немногих эвристических решений на порождающей стадии целесообразны также эвристические решения на вспомогательной стадии при их многократном повторении.

Анализ способов получения технических решений на порождающей и вспомогательной стадиях показывает, что скорость проектирования возрастает с уменьшением числа различных решений и повторений каждого решения, а также при умень-

шении числа эвристических решений; улучшается качество и достигается охранный потенциал проектов с ростом числа эвристических решений на порождающей стадии и уменьшением их числа на вспомогательной стадии; перспективны методы, в которых на порождающей стадии используются эвристические, типовые и синтезированные решения, а на вспомогательной – типовые и синтезированные, совместимые с решениями на порождающей стадии.

Краткая характеристика композиционных методов. В соответствии с таблицей и формулой (1) существует девять подклассов композиционных методов, которые можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} K_{51} &= \{P_{51} = \text{ФЛ}; V_{51} = \text{Сх}; D_5 = \text{КТ}\}; \\ K_{52} &= \{P_{52} = \text{Сх}; V_{52} = \text{ФЛ}; D_5 = \text{КТ}\}; \\ K_{53} &= \{P_{53} = (\text{ФЛ}; \text{Сх}); V_{53} = \phi; D_5 = \text{КТ}\}; \\ K_{61} &= \{P_{61} = \text{ФЛ}; V_{61} = \text{КТ}; D_6 = \text{Сх}\}; \\ K_{62} &= \{P_{62} = \text{КТ}; V_{62} = \text{ФЛ}; D_6 = \text{Сх}\}; \\ K_{63} &= \{P_{63} = (\text{ФЛ}, \text{КТ}); V_{63} = \phi; D_6 = \text{Сх}\}; \\ K_{71} &= \{P_{71} = \text{Сх}; V_{71} = \text{КТ}; D_7 = \text{ФЛ}\}; \\ K_{72} &= \{P_{72} = \text{КТ}; V_{72} = \text{Сх}; D_7 = \text{ФЛ}\}; \\ K_{73} &= \{P_{73} = (\text{Сх}, \text{КТ}); V_{73} = \phi; D_7 = \text{ФЛ}\}. \end{aligned}$$

Подкласс K_{51} ориентирован на специалистов в области функционально-логического проектирования систем (именно на ФЛ стадии обеспечивается охранный потенциал микросхем). На порождающей стадии принимаются, как правило, эвристические решения. С целью ускорения процесса проектирования целесообразно иметь типовой набор схмотехнических решений (типовых или синтезированных, которыми покрывается функциональная схема). Проектирование топологии не связано с созданием принципиальной схемы, поэтому схмотехнические решения должны иметь запас по электрическим характеристикам, обеспечивающий работоспособность устройств после интегральной реализации. Структура топологии задается до начала проектирования и все работы по созданию топологии выполняются автоматически. Подкласс методов K_{51} соответствует проектированию на основе базового кристалла. Оптимальное покрытие заданной конструкции элементами функциональной схемы и обеспечение требуемых электрических характеристик – вот те проблемы, которые возникают при развитии этих методов.

Подкласс K_{52} ориентирован на схмотехников. Охранными решениями являются новые принципиальные схемы элементов. Типовые устройства проектируются по заданным наборам функционально-логических схем, проектирование топологии осуществляется автоматически. Структура компоновки задана. Этот подкласс методов соответствует проектированию устройств ЭВМ, когда разработанные базовые элементы, отличающиеся схмотехническим решением, используются для

реализации функциональных блоков на печатных платах. Такие же методы используются для создания гибридных интегральных схем.

Подкласс K_{53} ориентирован в основном на разработчиков аппаратуры. Функционально-логическое и схмотехническое проектирование осуществляется вручную. Достоинство метода состоит в большом числе охранный потенциал решений, которые можно получить на порождающих стадиях, в высоком качестве проектов. Недостаток метода заключается в увеличении сроков проектирования при большом числе эвристических решений, в отсутствии связи между конструированием топологии и схмотехникой, что требует поиска методов учета влияния конструкции на параметры элементов. Этот подкласс методов больше пригоден для проектирования аппаратуры на интегральных микросхемах или микросборках.

Подкласс K_{61} ориентирован на специалистов в области структурно-логического проектирования систем, где обеспечивается создание охранный потенциал решений, и соответствует проектированию аппаратуры на микросхемах. Конструирование топологии основано на типовых решениях.

Подкласс K_{62} ориентирован на конструкторов микросхем и аппаратуры. Создание охранный потенциал решений затруднено. Структурные схемы устройств могут быть типовыми или эвристическими. Этот подкласс методов соответствует разработке устройств на интегральных микросхемах, где конструкция всего блока существенно влияет на его общие характеристики.

Подкласс K_{63} аналогичен классу K_{62} . Объединение эвристических решений на ФЛ и КТ стадиях позволяет установить их связь на уровне общих технических требований, предъявляемых к аппаратуре, на основе которых вырабатываются требования к наборам микросхем.

Подкласс K_{71} ориентирован на специалистов по схмотехнике. Охранными решениями являются новые принципиальные схемы, а исходными данными при проектировании – функциональные схемы цифровых устройств. При этом топология должна быть инвариантна эвристическим, типовым и синтезированным схмотехническим решениям, что позволяет автоматизировать ее проектирование. Схмотехническое и конструкторско-топологическое проектирование взаимосвязаны, что дает возможность получать схмотехнические решения в микросхеме с высокими электрическими характеристиками, учитывающими особенности конструкции.

Подкласс K_{72} ориентирован на топологов. Создание охранный потенциал решений затруднено, так как схмотехнические решения, как правило, являются типовыми. Заданной при проектировании является функциональная схема устройства. Конструирование топологии эвристическое и может быть направлено на создание универсальных топологических структур типа базового кристалла матричных БИС. Для автоматизации проектирования схмотехника должна быть инвариантна к любым конструкторско-топологическим решениям. Такие методы используются для проектирования динамических схем на МДП-транзисторах [23].

Подкласс K_7 , ориентирован на схемотехников и топологов. Охраноспособность достигается, как правило, за счет использования новых схемотехнических решений. Этот подкласс применим для функционально законченных устройств, выпускаемых большими тиражами и содержащих небольшое число схемотехнических часто повторяющихся решений. К таким устройствам, в первую очередь, относятся интегральные запоминающие устройства.

Проведенный анализ композиционных методов позволяет выбрать метод, наиболее полно отвечающий квалификации и профессиональной ориентации разработчиков.

Уровни и объекты типизации. Типизация — процесс обоснованного сокращения числа объектов, их характеристик, параметров, конфигураций, геометрических размеров, методов решения задач и т.п., необходимых для проектирования.

Как отмечалось, в процессе проектирования принимаются типовые, синтезированные или эвристические решения на разных уровнях: при определении схемотехники, выборе параметров, структур, геометрических размеров и т.п. Можно разделить все уровни на *внешние* и *внутренние*.

Внешние уровни и решения, которые на них принимаются, характеризуют связь метода проектирования с дополняющими стадиями. Решения, принимаемые на внутренних уровнях, должны обеспечивать совместимость порождающей и вспомогательной стадий с целью автоматизации процесса проектирования.

Совокупность и взаимосвязь типовых и эвристических решений, принимаемых на внутренних уровнях, формирует метод проектирования. Все внутренние уровни назовем *уровнями типизации*, так как на каждом из них может быть принято типовое решение.

Каждая стадия может включать несколько уровней. Ряд уровней может быть общим для нескольких стадий. Это свидетельствует о непрерывном переходе от стадии к стадии и от уровня к уровню в процессе проектирования. Однако при проектировании микросхем нетрудно выделить следующие внутренние уровни типизации: компонент (К); схемотехника (Сх); способ организации библиотеки схемотехнических решений (Б); диапазон изменения характеристик цифровых элементов (ХЭ); набор основных функциональных и электрических характеристик элементов (НХ); способ создания рисунка топологии элементов — микротопологии (МиТ); основные характеристики топологических элементов (ТЭ); способ создания макротопологии 1 — соединения элементов в блоки (Ма1Т), которая включает принципы группировки (Г), размещения (РЭ) и трассировки соединений (Т) элементов на рабочем поле; способ создания макротопологии 2 — соединения блоков на рабочем поле кристалла (Ма2Т), которая включает выбор конфигурации блоков (КБ), местоположения их выводов (ВБ), способа размещения блоков (РБ) и трассировки соединений между блоками (ТБ).

Совокупность уровней типизации представляет собой набор морфологических переменных, харак-

теризующих процесс проектирования микросхемы. При создании проекта необходимо каждой морфологической переменной присвоить определенное значение. Для каждой переменной можно допустить множество значений: любое эвристическое значение; одно или ограниченное число типовых значений, выбор каждого из которых осуществляется по определенному условию. В первом случае значение морфологической переменной выбирается на основе эвристических решений, во втором — типовых.

Перечень значений* морфологических переменных на разных уровнях типизации приведен ниже.

Значения морфологических переменных на различных внутренних уровнях типизации

Компонент	K0 — произвольный
	K1 — вид компонента: индуцированный канал; встроенный канал
	K2 — тип компонента: <i>n</i> -канальный, <i>p</i> -канальный, <i>n (p)</i> -дополняющие
	K3 — геометрия
	K4 — размеры
Схемотехника	K5 — электрические характеристики
	Sx0 — произвольная
	Sx1 — набор типовых элементов
	Sx2 — настраиваемый универсальный элемент
Способ организации библиотеки	Sx3 — многофункциональный элемент
	Sx4 — элемент базового кристалла
	B0 — полная, пополняемая
	B1 — постоянная
Характеристики элементов	B2 — схемоориентированная, генерируемая
	B3 — динамическая
	XЭ0 — произвольные
Набор характеристик	XЭ1 — ограниченные сверху
	XЭ2 — фиксированные
	XЭ3 — набор фиксированных значений
	NХ1 — число входов
Микротопология	NХ2 — нагрузочная способность
	NХ3 — потребляемая мощность
	NХ4 — задержка на каскад
	N25 — площадь на каскад
	МиТ0 — произвольная, ручная
Топологический элемент	МиТ1 — на основе ортогональной сетки шин
	МиТ2 — ячейка отдельных компонентов, ячейка базового кристалла
	МиТ3 — фиксированная микротопология элемента
	МиТ4 — фиксированная структура топологии и автоматическое создание микротопологии по принципиальной схеме элемента
	МиТ5 — фиксированный чертеж элемента однородной среды или настраиваемого модуля
Размещение элементов	ТЭ0 — произвольный
	ТЭ1 — местоположение и способ подключения шин питания
	ТЭ2 — порядок расположения входов и выходов
	ТЭ3 — ориентация компонентов и соединений
Макротопология — 1. Соединение элементов в блоки	ТЭ4 — направление развертывания микротопологии элемента
	РЭ0 — произвольное
Размещение элементов	РЭ1 — установочные места

*Приведенный перечень не претендует на исчерпывающую полноту, так как сформирован на основе литературных источников и эвристической работы автора. Перечень может быть сокращен или расширен другими исследователями.

	R32 – матричное	
	R33 – плотная упаковка	
	R34 – на основе силовых принципов	
	R35 – размещение отрезков	
Группировка элементов	G0 – произвольная	
	G1 – логических элементов в отрезки	
	G2 – топологических элементов в отрезки	
	G3 – группировка отрезков в блоки	
Трассировка соединений	T0 – произвольная, ручная	
	T1 – ортогональная по каналам	
	T2 – гибкая	
<i>Макротопология-2. Соединение блоков</i>		
Конфигурация блоков	KB0 – произвольная	
	KB1 – фиксированная	
	KB2 – прямоугольная с фиксированными размерами	
	KB3 – прямоугольная с произвольными размерами	
	KB4 – произвольная форма с ортогональными краями и произвольными размерами	
Выводы блоков	B0 – произвольное расположение	
	B1 – фиксированное расположение площадок	"точечных"
	B2 – фиксированное расположение площадок	"протяженных"
Размещение блоков	RB0 – произвольное	
	RB1 – по ортогональной сетке	
	RB2 – в ряды, отрезки	
	RB3 – плотная упаковка с абсолютным выбором позиции	
	RB4 – плотная упаковка с относительным выбором позиции	
Трассировка	TB0 – произвольная, ручная	
	TB1 – канальная	
	TB2 – гибкая	

Он позволяет определить полное множество совместимых типовых и эвристических решений на каждом уровне. Например, для МДП-микросхем на первом уровне – К у компонента можно типизировать: геометрию или размеры, или электрические параметры; геометрию и размеры, или геометрию и электрические параметры, или одновременно геометрию, размеры и электрические параметры.

Метод проектирования со схемотехнической порождающей стадией. Стратегические принципы, положенные в основу разработанного композиционного метода проектирования, можно сформулировать следующим образом. В качестве основных используются Сх и КТ стадии, дополняющей – стадия функционально-логического проектирования. Фундаментом для разработки микросхем служит известная технология изготовления.

Таким образом, исходными данными для проектирования являются функционально-логическая схема БИС и алгоритмы ее работы. Базой проектирования служит набор электрических параметров компонентов, совокупность электрофизических параметров всех структурных областей, создаваемых в результате технологического процесса, множество конструктивно-технологических ограничений.

Согласно классификации, приведенной в таблице, развиваемая концепция соответствует седьмому классу методов и охватывает подклассы $K_{7,1}$, $K_{7,3}$.

Для реализации метода средства проектирования должны допускать использование любых схемотехнических решений: типовых, синтезированных и эвристических. Объектом исследования и проектирования являются элементы и устройства цифровой вычислительной техники на МДП-транзисторах, применительно к которым и развивается основная концепция.

Такой выбор порождающей стадии и объекта исследования обусловлен сложившимися традициями и определяется областью компетенции разработчиков, участвующих в отработке технологии проектирования и создании средств для реализации метода проектирования. Кроме того, выбор Сх в качестве порождающей стадии объясняется тем, что схемотехнические решения являются одними из наиболее подвижных, легко изменяемых объектов в процессе проектирования, что позволяет создавать охранный микросхемы. Действительно, работоспособность схемотехнического решения проверяется моделированием на ЭВМ. Поэтому изменение принципиальной схемы, направленное на улучшение электрических характеристик или микротопологии, не требует значительных материальных затрат. Однако изменения в схемотехнике ведут к изменениям в топологии и, в первую очередь, микротопологии элементов. Способ проектирования микротопологии зависит от ФЛ структур БИС, которые можно разделить на регулярные (например, оперативные запоминающие устройства) и нерегулярные – логические (например, микропроцессоры). Микротопологию элементов регулярных БИС целесообразно создавать вручную, так как они (например, элементы памяти) многократно повторяются на рабочем поле кристалла без изменения конфигурации и размеров. Микротопологию и макротопологию нерегулярных БИС целесообразно разрабатывать автоматически или автоматизированно, что обуславливается как изменением схемотехники элементов, так и размеров компонентов, а следовательно, и площади чертежей элементов.

Из сказанного следует, что подкласс методов проектирования $K_{7,1}$ соответствует нерегулярным схемам, а $K_{7,3}$ – регулярным. В сверхбольших микросхемах на рабочем поле размещаются цифровые блоки с регулярной и нерегулярной структурой. Поэтому композиционный метод объединяет подклассы $K_{7,1}$ и $K_{7,3}$, обеспечивающие проектирование и таких микросхем. Следовательно, использование произвольных схемотехнических решений и топологических чертежей элементов (ТЧ), изготовленных вручную и/или автоматически, является характерной чертой метода.

Для реализации средств автоматизированного проектирования необходимо определить совокупность значений морфологических переменных, совместимых между собой и позволяющих использовать схемотехнику в качестве порождающей стадии. Анализ значений морфологических переменных на различных уровнях типизации позволяет

определить следующую совокупность значений:

- $K = K4;$
- $Sx = Sx0 \vee Sx1;$
- $B = B2;$
- $XЭ = XЭ1 \vee XЭ3;$
- $NX = NX1 \vee NX2 \vee NX3 \vee NX4 \vee NX5;$
- Микро $T = MиТ4 \vee MиТО;$
- $TЭ = TЭ0 \vee (TЭ1 \wedge TЭ2 \wedge TЭ3 \wedge TЭ4);$
- Макро $T1 = (PЭ5) \wedge ((Г1 \vee Г2) \wedge Г3) \wedge (Т1);$
- Макро $T2 = (КБ4) \wedge (В1 \vee В2) \wedge (РБ4) \wedge (ТБ1).$

Можно получить и другие совместимые совокупности, так как множества значений каждой морфологической переменной определяются эвристически. Типовым значением для компонента является геометрия, для МДП-транзистора все структурные области представляют собой прямоугольники. Схемотехнические решения могут быть типовыми или произвольными. Библиотека элементов формируется при разработке каждой БИС, что обусловлено выбором индивидуальных характеристик элементов с целью обеспечения наилучших электрических параметров БИС. Характеристики элементов, как правило, ограничены сверху. Это относится к полному набору характеристик, включающему число выводов, допустимую нагрузочную способность, потребляемую мощность, задержку на каскад и др.

Для одного элемента допускаются различные схемотехнические решения, и в каждом случае должен быть создан топологический чертеж (ТЧ) элемента. Автоматизированный способ создания

ТЧ позволяет получать микротопологию (ТЧ элемента) и макротопологию (ТЧ узла или БИС) на основе чертежей отдельных элементов. Принципиальные схемы и ТЧ элементов должны генерироваться для каждой схемы с учетом требований, которые предъявляются к ее электрическим параметрам.

Совокупность принципиальных схем элементов, используемых при создании БИС, и способа автоматизированного проектирования их микротопологии назовем *библиотечным набором элементов* — БНЭ. В отличие от библиотечных элементов с фиксированной топологией и схемотехникой, т.е. с фиксированными электрическими параметрами, БНЭ позволяет учитывать в процессе проектирования как изменения схемотехнических решений, так и изменения технологии изготовления, конструктивно-технологических ограничений, размеров компонентов в схеме.

Процесс автоматизированного проектирования микротопологии по принципиальной схеме элемента или по функционально-логической диаграмме, представленной в базе типовых логических элементов, сводится к следующим действиям:

- упорядочение цепей транзисторов, соединяющих источники информационных сигналов с выходом схемы, производится таким образом, чтобы были образованы наиболее длинные ветви, соединяющие каналы транзисторов;

- для схем на КМДП-транзисторах осуществляется поярусное симметрирование p - и n - областей

схем с целью проведения наиболее коротких соединений затворов пар дополняющих транзисторов;

- определяются наиболее длинные контуры, замыкающиеся через шины питания и выход элемента и соединяющие каналы транзисторов;

- определяется структура топологии, устанавливающая последовательность чередования физических структурных областей, обусловленных технологией изготовления и конструкцией транзисторов;

- последовательность транзисторов в контурах сопоставляется со структурой топологии и определяется топологическая формула — символическая запись ТЧ;

- создается микротопология элемента на основе топологической формулы с указанием размеров структурных областей;

- проводятся внутренние соединения между отдельными физическими слоями, что завершает создание ТЧ элемента;

- определяются габариты ТЧ и местоположение внешних выводов, что является исходной информацией об элементе для проектирования макротопологии-1.

Использование структуры топологии — элементарной части топологического чертежа, соответствующей физической структуре, связанной с технологией изготовления и конструктивно-технологическими ограничениями, — позволяет автоматизировать создание микротопологии.

Макротопология-1 создается на основе известных топологических чертежей элементов и включает в себя процессы группировки, размещения и трассировки соединений между элементами. Основные условия реализации макротопологии-1 заключаются в следующем:

- ТЧ элементов имеют прямоугольную форму с двухсторонним расположением внешних выводов, часть из которых является равнозначными или эквипотенциальными;

- размеры элементов отличаются по высоте и ширине, различие вертикальных размеров элементов (высот) ограничено;

- ТЧ элементов на рабочем поле располагаются в виде параллельно размещенных отрезков, разделенных промежутками — каналами для проведения трасс соединений;

- для проведения наиболее коротких межотрезочных трасс предусматривается введение фиктивных элементов, представляющих собой пустые промежутки между элементами;

- размеры блока (отрезки элементов и каналы с трассами), по возможности, имеют квадратную форму, если создается многоблочная БИС (типа МП), или форму прямоугольника, отношение сторон которого пропорционально размерам установочного места кристаллодержателя интегральной схемы.

Полученные при создании макротопологии-1 габариты блоков, местоположение выводов и др. являются исходными данными для создания макротопологии-2 — размещения разногабаритных элементов и проведения трасс соединений между блоками.

При разработке средств для создания макро-топологии-2 предполагается, что: блоки, входящие в СБИС, имеют существенно различные габариты, причем площадь ряда блоков по величине сопоставима с площадью отведенного рабочего поля кристалла; все блоки имеют прямоугольную форму с фиксированным положением одно- и двухсторонних выводов; обеспечивается плотная упаковка размещаемых блоков с относительным выбором позиции; окончательные координаты блоков устанавливаются после завершения канальной трассировки соединений.

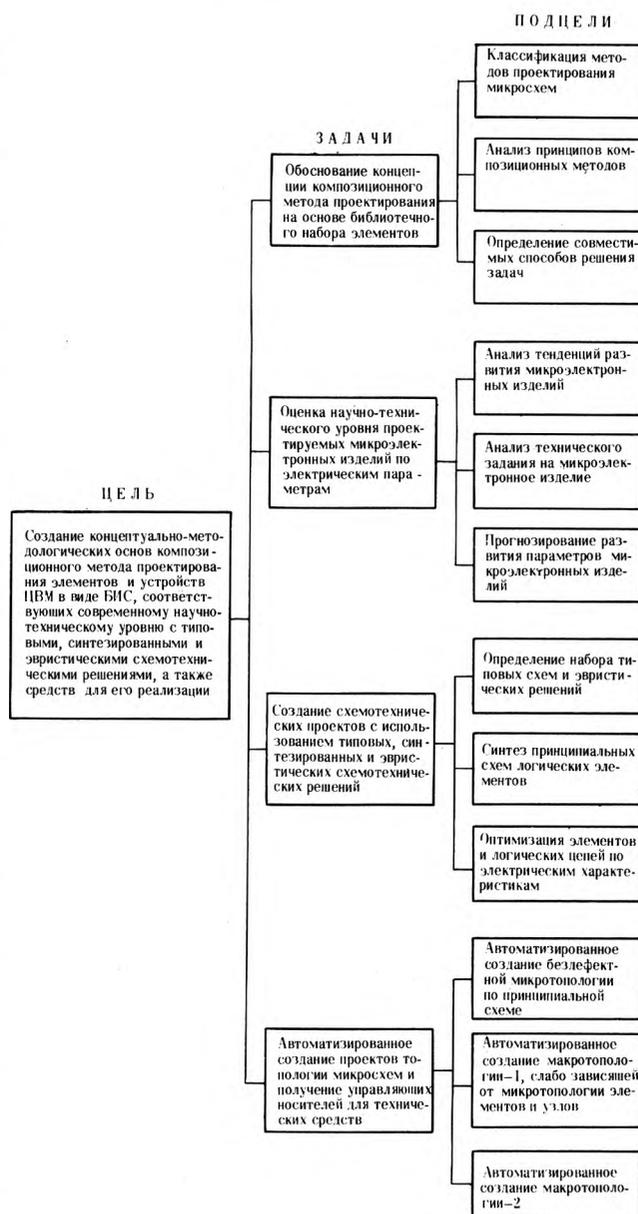
Генерация множества схмотехнических решений основана на синтезе принципиальных схем логических элементов [24, 25].

Синтез охранных схмотехнических решений основывается на синтезе канонического набора схмотехнических решений или расширенных логических формул, что сводится к отысканию максимального числа различных покрытий конституент единицы K_1 и нуля K_0 логической функции простыми импликантами [25]; использовании эвристических приемов для преобразования логической функции, расширенной логической или схмотехнической формулы в процессе синтеза; применении входных логических переменных или промежуточных функций в качестве источников информационных сигналов при синтезе; использовании процедуры частичного упорядочения в процессе оптимизации синтезированных расширенных логических формул по критериям качества, что приводит к новым неожиданным конфигурациям принципиальных схем; введении дополнительных компонентов в синтезированные варианты посредством перебора множества возможных способов их включения с целью улучшения электрических характеристик [16].

Основными причинами, которые приводят к перепроектированию устройств, являются изменения: технологии изготовления, что приводит к изменению числа фотошаблонов, необходимых для создания микросхемы; конструктивно-технологических ограничений (КТО), что требует создания новой микротопологии; функционально-логической схемы устройства, что требует новой схмотехники, микро- и макро-топологии; требований технического задания на электрические характеристики микросхемы, что влечет за собой в ряде случаев изменение функционально-логической схемы, а следовательно, и схмотехники, микро- и макро-топологии; параметров компонентов в принципиальных схемах, а следовательно, изменение микротопологии элементов и макро-топологии блоков.

Изменение ТЗ и функционально-логической схемы равносильно заданию новых требований на изделие, т.е. требует проектирования нового изделия. Изменение технологии и КТО влечет за собой изменение микро- и макро-топологии. Это трудоемкие процессы. Поэтому разработанные средства проектирования инвариантны к этим изменениям. Реализация последнего принципа обеспечивается при автоматизированном создании микротопологии по принципиальной схеме [26] и слабой зависимости метода создания макро-топологии-1 от микротопологии элементов.

Связь основных стадий проектирования с дополняющими осуществляется на *внешних уровнях* взаимодействия разработчиков функционально-логической схемы и проектировщиков микросхемы. Такое взаимодействие устанавливается на этапе согласования ТЗ на микроэлектронное изделие. ТЗ является предметом исследования и изучения как разработчиков логических проектов, так и проектировщиков микросхем. При составлении ТЗ возникают задачи определения места предполагаемого изделия в ряду схем с аналогичными функциями, оценки перспективности разработки, а также реализуемости ТЗ на предприятии-изготовителе, определения возможного направления корректировки ТЗ, тенденций развития изделий и прогнозирования их характеристик на ближайший период времени. Кроме того, разработчики ТЗ должны корректно определять технические требования к отдельным



Дерево целей и задач, соответствующее методу проектирования

электрическим характеристикам микросхемы на основе функционально-логической схемы и технологических возможностей предприятий-изготовителей. Поэтому разработка средств, обеспечивающих связь разработчиков аппаратуры и микросхем на внешнем уровне, является одним из главных принципов, заложенных в метод проектирования.

На базе сформулированной концепции композиционного метода проектирования микроэлектронных изделий созданы теоретические основы и разработаны средства для проведения следующих работ:

- анализа тенденций развития микроэлектронных изделий и оценки влияния конструктивно-технологических факторов на свойства БИС;
 - прогнозирования развития электрических характеристик микросхем;
 - анализа требований ТЗ на микроэлектронное изделие;
 - определения номенклатуры логических элементов БНЭ;
 - синтеза принципиальных схем логических элементов;
 - физического моделирования процессов в компонентах;
 - предварительной оптимизации и выбора размеров компонентов в логических цепях обработки информации и в элементах, входящих в состав логических цепей;
 - параметрической оптимизации электрических характеристик элементов, входящих в БИС;
 - автоматического получения микротопологии по принципиальной схеме элемента, макротопологии-1, макротопологии-2, а также тестовых структур для контроля электрических и электрофизических параметров.
- Дерево целей и задач, соответствующее методу проектирования, представлено на рисунке.

Таким образом, композиционный метод проектирования на основе библиотечного набора элементов с типовыми, синтезированными и эвристическими схемотехническими решениями — это последовательность действий с использованием ограниченной совокупности аналитических, модельных, программных средств и информационных связей между ними, позволяющих выполнять работы на внешних и внутренних уровнях по проектированию БИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуськов Г.Я. Принципы комплексной микроминиатюризации и микроэлектронное аппаратостроение. — Электронная техника. Сер. Микроэлектронные устройства, 1978, вып. 5, с. 3—6.
2. Основы проектирования микроэлектронной аппаратуры / Под ред. Б.Ф.Высоцкого. М.: Сов. радио, 1977. — 324 с.
3. Гуськов Г.Я. Задачи комплексной микроминиатюризации радиотехнических устройств. — Электронная техника. Сер. Микроэлектронные устройства, 1977, вып. 6, с. 3—6.
4. Васенков А.А., Федотов Я.А., Сретенский В.Н. Три проблемы электроники твердого тела. — В кн.: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы / Под ред. А.А. Васенкова, Я.А.Федотова. М.: Сов. радио, 1977, вып. 2, с. 3—19.
5. Казеннов Г.Г. Структура, основные требования и принципы построения систем автоматизированного проектирования микроэлектронных приборов. — М.: Машиностроение, 1978. — 64 с.
6. Глушков В.М., Деркач В.П., Кияшко Г.Ф. Важнейшие задачи в области автоматизации проектирования больших интегральных схем. — УСИМ, 1977, № 6 (32), с. 87—92.

7. Zwicky F. Morphological approach to discovery, invention, research and construction. — In.: Zwicky F, Wilson. New methods of thought and procedure. Berlin—Heidelberg, N.Y., 1967. — 240 p.

8. Эйрес Р. Научно-техническое прогнозирование и долгосрочное планирование: Пер. с англ./Под ред. Г.М.Доброва. — М.: Мир, 1971. — 296 с.

9. Джонс Дж. К. Инженерное и художественное конструирование: Пер. с англ./Под ред. В.Ф.Венды, В.М.Муникова. — М.: Мир, 1976. — 374 с.

10. Дворянкин А.М., Половинкин А.И., Соболев А.Н. Методы синтеза технических решений. — М.: Наука, 1977. — 104 с.

11. Алгоритмы оптимизации проектных решений / А.И. Половинкин, В.Г. Грудачев, В.В. Меркурьев и др.; Под ред. А.И. Половинкина. — М.: Энергия, 1976. — 264 с.

12. Автоматизация поискового конструирования. Тезисы доклада первой Всесоюзной конференции. — Йошкар-Ола, 1978. — 270 с.

13. Алексенко А.Г. Основы микросхемотехники. Элементы морфологии микроэлектронной аппаратуры. — М.: Сов. радио, 1971. — 352 с.

14. Гринкевич В.А. Классификация и прогноз развития микроэлектронных логических схем. — В кн.: Микроэлектроника / Под ред. Ф.В.Лукина. М.: Сов. радио, 1969, вып. 3, с. 3—25.

15. Глориезов Е.Л. Морфологический синтез нелинейных логических схем. — Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника, 1977, т. 20, № 6, с. 79—85.

16. Глориезов Е.Л. Метод структурного схемотехнического синтеза электронных схем. — Изв. вузов. Сер. Радиоэлектроника, 1979, т. 22, № 6, с. 7—13.

17. Шагурин И.И. Основы формального схемотехнического синтеза цифровых микросхем на биполярных транзисторах. — Микроэлектроника, 1979, т. 8, вып. 2, с. 114—130.

18. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. — М.: Сов. радио, 1977. — 384 с.

19. Баталов Б.В., Щемелин В.М. Проектирование топологии интегральных схем на ЭВМ. — М.: Машиностроение, 1979. — 58 с.

20. Ильин В.Н. Основы автоматизации схемотехнического проектирования. — М.: Энергия, 1979, — 392 с.

21. Автоматизация проектирования цифровых устройств / С.И. Баранов, С.А. Майоров, Ю.П. Сахаров, В.А. Селютин. — Л.: Судостроение, 1979. — 262 с.

22. Автоматизация проектирования сложных логических структур / В.А.Горбатов, В.Ф. Демьянов, Г.Б. Кулиев и др.; Под ред. проф. В.А.Горбатова. — М.: Энергия, 1978. — 352 с.

23. Селютин В.А., Ромм Г.Р., Булин С.В. Автоматизация проектирования топологии МОП-БИС с 4-тактной логикой. — В кн.: Вычислительная техника, т. IV, Каунас. политехн. ин-т, 1973, с. 44—49.

24. Кармазинский А.Н. Теоретические основы синтеза принципиальных схем логических элементов. — Электронная промышленность, 1980, вып. 6, с. 52.

25. Кармазинский А.Н. Процедура синтеза принципиальных схем логических элементов на дополняющих МДП-транзисторах. — Электронная промышленность, 1980, вып. 6, с. 58.

26. Кармазинский А.Н., Округин И.А., Петрухин В.П. Автоматизация перестройки топологических чертежей элементов библиотечного набора на МДП-транзисторах. — В кн.: Микроэлектроника / Под ред. А.А. Васенкова. М.: Сов. радио, 1975, вып. 9, с. 261—273.

Статья поступила 10 августа 1980 г.

УДК 621.382.019.3

В. В. Горовой, Ю. И. Савотин, А. Г. Сахащик

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ БИС ОЗУ ЕМКОСТЬЮ 256 БИТ

Применение физико-статистического подхода к анализу результатов надежных испытаний БИС позволяет получать эффективную оценку основных характеристик параметрической надежности БИС и ограничиваться проведением приемлемых по длительности и объему испытаний.

Современные БИС находят все более широкое применение в радиоэлектронной аппаратуре, поэтому актуальной задачей является исследование и повышение их надежности.

Существующая в настоящее время тенденция ужесточения финишных испытаний приводит к более полному выявлению в БИС скрытых производственных дефектов. Вероятность полных отказов БИС, обусловленных производственными дефектами, снижается, и истинную надежность БИС определяют параметрические отказы. Поэтому исследование параметрической надежности БИС приобретает все большее значение.

Цель данной работы – исследование параметрической надежности статического ОЗУ емкостью 256 бит на ЭСЛ-структурах и определение возможных путей повышения надежности схемы.

При анализе параметрической надежности изделия учитываются его параметрические отказы, характеризующиеся количественным изменением параметров-критериев годности (ПКГ) и выходом значения хотя бы одного из них за установленные нормы (или границы), которые служат для контроля качества и надежности изделия [1].

Для анализа надежности изделия необходимо знать интегральную функцию распределения времени безотказной работы

$$p(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt, \quad (1)$$

где $f(t)$ – плотность вероятности распределения (ПВР) времени безотказной работы.

В настоящее время для анализа параметрической надежности изделий электронной техники находят применение физико-статистический подход, основанный на учете взаимосвязи статистических законов распределения параметров изделия с характером их изменения во время испытаний или эксплуатации [2].

Функция $f(t)$ определяется следующим образом:

$$f(t) = f[x(t)] dx(t) / dt, \quad (2)$$

где $f(x)$ – начальное распределение ПКГ; $x(t)$ – закон изменения ПКГ во времени.

В большинстве случаев на практике $f(x)$ подчиняется нормальному закону:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2} \right],$$

где \bar{x} – среднее значение ПКГ; σ – среднеквадратичное отклонение.

При этом ПКГ изменяется во времени по линейному закону

$$x = a + bt. \quad (3)$$

Тогда из уравнений (1) и (2) следует

$$f(t) = \frac{b}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{b^2(t - \bar{t})^2}{2\sigma^2} \right],$$

где \bar{t} – время, за которое \bar{x} достигнет значения, предельного по техническим условиям:

$$p(t) = 1 - \Phi \left[\frac{b}{\sigma} (t - \bar{t}) \right], \quad (4)$$

где $\Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^U \exp(-\frac{x^2}{2}) dx$ – функция Лапласа.

Знание функций $f(t)$ и $p(t)$ позволяет восстановить зависимость интенсивности отказов ПКГ от времени:

$$\lambda(t) = f(t) / p(t). \quad (5)$$

Оценка коэффициентов a и b в уравнении (3) проводится по результатам испытаний с применением метода наименьших квадратов [3]. Оценка среднеквадратичных отклонений этих коэффициентов (σ_a и σ_b) дает возможность построить линию регрессии вида (3) с доверительными интервалами. Экстраполяция линии регрессии и ее доверительных интервалов до пересечения с предельным по ТУ значением ПКГ приводит к получению точечной и интервальной оценок ресурса изделия по ПКГ [4].

Изложенный подход был использован при исследовании параметрической надежности статического ОЗУ емкостью 256 бит на ЭСЛ-структурах. Для получения необходимых экспериментальных данных проводились надежность испытания 180 образцов ОЗУ в течение 5000 ч при номинальной электрической нагрузке и максимально допустимой по ТУ температуре эксплуатации $T_{\max} = 398 \text{ K} (+125^\circ\text{C})$. В качестве ПКГ взяты все контролируемые по ТУ электрические параметры ОЗУ, значения которых измерялись в начале испытаний ($t = 0$) и через каждые 1000 ч. Перечень всех ПКГ, нормы на них по ТУ и оценки \bar{x} и σ при $t = 0$ приведены в табл. 1. Эти данные понадобятся далее для расчетов значений ресурса.

Таблица 1
Параметры-критерии годности статического ОЗУ емкостью 256 бит

Наименование параметра	Критерий оценки	\bar{x}	σ
Выходное напряжение логической единицы $U_{\text{Вых}}^1$, В	$\leq 1,05$	0,9372	0,0370
Выходное напряжение логического нуля $U_{\text{Вых}}^0$, В	$\geq 1,6$	1,7860	0,0311
Пороговое выходное напряжение логической единицы $U_{\text{Вых,пор}}^1$, В	$\leq 1,07$	0,9475	0,0403
Пороговое выходное напряжение логического нуля $U_{\text{Вых,пор}}^0$, В	$\geq 1,58$	1,7861	0,0299
Входной ток логической единицы $I_{\text{Вх}}^1$, мА	$\leq 0,2$	0,0012	0,0026
Входной ток логической единицы по входам 5, 6, 7 $I_{\text{Вх}}^1(5,6,7)$, мА	$\leq 0,2$	0,0619	0,0145
Входной ток логического нуля $I_{\text{Вх}}^0$, мА	≤ 50	0,0004	0,0066
Входной ток логического нуля по входам 5, 6, 7 $I_{\text{Вх}}^0(5,6,7)$, мА	$\leq 0,16$	0,0444	0,0101
Ток потребления $I_{\text{потр}}$, мА	≤ 135	66,68	14,68

На первом этапе обработки экспериментальных результатов выявляют связь между временем испытаний и значениями ПКГ, оценивают степень близости этой связи к функциональной. Для этого применяется линейный корреляционный анализ [3]. Расчет коэффициентов корреляции и конкордации позволил выделить пять параметров ($U_{\text{Вых}}^0$, $U_{\text{Вых}}^1$, $I_{\text{Вх}}^1$, $I_{\text{Вх}}^1(5,6,7)$, $I_{\text{Вх}}^0(5,6,7)$), для которых наблюдалась значимая и достаточно близкая к функциональной связь со временем. Здесь и далее проверка значимости проводилась для уровня значимости $\alpha = 0,05$.

Проверка с помощью однофакторного дисперсионного анализа [3] статистической гипотезы о наличии линейной функциональной зависимости между пятью ПКГ, выделенными корреляционным анализом и временем, подтвердила ее правильность для всех пяти ПКГ (табл. 2).

Таблица 2
Результаты корреляционного и дисперсионного анализов

Обозначение параметра	Коэффициент корреляции	Коэффициент конкордации	$F_{\text{набл}}$	$F_{\text{табл}}$
$U_{\text{Вых}}^0$	0,99	0,98	186	11,55
$U_{\text{Вых}}^1$	-0,97	0,94	36,1	11,55
$I_{\text{Вх}}^1$	0,97	0,94	65,6	11,55
$I_{\text{Вх}}^1(5,6,7)$	0,998	0,995	177	11,55
$I_{\text{Вх}}^0(5,6,7)$	0,975	0,95	57,2	11,55

Следовательно, изменение данных пяти ПКГ во времени можно аппроксимировать с применением уравнения (3).

Результаты оценки коэффициентов a и b , а также их среднеквадратичных отклонений σ_a и σ_b с применением метода наименьших квадратов приведены в табл. 3.

Таблица 3
Оценки коэффициентов a и b , их среднеквадратичных отклонений σ_a и σ_b

Обозначение параметра	a	b	σ_a	σ_b
$U_{\text{Вых}}^0$	1,787	$3,3 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$
$U_{\text{Вых}}^1$	0,9386	$-1,57 \cdot 10^{-3}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$2,6 \cdot 10^{-4}$
$I_{\text{Вх}}^1$	1,212	0,178	$6,1 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$
$I_{\text{Вх}}^1(5,6,7)$	$6,187 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
$I_{\text{Вх}}^0(5,6,7)$	$4,4 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$9,2 \cdot 10^{-6}$

На рис. 1 представлены экспериментальные значения параметров $U_{\text{Вых}}^0$ и $U_{\text{Вых}}^1$, аппроксимирующие их прямые и 95%-ные доверительные интервалы.

Проверка нормальности распределений всех пяти ПКГ и гипотезы однородности их дисперсий за время испытаний показала, что все ПКГ распределены по нормальному закону и их дисперсии за время испытаний практически не изменились. Таким образом, подтверждено наличие всех предпосылок для применения изложенного выше физико-статистического подхода.

Путем экстраполяции временных зависимостей ПКГ до уровней $x_1 = x_H$ и $x_2 = x_H - 2\sigma$, где x_H — норма на ПКГ по ТУ, получены точечные (t_0) и интервальные (нижняя t_H и верхняя t_B) оценки гамма-процентного ресурса для $\gamma_1 = 50\%$ и $\gamma_2 = 95\%$ соответственно. Наглядно эта процедура

Таблица 4

Значения γ -процентного ресурса

Обозначение параметра	$\gamma_1 = 95\%$			$\gamma_2 = 50\%$		
	t_H , ч	t_0 , ч	t_B , ч	t_H , ч	t_0 , ч	t_B , ч
$U_{\text{Вых}}^1$	17	23	42	49	70	130
$U_{\text{Вых}}^0$	28	35	42	44	52	63
$I_{\text{Вх}}^1$	820	1070	1620	832	1110	1700
$I_{\text{Вх}}^1(5,6,7)$	420	510	640	550	640	800
$I_{\text{Вх}}^0(5,6,7)$	1000	1350	2140	1200	1620	2570

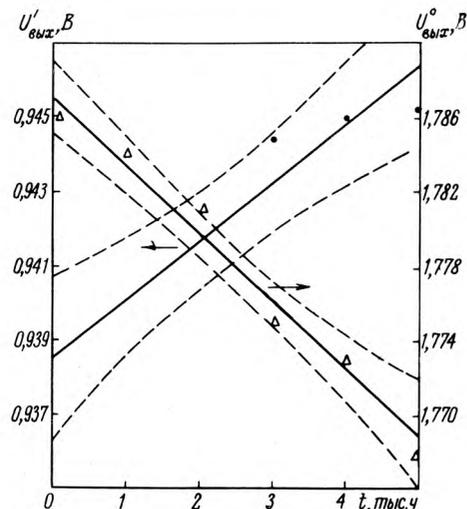


Рис. 1. Зависимость параметров $U_{\text{Вых}}^1$ и $U_{\text{Вых}}^0$ от времени

для параметров $U_{\text{ВЫХ}}^0$ и $U_{\text{ВЫХ}}^1$ представлена на рис. 2. В табл. 4 сведены данные для всех пяти ПКГ.

Из табл. 4 видно, что наиболее вероятно возникновение параметрических отказов исследуемой БИС по параметрам $U_{\text{ВЫХ}}^1$ и $U_{\text{ВЫХ}}^0$, так как для них значения γ -процентного ресурса на один-два порядка меньше, чем для остальных параметров. По формулам (4) и (5) для этих двух параметров были рассчитаны временные зависимости $p(t)$ и $\lambda(t)$ (рис. 3).

Полученные данные позволили объективно подойти к выработке требований к работам по повышению надежности исследуемого ОЗУ. В частности, для повышения нижней доверительной границы 95%-ного ресурса до 30 тыс.ч. необходимо увеличение технологического запаса по параметрам $U_{\text{ВЫХ}}^0$ и $U_{\text{ВЫХ}}^1$ на 0,007 и 0,048 В соответственно.

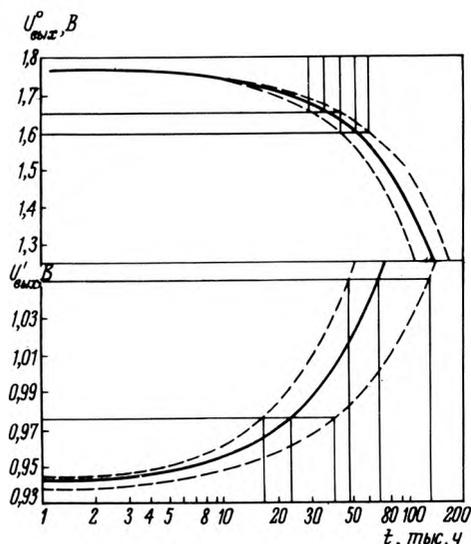


Рис. 2. Определение γ -процентного ресурса для параметров $U_{\text{ВЫХ}}^1$ и $U_{\text{ВЫХ}}^0$

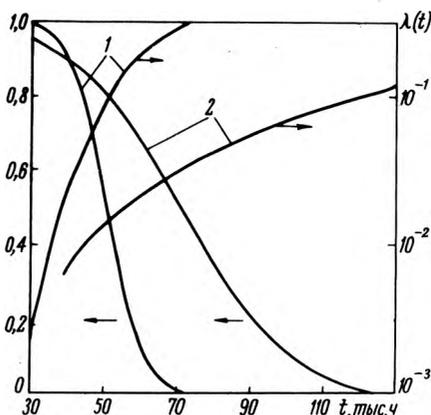


Рис. 3. Временные зависимости вероятности безотказной работы и интенсивности отказов для параметров $U_{\text{ВЫХ}}^0$ (1) и $U_{\text{ВЫХ}}^1$ (2)

Наиболее критичным для статического ОЗУ емкостью 256 бит в отношении надежности являются параметры $U_{\text{ВЫХ}}^1$ и $U_{\text{ВЫХ}}^0$, отказы по которым могут начать появляться в интервалах 17–42 и 28–42 тыс.ч соответственно.

Полученные результаты дали возможность объективно и целенаправленно разработать и осуществить мероприятия по повышению параметрической надежности исследуемого ОЗУ (повышение нижней доверительной границы 95%-ного ресурса до 30 тыс.ч).

ЛИТЕРАТУРА

1. Физические основы надежности интегральных схем. Под ред. Ю.Г. Миллера, М.: Сов. радио, 1976.
2. Егорова Л.П., Карацуба А.П., Чернышев А.А. Статистический подход к анализу надежности полупроводниковых приборов. — Электронная техника, Сер. 2, 1977, вып. 8, с. 80–87.
3. Герасимович А.И., Матвеева Я.И. Математическая статистика. Мн.: Вышэйш, школа, 1978.
4. Курцын В.П. Способ прогнозирования гамма-процентного ресурса радиодеталей. — Электронная техника, Сер. 8, 1976, вып. 7, с. 19–26.

Статья поступила 18 апреля 1980 г.

РЕКЛАМА ЭП РЕКЛАМА

НОВЫЕ КНИГИ
АНАЛОГО-ЦИФРОВЫЕ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Г. Д. Бахтиаров, В. В. Малинин, В. П. Школин

Под. ред. Г. Д. Бахтиарова— М.: Советское радио, 1981, 23 л., ил., 2000 экз.

Рассмотрены особенности проектирования аналого-цифровых преобразователей на интегральных микросхемах, приведена методика расчета их точностных характеристик и быстродействия. Изложены принципы построения и состояние элементной базы современных АЦП: цифроаналоговых преобразователей, аналоговых ключей, коммутаторов, компараторов, схем выборки и запоминания. Значительное внимание уделено оценке динамических погрешностей и методам их снижения. Обобщены данные по интегральным АЦП, а также по принципам построения преобразователей с использованием микропроцессоров.

АНАЛОГОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МИКРОСХЕМЫ

Г. С. Остапенко

М.: Энергия, 1981, 14,5 л., ил., 14000 экз.

Рассмотрены вопросы схемотехнического анализа микросхем с помощью графов. Изложены конструктивно-технологические особенности пассивных, активных простых и составных элементов полупроводниковых микросхем, отдельных каскадов и устройств. Даны схемотехнические решения аналоговых интегральных микросхем, изложена теория использования обратных связей для стабилизации параметров. Описаны операционные усилители и низкочастотные избирательные устройства.

ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

УДК 621.3 049.77:681.3

А. Р. Назарьян, В. А. Неклюдов, Ю. И. Щетинин

НАКОПИТЕЛЬ ИНФОРМАЦИИ КР555РЕ4 ЕМКОСТЬЮ 16 К ДЛЯ ГЕНЕРАТОРА СИМВОЛОВ

Полупроводниковая микросхема КР555РЕ4 построена на базе биполярного ПЗУ емкостью 16 К с организацией 2048×8 разрядов и реализует функцию накопителя для генератора 160 символов, соответствующего восьмиразрядному коду обмена информацией КОИ-8 (ГОСТ 19768-74).

Структурная схема ПЗУ приведена на рис. 1. Выборка слова осуществляется 11-разрядным кодом, подаваемым на адресные входы А0-А10. Восемь выходных усилителей стробируются трех-входовым вентилем разрешения выборки кристалла. Информация проходит на выходные клеммы

У1-У8 только при коде 110 (младший разряд В1).

Для уменьшения входных токов в адресных формирователях и вентиле разрешения выборки используются эмиттерные повторители на *p-n-p* транзисторах (рис. 2, а). Конфигурация конечных цепей выходных усилителей, выпол-

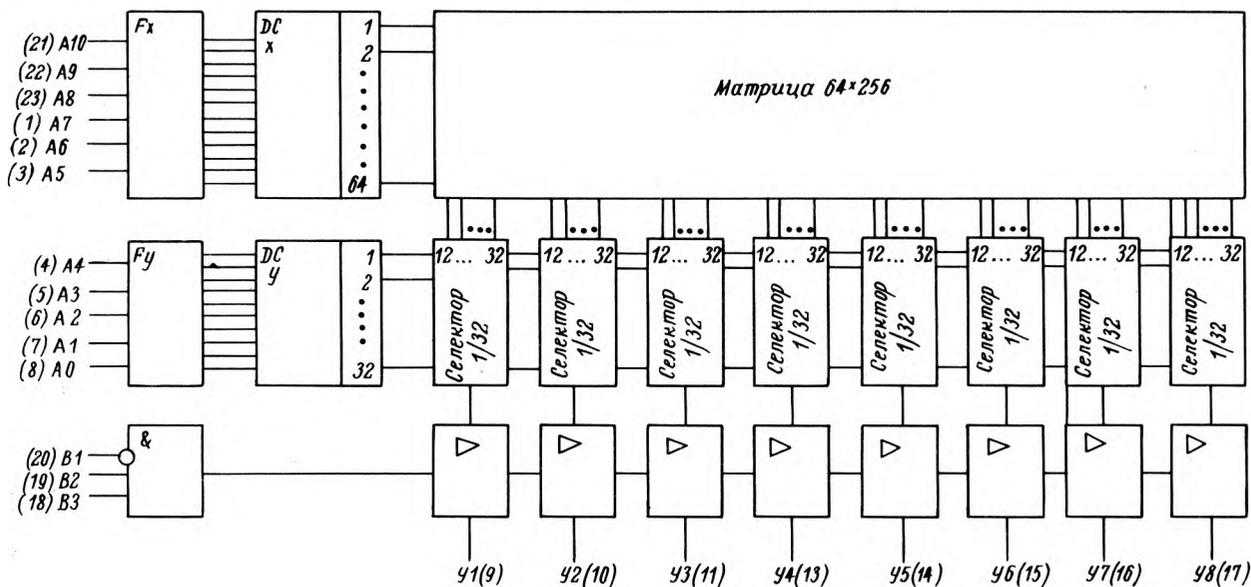


Рис. 1. Структурная схема накопителя емкостью 16 К

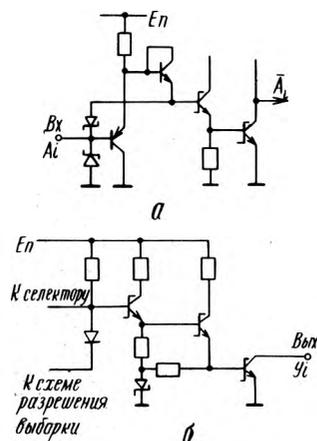


Рис. 2. Элементы входных (а) и выходных (б) цепей микросхемы КР555РЕ4

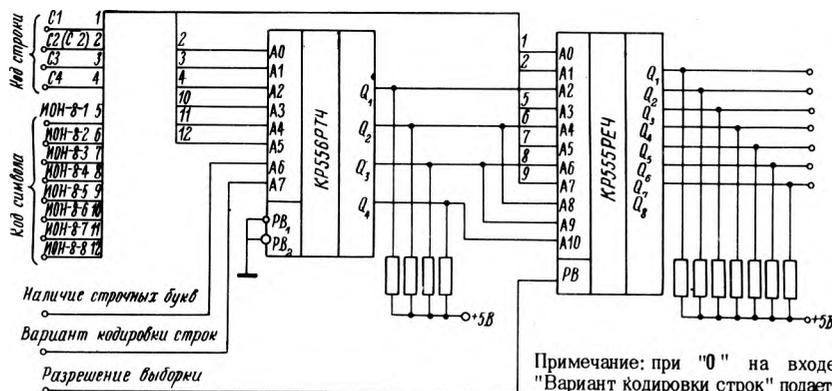


Рис. 3. Схема генератора символов

Код символа	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0 0 0 0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0 0 0 1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0 0 1 0	1	1	0	0	0	0	0	1	1
0 0 1 1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
0 1 0 0	0	1	0	0	0	0	1	1	1
0 1 0 1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0 1 1 0	1	0	0	0	0	0	1	1	1
0 1 1 1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
1 0 0 0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1 0 0 1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
1 0 1 0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
1 0 1 1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1 1 0 0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
1 1 0 1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
1 1 1 0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
1 1 1 1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

Рис. 4. Адресные коды и конфигурации символов

ненных по схеме с открытым коллектором, представлена на рис. 2, б.

Микросхема ПЗУ изготовлена по планарно-эпитаксиальной технологии быстродействующих ТТЛ схем с диодами Шоттки. Запоминающим элементом матрицы служит работающий в режиме эмиттерного повторителя *p-n-p* транзистор. Использование подложки кристалла в качестве коллекторных областей транзисторов матрицы, а также расположение в одном изолированном эпитаксиальном кармане всех транзисторов строки позволило достичь информационной плотности 1000 бит/мм².

Функционально законченная схема ПЗУ выполнена на кристалле размером 4,7 × 3,8 мм. По 64 эпитаксиальным карманам матрицы проходят 256 металлических разрядных шин, которые в зависимости от требуемой конфигурации символов избирательно подсоединяются к эмиттерам *p-n-p* транзисторов. Наличие соединения ячейки с разрядной шиной соответствует уровню логической единицы, а отсутствие связи — уровню логического нуля. Избирательная картина соединений определяется маскированием контактных окон к эмиттерным областям *p-n-p* транзисторов матрицы

Основные электрические параметры микросхемы ПЗУ КР555РЕ4

- Входной ток, мА
- логического нуля при $U_{и.п} = 5,25 \text{ В}, U_{вх} = 0,5 \text{ В} \dots \geq -0,25$
- логической единицы при $U_{и.п} = 5,25 \text{ В}, U_{вх} = 2,4 \text{ В} \dots \leq 0,025$
- Выходное напряжение логического нуля при $U_{и.п} = 4,75 \text{ В}, I_n = 10 \text{ мА}, V \dots \leq 0,5$
- Выходной ток логической единицы при $U_{и.п} = U_{вых} = 5,25 \text{ В}, I_{вх} \dots \leq 100$
- Потребляемый ток при $U_{и.п} = 5,25 \text{ В}, I_{вх} \dots \leq 170$
- Напряжение на антизвонном диоде при $U_{и.п} = 4,75 \text{ В}, I_{вх} = -18 \text{ мА}, V \dots \geq -1,5$
- Время выборки адреса при $U_{и.п} = 5 \text{ В}, C_n = 30 \text{ пФ}, t_{св} \dots \leq 110$
- Время выборки разрешения при $U_{и.п} = 5 \text{ В}, C_n = 30 \text{ пФ}, t_{св} \dots \leq 40$

Необходимость иметь для генератора символов 12 адресных входов (8 — для выборки символов и 4 — для выборки строки внутри символа) обусловила применение предварительного преобразова-

теля кодов на микросхеме КР556РТ4 (рис. 3) Возможные конфигурации реализованных символов в точечном разложении формата 7×11 представлены на рис. 4.

По входным и выходным сигналам микросхема накопителя полностью совместима с ТТЛ схемами серий К155, К131, К555, К556, К589 и выпускается в

24-выводном пластмассовом корпусе с двухрядным расположением выводов.

Статья поступила 3 марта 1980 г.

УДК 621.3.049.77:681.327.67

Н. С. Самсонов, С. Л. Хмельницкий

ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ МИКРОСХЕМЫ К170АП3 И К170АП4 ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЗУ НА МОП-ЭЛЕМЕНТАХ

Для управления полупроводниковыми ЗУ на МОП-элементах созданы микросхемы формирователей сигналов К170АП3 и К170АП4, работающие на большую емкость.

Микросхема К170АП3 представляет собой двухканальный формирователь сигналов (рис.1), управляемый сигналами ТТЛ элементов и обеспечивающий с помощью выходных транзисторов, рассчитанных на пропускание импульсного тока 1—1,5 А, формирование импульсов напряжения амплитудой до 18 В с фронтами не более 35 нс на емкостной нагрузке до 1000 пФ.

В схеме включения микросхемы К170АП3 (рис.2) управляющие сигналы от ТТЛ

микросхем поступают на входы микросхемы через разделительные конденсаторы. За время действия входного положительного импульса происходит некоторый заряд одного из конденсаторов. После окончания импульса непосредственно на входе микросхемы К170АП3 появляется напряжение, величина которого ниже уровня $U_{ин2}$. Для обеспечения работоспособности схемы разность напряжений между минимальным значением $U_{вх}^0$ и $U_{ин2}$ поддерживается на уровне, величина которого не превышает величины падения напряжения на прямосмещенном р-п переходе эмиттер-база.

На выходе микросхемы К170АП3 предусмотрена диодная защита от воздействия различных помех большей амплитуды. Микросхема предназначена для управления ЗУ на п-МОП и р-МОП элементах.

Микросхема К170АП4 представляет собой четырехканальный формирователь сигналов (рис.3) для управления ЗУ на

п-МОП элементах, согласованный по входу с элементами ТТЛ типа. Микросхема обеспечивает на емкостной нагрузке до 250 пФ формирование импульсов напряжения амплитудой до 11 В с полным временем переключения не более 38 нс.

Высокое быстродействие микросхемы К170АП4 достигается применением транзисторов с диодами Шоттки, которые ограничивают степень их насыщения. Особенностью микросхемы является введение RC-цепочки положительной обратной связи для ускорения процесса заряда емкости нагрузки 250 пФ и формирования фронта выходного напряжения при переключении схемы. На входах и выходах микросхемы предусмотрена диодная защита.

Зависимости основных электрических параметров микро-

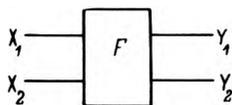


Рис. 1. Электрическая функциональная схема микросхемы К170АП3

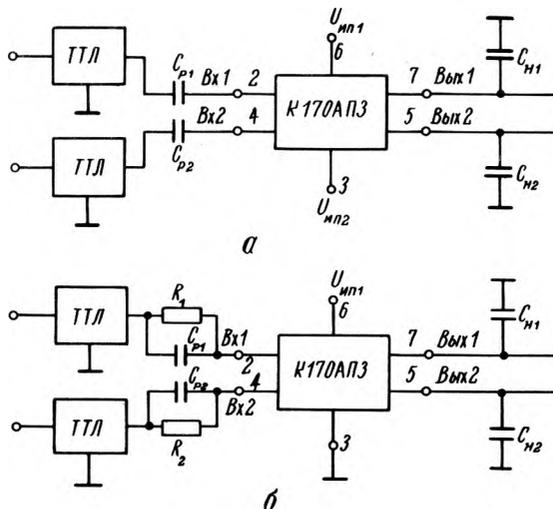


Рис. 2. Схемы включения микросхемы К170АП3

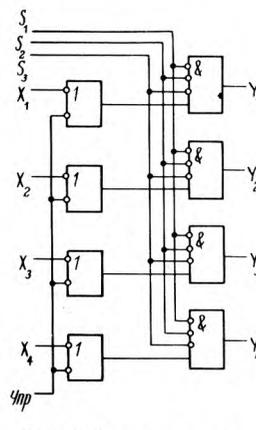


Рис. 3. Электрическая функциональная схема микросхемы К170АП4

Основные электрические характеристики микросхем К170АП3 и К170АП4

	К170АП3	К170АП4
Напряжение питания, В		
$U_{ин1}$	≤ 20	$5 \pm 5\%$
$U_{ин2}$	> -20	$12 \pm 5\%$
$(U_{ин1} - U_{ин2})$	9—20	-
Выходное напряжение, В		
$U_{вых1}$ (при напряжении лог. "1" на входах)	$\leq 0,85$	$\leq 0,45$
$U_{вых2}$ (при напряжении лог. "0" на входах)	$\geq -0,85$ (относительно $U_{ин2}$)	$\geq -0,5$ (относительно $U_{ин2}$)
Входной ток лог. "0"	$\geq -0,01$	$> -0,25$ (по входам X), $> -1,0$ (по входам S, Упр)
Входной ток лог. "1"	≤ 8	$\leq 0,1$ (по входам X), $\leq 0,04$ (по входам S, Упр)
Ток потребления, мА		
$I_{пот}^1$ (при напряжении лог. "1" на входах)	≤ 25	≤ 15 (по источнику $U_{ин2}$)
$I_{пот}^0$ (при напряжении лог. "0" на входах)	$\leq 0,1$	≤ 39 (по источнику $U_{ин1}$)
Время задержки включения (выключения), $\zeta_{зд}^1$ ($\zeta_{зд}^{**}$), нс	≤ 48 (45) при $C_n = 1000$ пФ	≤ 38 (при $C_n = 250$ пФ)

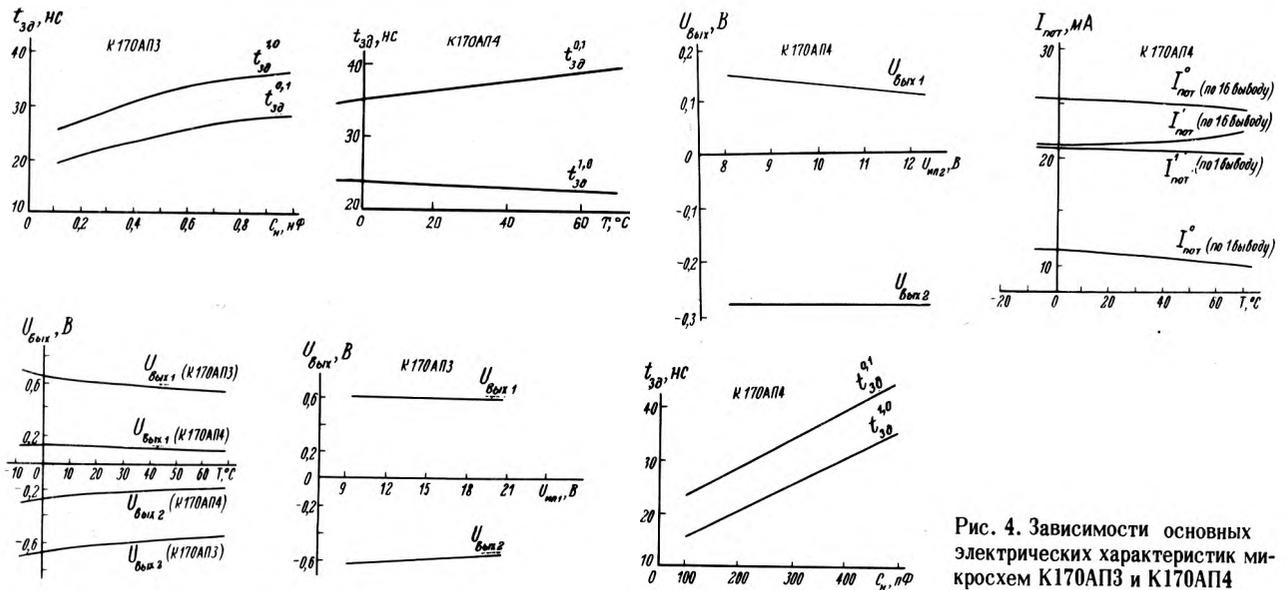


Рис. 4. Зависимости основных электрических характеристик микросхем К170АП3 и К170АП4

схем К170АП3, К170АП4 от напряжения питания, температуры и емкости нагрузки показаны на рис.4.

Микросхемы К170АП3 и К170АП4 выполнены по базовой

технологии изготовления интегральных микросхем серии К170. Кристаллы микросхемы К170АП3 герметизированы в пластмассовых корпусах 238.8-2 (8 выводов), а мик-

росхемы К170АП4 — в корпусах 238.16-2 (16 выводов). Диапазоны рабочих температур схем — от -10 до +70°С.

Статья поступила 25 января 1980 г.

УДК 621.3.049.77:681.335.2

В. Б. Абрайтис, К. Ю. Климашаускас, А.— И. К. Марцинкявичюс

ЦИФРОАНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ К594ПА1

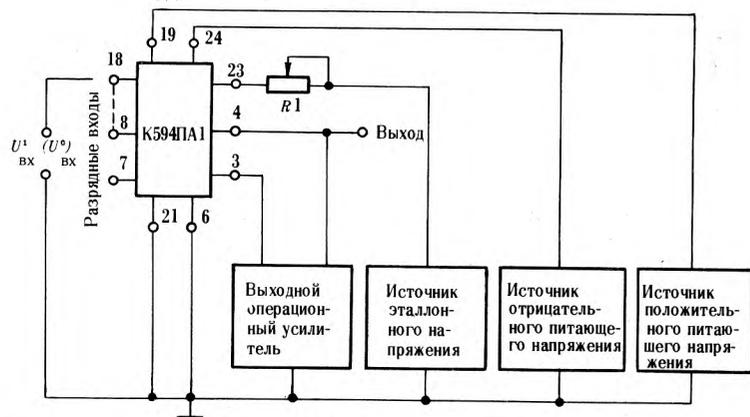
Микросхема К594ПА1 предназначена для преобразования двоичного 12-разрядного кода в аналоговый ток с погрешностью 0,012% и может применяться самостоятельно или для построения ЦАП в быстродействующих системах ввода-вывода данных, а также в устройствах вычислительной техники, автоматики, телемеханики и измерительной техники.

Основные электрические параметры при T = 25°С,
 $U_{и.п1} = 5 В, U_{и.п2} = -15 В$

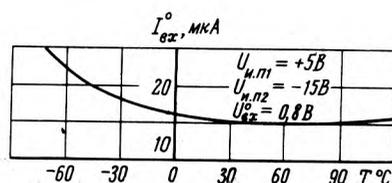
Число разрядов	12
Дифференциальная нелинейность выходного тока, %	$\pm 0,012$
Максимальный выходной ток, мА	
однополярный	$1,8 \div 2,2$
биполярный	$0,9 \div 1,1$
Ток утечки на выходе, мкА	$\leq 0,25$
Входной ток, мкА	
лог. «1»	0,25
лог. «0»	250
Ток потребления, мА	
при $U_{и.п1} = 5 В$	25
при $U_{и.п2} = -15 В$	35
Время установления выходного сигнала до уровня 0,5 от амплитудного значения, мкс	3,5

Принципиальная электрическая схема ЦАП построена на 12 коммутируемых генераторах разрядных токов, под-

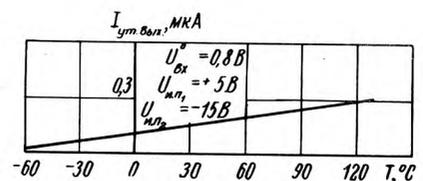
ключенных через прецизионную декодирующую резисторную матрицу взвешенного типа и масштабирующий делитель



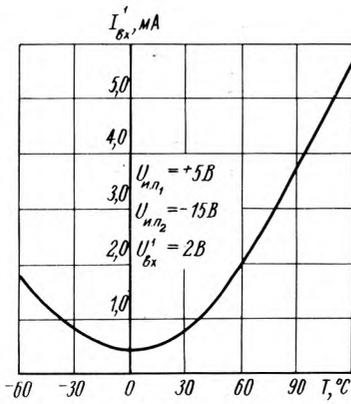
Пример включения микросхемы К594ПА1 в режиме однополярного тока от схем типа ТТЛ



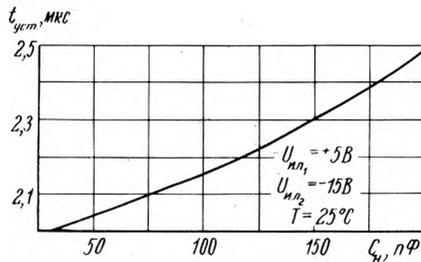
Зависимость входного тока логического нуля от температуры



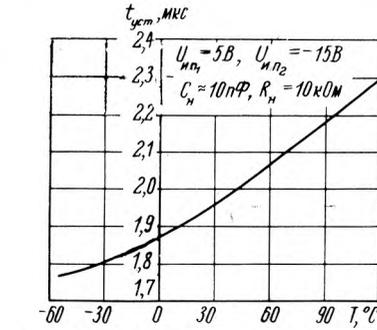
Зависимость тока утечки на выходе от температуры



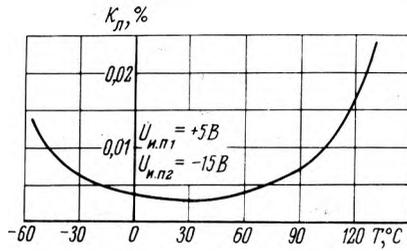
Зависимость входного тока логической единицы от температуры



Зависимость времени установления сигнала от емкости нагрузки



Зависимость времени установления сигнала от температуры



Зависимость коэффициента дифференциальной нелинейности выходного тока от температуры

тока обеспечивается наличием операционного усилителя.

Конструктивно схема выполнена на двух кремниевых кристаллах и оформлена в пла-

нарном корпусе типа 405.24-2. Кристалл разрядных токовых ключей со схемой управления и операционным усилителем изготовлен по планарно-эпитаксиальной технологии с применением обратносмещенных p-n переходов для изоляции элементов. Резисторная декодирующая матрица выполнена по тонкопленочной технологии с последующей лазерной подгонкой, что позволило обеспечить жесткие требования по точности, временной и температурной стабильности параметров.

Микросхема может работать в режимах однополярного и биполярного выходного тока от стандартных уровней сигналов микросхем типа ТТЛ и КМОП в диапазоне температур окружающей среды от -60 до +85°C. Ниже приведены основные электрические параметры, пример функциональной схемы включения и типовые характеристики ЦАП К594ПА1. Типовые характеристики показывают, что микросхема К594ПА1 отличается высокой температурной стабильностью и большой точностью параметров в широком диапазоне температур.

Статья поступила 26 марта 1980 г.

УДК 621.385

Ю. А. Квелде, Е. Ю. Кокориш, И. Э. Озолия, В. В. Фарафонов

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ К153УД5

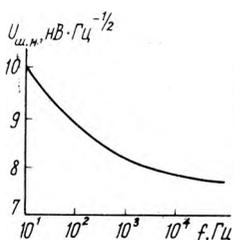
Интегральная микросхема К153УД5 предназначена для работы в прецизионных усилительных и измерительных устройствах, в активных фильтрах. Благодаря высокому входному сопротивлению и малому дрейфу разности входных токов и напряжения смещения микросхема может работать с датчиками: термопарами, фотодиодами и т.п. Прибор выпускается в металлокерамическом корпусе типа 301.8-2.

Основные электрические параметры при T = 25°C, U_{и.п} = ±15 В

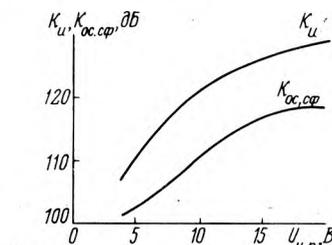
Напряжение смещения, мВ	2.5
Средний входной ток, нА	125
Разность входных токов, нА	3.5
Коэффициент усиления	25 · 10 ⁴
Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений, дБ	94
Выходное напряжение, В	±10
Ток потребления, мА	5

Предельно допустимые электрические режимы в диапазоне температур от -10 до +70°C

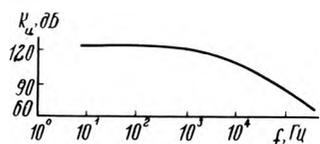
Напряжение источников питания, В	от ±5 до ±16.5
Входное напряжение, В	от -5 до +5
Синфазные входные напряжения, В	от -13.5 до +13.5
Сопротивление нагрузки, кОм	не менее 2



Типовая зависимость нормированного напряжения шума от частоты



Типовая зависимость коэффициента усиления напряжения и коэффициента ослабления синфазных входных напряжений от напряжения питания



Типовая зависимость коэффициента усиления большого сигнала от частоты

Статья поступила 22 мая 1980 г.

УДК 621.3.049.75

О. В. Сучков

КОМПЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В последние годы получили широкое распространение технологические печатные платы, позволяющие сократить цикл "разработка—производство" радиоэлектронной аппаратуры. Использование комплекта технологических печатных плат позволяет ускорить следующие этапы цикла: монтаж радиоэлектронных узлов, так как платы комплекта универсальны и рассчитаны на реализацию на них различных электронных схем; регулирование узлов аппаратуры, так как платы допускают многократные перепайки и ввод новых элементов и в 5–6 раз сокращается этап разработки и изготовления конструкторской документации. В ячейки платы устанавливаются навесные элементы: микросхемы, резисторы, транзисторы, конденсаторы. Контакт между элементами осуществляется монтажными перемычками, закрепляемыми методом пайки. Технологические печатные платы выполняются из фольгированного стеклотекстолита марки СФ-2-35-15.

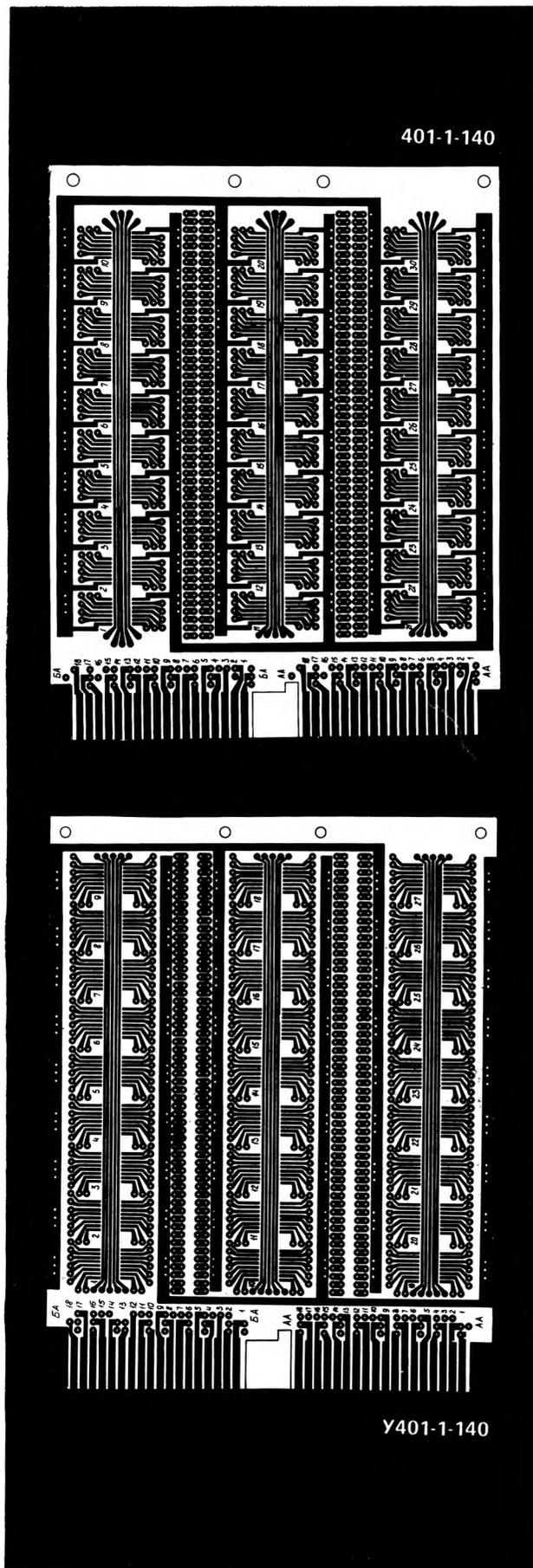
На платах имеются: ячейки для микросхем, транзисторов типа КТ315, КТ801, резисторов типа МЛТ-0,5, конденсаторов типа КЛС; проводящие шины, позволяющие улучшить качество монтажа.

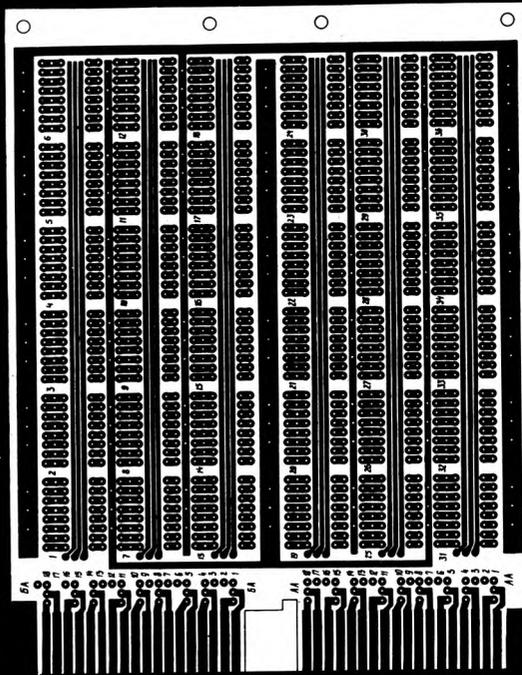
На платах комплекта пронумерованы ячейки для микросхем, а также контактные площадки плат в соответствии с типом используемого разъема.

Комплект состоит из 25 разновидностей технологических печатных плат: 8 плат выполнены под разъем РГ1Н-3-6 и 17 — под разъем РППМ16-288.

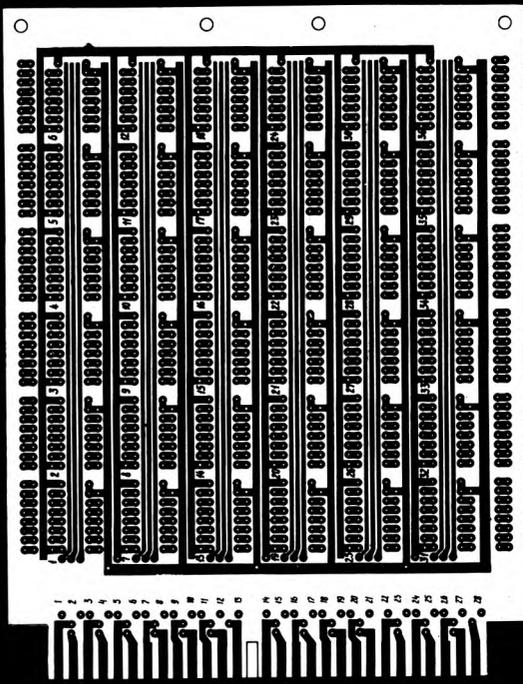
Платы комплекта отличаются топологией, типоразмером, типом используемого разъема.

Комплект плат спроектирован с учетом широко применяемых схемотехнических решений и комбинаций элементов. Отверстия на платах комплекта металлизированы.

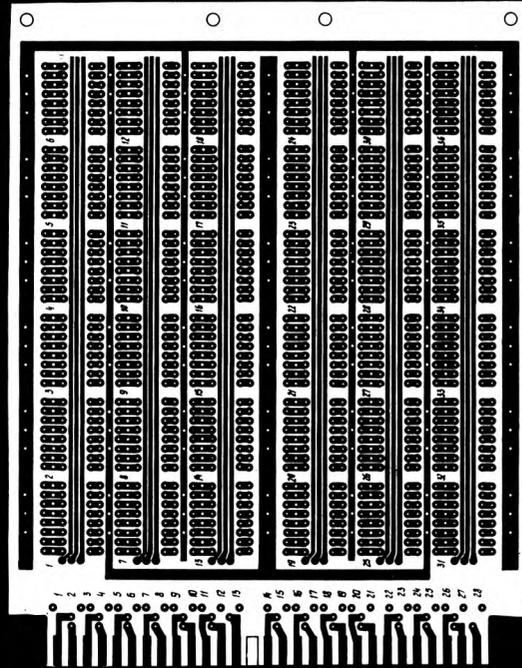




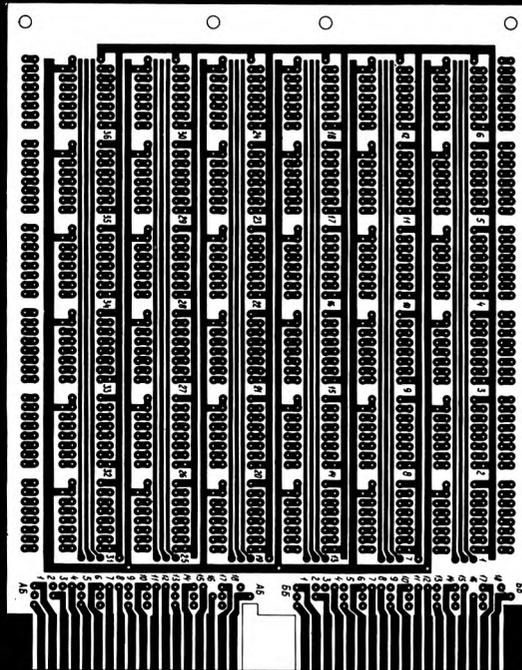
Y201-1-140



201-2-140

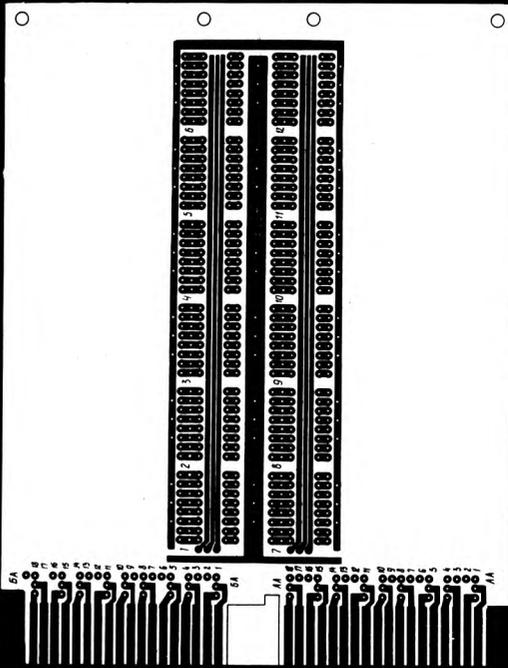


Y201-2-140

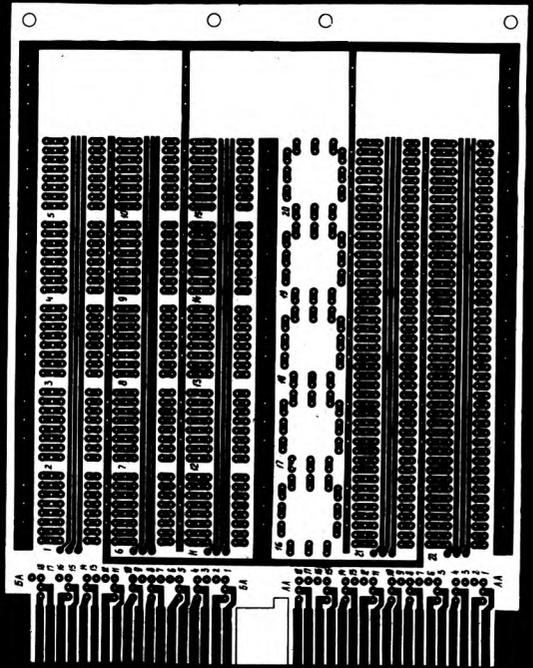
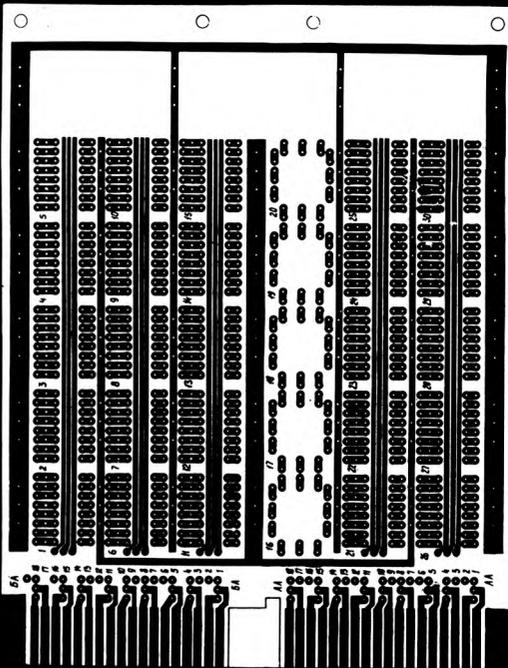
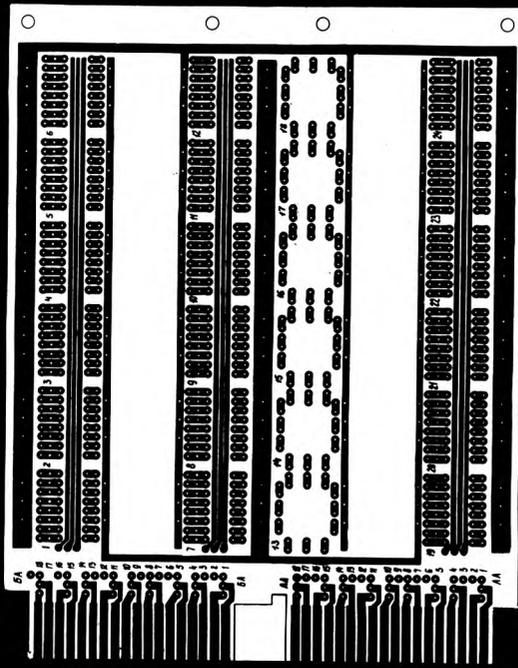


201-1-140

ПК1-140



ПК2-140

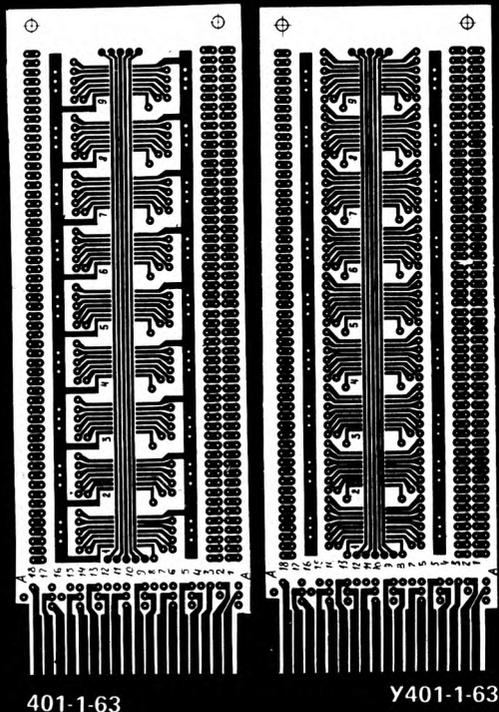


ПК3-140

ПК4-140

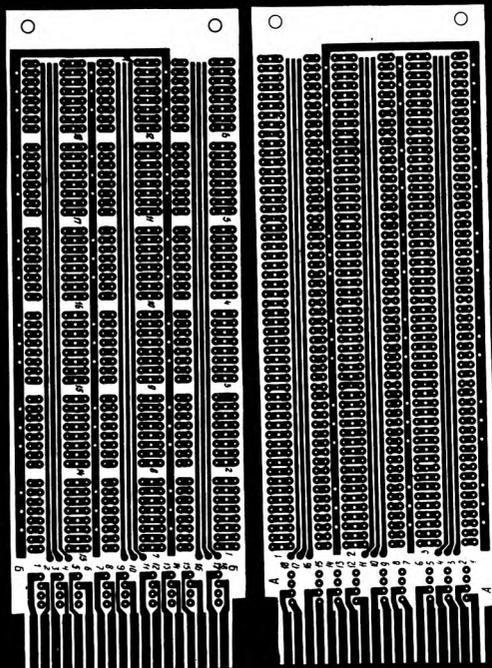


плата 201-1-63



401-1-63

Y401-1-63



Y201-1-63

ПК5-1-63

Состав комплекта

1. Набор технологических печатных плат для монтажа микросхем в корпусах типа 151.14-2, 151.15-2, 151.15-3, 151.15-4, 201.14-2, 201.14-7, 201.14-8, 201.14-9, 201.16-1, 201.16-2, 201.16-5, 201.16-6, 238.16-1, 238.16-2. Ячейки не подключены к шинам питания, что позволяет размещать в них микросхемы с различной распайкой по питанию, а также такие навесные элементы, как резисторы типа МЛТ-0,5, транзисторы типа КТ315, КТ801, конденсаторы типа КЛС, реле типов РЭС-15, РЭС-42, РЭС-43, РЭС-47.

2. Набор технологических печатных плат для размещения микросхем в корпусах типа 401.14-3, 401.14-4, 402.16-1, 402.16-2, 402.16-3.

3. Набор технологических печатных плат для размещения микросхем серии К133. Ячейки для микросхем подключены к шинам питания.

4. Набор технологических печатных плат для размещения микросхем серии К155. Ячейки для микросхем подключены к шинам питания.

5. Платы технологические комбинированные:

— ПК1-1-140 и ПК1-2-140 имеют 12 ячеек для микросхем в корпусах типа 201.14-2, 201.16-5, 238.16-1. Два больших свободных поля предназначены для размещения крупногабаритных навесных элементов: транзисторов типа КТ805, реле типа РЭС-22 и других элементов.

— ПК2-1-140 и ПК2-2-140 имеют 18 ячеек для микросхем в корпусах типа 201.14-2, 201.16-5, 238.16-1 и 6 ячеек для микросхем в корпусе типа ТО-5. Два свободных поля на платах предназначены для размещения навесных элементов: реле типа РЭС-15, переменных резисторов и других элементов.

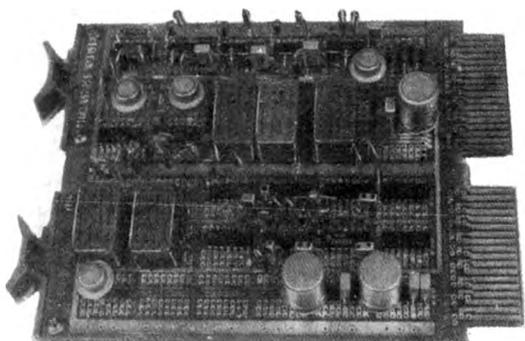
— ПК3-1-140 и ПК3-2-140 имеют 25 ячеек для микросхем в корпусах типа 201.14-2, 201.16-5, 238.16-1 и 5 ячеек для микросхем в корпусе типа ТО-5. Три свободных поля предназначены для размещения крупногабаритных навесных элементов.

— ПК4-1-140 и ПК4-2-140 в отличие от плат ПК3 предназначены и для расположения на них БИС с числом выводов более 16.

— ПК5-1-63 предназначена для размещения БИС, а также может быть использована и для размещения реле типов РЭС-15, РЭС-42, РЭС-43, РЭС-47, транзисторов типа КТ315, КТ801, резисторов типа МЛТ 0,5, конденсаторов типа КЛС.

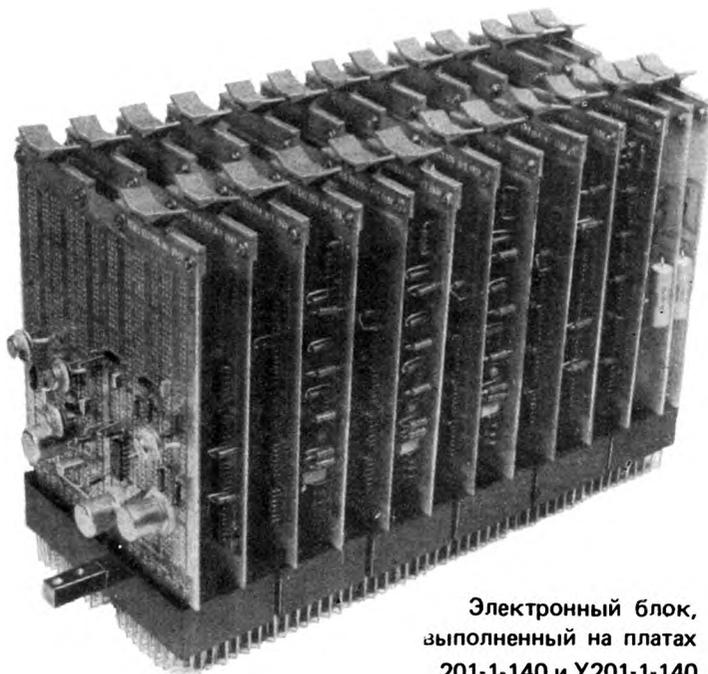
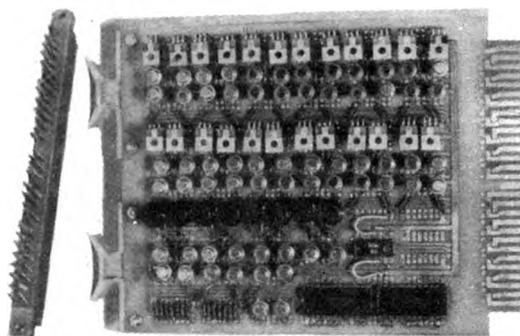
Допускается механическая доработка свободных участков плат типа ПК1... ПК4 в процессе изготовления электронного узла.

Комбинированные печатные платы ПК1... ПК4 имеют типоразмер 140x180x1,5 мм под два вида разъема — РППМ16-288 и РГ1Н-3-6, а платы ПК5-1-63 — 63x180x1,5 мм.



Электронный узел на технологической печатной плате У201-1-140

Электронный узел на технологической печатной плате 201-2-140



Электронный блок, выполненный на платах 201-1-140 и У201-1-140

Разработчик конструкторской документации из имеющегося ассортимента технологических печатных плат может выбрать наиболее оптимальные с точки зрения монтажа и регулирования радиоэлектронного узла.

Комплект технологических печатных плат удостоен золотой медали ВДНХ СССР.

Технические характеристики технологических печатных плат

Номер набора плат	Тип платы	Число ячеек		Число проводящих шин	Тип используемого разъема	Габариты, мм	Масса, кг
		для микросхем	для резисторов, транзисторов				
1	У201-1-63	18	10	18	РППМ16-288	63x180x1,5	0,05
	У201-1-140	36	20	36	РППМ16-288	140x180x1,5	0,1
	У201-2-140	36	20	36	РГ1Н-3-6	140x180x1,5	0,1
	У201-1-280	78	40	78	РППМ16-288	280x180x1,5	0,2
2	У401-1-63	9	20	10	РППМ16-288	63x180x1,5	0,05
	У401-1-140	27	40	30	РППМ16-288	140x180x1,5	0,1
	У401-2-140	27	40	30	РГ1Н-3-6	140x180x1,5	0,1
	У401-1-280	63	70	70	РППМ16-288	280x180x1,5	0,2
3	401-1-63	9	20	10	РППМ16-288	63x180x1,5	0,05
	401-1-140	30	40	30	РППМ16-288	140x180x1,5	0,1
	401-2-140	30	40	30	РГ1Н-3-6	140x180x1,5	0,1
	401-1-280	63	60	70	РППМ16-288	280x180x1,5	0,2
4	201-1-63	18	10	8	РППМ16-288	63x180x1,5	0,05
	201-1-140	36	20	36	РППМ16-288	140x180x1,5	0,1
	201-2-140	36	20	36	РГ1Н-3-6	140x180x1,5	0,1
	201-1-280	78	30	78	РППМ16-288	280x180x1,5	0,2

Статья
поступила
23 июня
1980 г.

УДК 621.316.543:621.382.3

В. В. Бачурин, В. П. Дьяконов, А. М. Ремнев

СИЛЬНОТОЧНЫЕ НЕНАСЫЩЕННЫЕ КЛЮЧИ НА СОСТАВНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

В импульсных регуляторах и стабилизаторах напряжения, генераторах для запуска лазерных диодов и во многих других радиоэлектронных устройствах используются сильноточные ключевые приборы с малой мощностью управления и малыми временами переключения.

Достоинства биполярных и мощных МДП-транзисторов [1-5] удачно сочетаются в составном транзисторе (см. таблицу), у которого мощный МДП-транзистор используется для управления мощным биполярным транзистором (рис. 1).

Таким образом открывается возможность управления ими непосредственно с выхода ТТЛ и КМДП микросхем, интегральных компараторов напряжения и операционных усилителей.

Выходная ВАХ составного транзистора (при $U_y \gg U_{бэ}$) определяется выражением

$$U(I) = U_{бэ}(I_б) + U_{си}(U_з, I_c),$$

где $I_б = I_c = I / (B + 1)$.

Поскольку в цепи стока МДП-транзистора протекает ток, в

шается также примерно в $(B + 1)$ раз, достигая значения $U_{мдп.ост} = I_c R_{си.откр} \approx I_c / S_0 = I(B + 1) S_0$, где $R_{си.откр} \approx 1 / S_0$. Следовательно, остаточное напряжение составного транзистора

$$U_{ост}(I) \approx U_{бэ}(I_б) + I / (B + 1) S_0.$$

С увеличением S_0 остаточное напряжение уменьшается, что и обуславливает целесообразность применения мощных МДП-транзисторов не для увеличения рассеиваемой ими мощности, а для увеличения S_0 .

Остаточное напряжение несколько выше $U_{бэ}(I_б)$, т.е. коллекторный переход включенного биполярного транзистора остается обратнорасположенным, что и устраняет насыщение ключа на составном транзисторе при больших управляющих напряжениях U_y . Из выходных ВАХ (рис. 2) видно, что при больших выходных токах составной транзистор по остаточному напряжению намного превосходит мощный МДП-транзистор и лишь незначительно уступает мощному биполярному транзистору.

Схема сильноточного ненасыщенного ключа на составном транзисторе (рис. 3) позволяет коммутировать токи до 5-10 А

Наименование параметра	Сравнительные характеристики ключей		
	на биполярном транзисторе (КТ908)	на МДП-транзисторе (КП901)	на составном транзисторе (КП901 и КТ908)
Переключаемый ток $I_{вкл}$, А	10	2	10
Остаточное напряжение $U_{ост}$, В	1	18	2
Управляющее напряжение U_y , В	1-2	20	4-6
Управляющий ток I_y , А	2	0	0
Время включения $t_{вкл}$, нс	50	5-7	50
Время задержки выключения t_p , нс	200-500	0	0
Время выключения $t_{выкл}$, нс	250	10	150
Согласование с выходом интегральных микросхем	Отсутствует	Удовлетворительное	Хорошее
Крутизна фронта di/dt , А/мкс	200	400-300	200

Мощный составной транзистор имеет высокое входное сопротивление. Его крутизна $S = (B + 1) S_0$, где S_0 - крутизна МДП-транзистора; B - коэффициент передачи тока базы биполярного транзистора. При $B \approx 20$ и $S_0 \geq 0,1$ А/В значения $S > 2$ А/В. В этом случае резко снижается управляющее напряжение в ключевых схемах и

$(B + 1)$ раз меньше, чем общий выходной ток I , то остаточное напряжение на МДП-транзисторе во включенном состоянии умень-

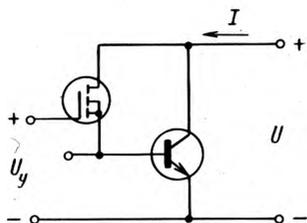


Рис. 1. Схема составного транзистора

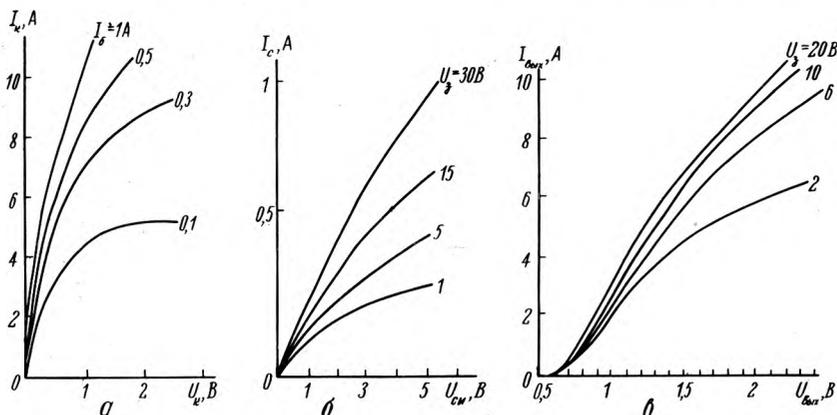


Рис. 2. Выходные характеристики биполярного ключевого транзистора КТ908 (а), МДП-транзистора КП901 (б) и составного транзистора (в)

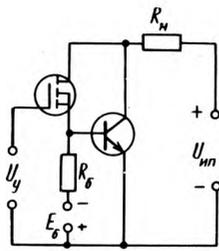


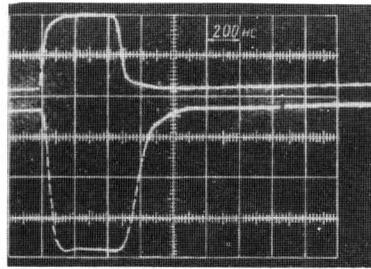
Рис. 3. Схема ключа на составном транзисторе

при управляющем напряжении 3–6 В. Резистор $R_б$ и источник $E_б$ включается для уменьшения времени выключения ключа. При $R_б = \infty$ выключение происходит с постоянной времени $\tau_б$ биполярного транзистора и $t_{\text{выкл}} \approx 2,2 \tau_б$. При конечной величине $R_б$ выключение ускоряется обратным током базы

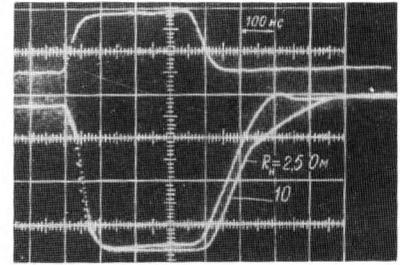
$$I_{б, \text{выкл}} = (|E_б| + U_{эб}) / R_б.$$

При $I_{б, \text{выкл}} = (0,1-0,2)$ А остаточное напряжение ключа незначительно возрастает, однако резко уменьшается время выключения (до 100–150 нс при $I = I_{\text{вкл}} = 10$ А). Уменьшая значение $R_б$, можно получить нужные значения $I_{б, \text{выкл}}$ и при $|E_б| = 0$. Время включения при этом достигает $\approx (40-50)$ нс при $U_y = 6$ В;

На рис. 4, а приведена осциллограмма входного импульса (верхняя кривая) и выходного импульса ключа при переключении тока $I = I_{\text{вкл}} = 10$ А. Из осциллограмм видно,

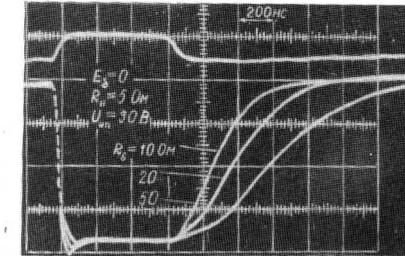


а



б

Рис. 4. Осциллограммы входных импульсов (верхние кривые) и выходных импульсов (нижние кривые), формируемых ключевой схемой на основе составного транзистора



в

что сразу же после прекращения входного импульса ключ выключается. Осциллограммы, приведенные на рис. 4, б, иллюстрируют работу ненасыщенного ключа при разных значениях R_n , а осциллограмма рис. 4, в — при разных значениях $R_б$.

Таким образом, применение в составном транзисторе серийных мощных МДП-транзисторов и биполярных позволяет строить ненасыщенные ключи на токи порядка 10 А и выше с малыми остаточными напряжениями и высоким быстродействием. Учитывая различные сферы применения таких приборов в преобразовательной и импульсной технике, целесообразна разработка их в виде гибридных или монолитных приборов, заключенных в общий корпус. Такие приборы имеют оптимальное сочетание больших рабочих токов с

малыми остаточными напряжениями и высоким быстродействием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моин В. С., Лаптев Н.Н. Стабилизированные транзисторные преобразователи. — М.: Энергия, 1972. — 511 с.
2. Коссов О. А. Усилители мощности на транзисторах в режиме переключения. — М.: Энергия, 1971. — 432 с.
3. Бачурин В. В., Дьяконов В.П., Сопов О. В. Мощные высокочастотные и сверхвысокочастотные МДП-транзисторы. — Электронная промышленность, 1979, вып. 5, с.5.
4. Мощные ВЧ и СВЧ МДП-транзисторы — импульсные приборы наносекундного диапазона / Сопов О.В., Бачурин В.В., Дьяконов В.П. и др. — Электронная техника, Сер.2. Полупроводниковые приборы, 1978, вып. 5–6, с. 103.
5. Бачурин В. В., Дьяконов В.П. Наносекундные сильноточные и высокочастотные ключи на мощных МДП-транзисторах — Приборы и техника эксперимента, 1979, № 5, с. 134.

Статья поступила 29 февраля 1980 г.

УДК 621.385.6

Ю. Р. Носов, В. Н. Степанова, Ю. П. Хазанкин, Л. Е. Эпштейн

ПРИМЕНЕНИЕ ОПТРОНОВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Одной из важнейших и сложнейших проблем оптронной техники является создание гальванически развязанных элементов связи, пригодных для передачи аналоговых сигналов. Для решения этой задачи применяется принцип импульсно-кодовой модуляции, т.е. преобразование аналогового сигнала в последовательность импульсов, не имеющих ограничений с точки зрения

достижения высокой точности передачи, но для технической реализации которого необходимы быстродействующие элементы. Разработанные в настоящее время бескорпусные оптопары АОД120А [1] и оптоэлектронные переключатели К249ЛПЗА—К249ЛПЗВ [2] способны передавать цифровую информацию со скоростью до 10–30 Мбит/с.

Другой возможный способ передачи аналоговой информации базируется на использовании линейности передаточной характеристики диодной оптопары (из всех известных типов оптронов наилучшей линейностью обладают диодные [3]). Статистическое исследование диодных оптопар типа АОД101 показало:

— коэффициент передачи тока K_i всей совокупности

приборов колеблется от 1,2 до 4,1%;

— передаточная характеристика для каждого конкретного образца оптопары имеет линейную область, соответствующую динамическому диапазону $\Delta I_{\text{вх}} = 10 \div 20$ мА и имеет типичное значение 15—17 мА;

— середина линейного участка у большинства приборов близка к $I_{\text{вх}0} \approx 10$ мА (при этом токе измеряется значение K_i) и колеблется от 7 до 13 мА.

Полученные результаты относятся к комнатной температуре, так как увеличение температуры снижает по линейному закону величину K_i , при-

$$\text{чем } \frac{1}{K_i} \cdot \frac{dK_i}{dT} = -(0,3-0,7)\% \text{ град}^{-1}$$

и возрастает нелинейность характеристики.

Следовательно, с помощью оптопары АОД101 при жесткой термостабилизации можно спроектировать схему передачи аналогового сигнала с нелинейностью $\leq 2\%$, но дальнейшее повышение линейности передачи сигнала связано с резким сужением рабочего диапазона входных токов оптопары. Также следует отметить, что деградация излучателей в оптопаре приводит к снижению K_i . Так, для жестких режимов работы (большое значение $I_{\text{вх}}$ и высокая температура) за время 15 тыс.ч снижение K_i оптопары может составить 10—20% от своего первоначального значения.

Таким образом, значительный разброс параметров от образца к образцу, существенная температурная и временная нестабильность параметров резко осложняют задачу неискаженной передачи аналоговой информации на основе использования линейности передаточной характеристики оптопары.

Значительно лучших результатов удается достигнуть на основе принципа схемотехнической компенсации, которая состоит в том, что в устройстве используются две однотипные диодные оптопары, одна из которых служит для передачи аналогового сигнала по гальванически развязанной цепи, а другая — для организации обратной связи,

компенсирующей нелинейность передаточной характеристики первой оптопары и ее температурную нестабильность [4]. На основу этого принципа с использованием специально подобранных оптронных пар АОД101 удается создавать устройства связи с нелинейностью на уровне 10%, что согласуется с данными работы [3]. Однако из-за различий деградационных свойств оптопар при длительной работе нелинейность передаточной функции может значительно возрасти, иногда до 10—20%.

Основной путь создания устройства связи для непосредственной передачи аналоговой информации по гальванически развязанной цепи связан с использованием дифференциальной оптопары [5]. Разработанный дифференциальный диодный оптрон содержит один излучатель и два фотодиода, образующих основную оптопару, служащую для передачи сигнала, и вспомогательную, используемую для компенсации по цепи обратной связи. Технология изготовления такого прибора базируется на использовании одинаковых кристаллов *p-i-n* фотодиодов. При сборке обеспечивается высокая степень подобию передаточных характеристик основной и вспомогательной оптопар. Нелинейность ватт-амперной характеристики, температурная и временная нестабильность, свойственные излучателю, в одинаковой степени сказываются на обоих фотоприемниках и не вызывают их рассогласования. Одинаковыми оказываются и динамические параметры обоих каналов. Основным параметром дифференциальной оптопары является коэффициент неидентичности

$$\delta = \left[1 - \frac{I_{oi}/I_{ei}}{I_{o0}/I_{e0}} \right] 100\%,$$

где I_{oi} , I_{ei} — выходные токи основной и вспомогательной оптопар в любой *i*-точке диапазона входных токов (практически наибольшие значения δ наблюдаются при $i = \max$ и $i = \min$); I_{o0} , I_{e0} — соответствующие выходные токи в выбранной рабочей точке, обычно соответствующей середине рабочего участка.

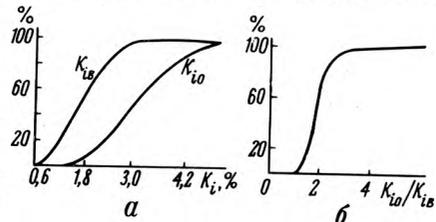
Физический смысл этого параметра — степень постоянства отношения выходных то-

ков основной и вспомогательной оптопар, т.е. подобие их передаточных характеристик.

Исследования показали, что для всех образцов выполняется условие $\delta \leq 2,0\%$, причем для большей половины образцов $\delta \leq 0,8\%$ (измерения проводились в диапазоне входных токов 4—20 мА).

При использовании дифференциальных оптопар важной характеристикой является разброс значений коэффициентов передачи по току основной и вспомогательной оптопар. Для исследуемого прибора значения K_i вспомогательной оптопары лежат в интервале 0,8—3,6%, для основной оптопары этот интервал равен 1,4—4,8% (см. рис. а), а максимальное значение отношения коэффициентов передачи по току достигает 5 (см. рис. б), что вполне приемлемо.

Выбранная конструкция оптопары обеспечивает сопротивление гальванической развязки $10^{10} - 10^{11}$ Ом на уровне 1 кВ.



Распределение дифференциальных оптопар по коэффициентам передачи по току K_{i0} и K_{iB} (а) и по отношению K_{i0}/K_{iB} (б)

Использование разработанных дифференциальных оптопар позволило изготовить устройства передачи аналоговых сигналов амплитудой до ± 10 В с нелинейностью, не превышающей 0,1—0,2%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов Ю. Р. Новые оптроны и оптоэлектронные схемы. — Электронная промышленность, 1979, вып. 10, с. 39—41.
2. Горовой В. В., Носов Ю. Р., Степанова В. Н., Хазанкин Ю. П. Быстродействующий оптоэлектронный переключатель. — Электронная промышленность, 1980, вып. 1, с. 46—47.
3. Ольшевский. Дифференциальный оптрон — средство повышения линейности и стабильности. — Электроника, Пер. журн. США "Electronics", 1978, № 2, с. 48—54.
4. Ходапп. Применение оптронов в линейных схемах. — Электроника, Пер. журн. США "Electronics", 1976, № 5, с. 33—40.
5. Ольшевский. Применение оптической связи в развязывающих усилителях. — Электроника, Пер. журн. США "Electronics", 1976, № 17, с. 22—32.

Статья поступила 19 марта 1980 г.

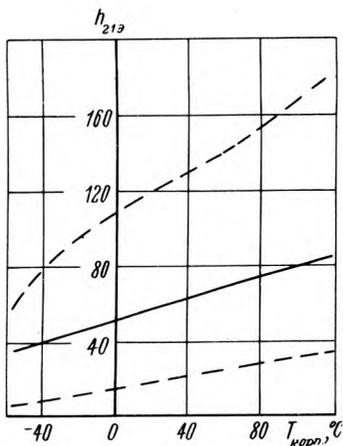
УДК 621.382.3:546.28

В. М. Сальников, В. И. Фирсов

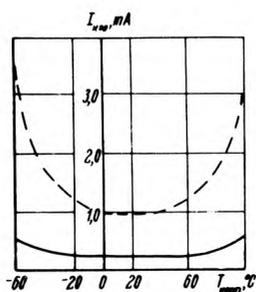
Предельно допустимые режимы эксплуатации транзистора в диапазоне температур от -45 до $+100^\circ\text{C}$

МОЩНЫЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ КРЕМНИЕВЫЙ ТРАНЗИСТОР КТ826

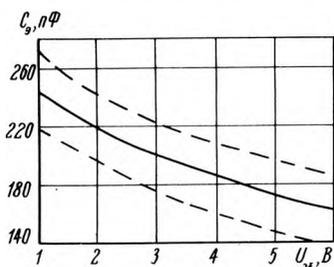
Мощный высоковольтный кремниевый $n-p-n$ транзистор КТ826А, Б, В, изготовленный по меза-планарной технологии, предназначен для работы в схемах преобразователей постоянного напряжения, высоковольтных стабилизаторах, ключевых и других схемах аппаратуры широкого применения.



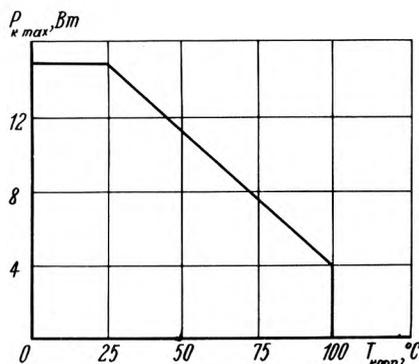
Зависимость коэффициента передачи тока от температуры корпуса



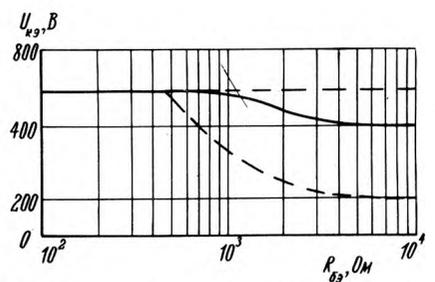
Зависимость обратного тока коллектора от температуры корпуса



Зависимость емкости эмиттера от напряжения эмиттер-база



Зависимость максимально допустимой постоянной рассеиваемой мощности коллектора от температуры корпуса

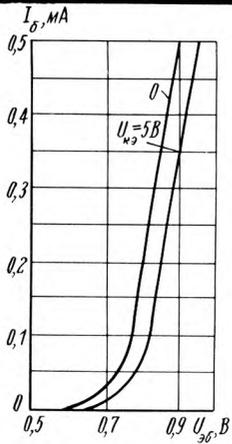


Зависимость напряжения коллектор-эмиттер от сопротивления в цепи эмиттер-база

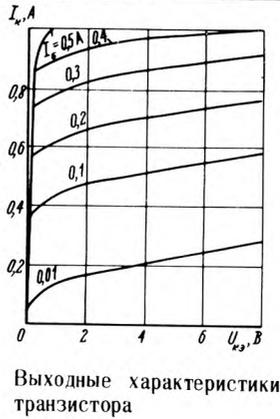
Наименование параметра	Значение параметра		
	КТ826А	КТ826Б	КТ826В
Постоянное напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ\text{ max}}$ ($R_{эб} = 10\text{ Ом}$), В	700	700	700
Импульсное напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэи\text{ max}}$, В	700	1000	700
Постоянный ток коллектора $I_{к\text{ max}}$, А	1	1	1
Импульсный ток коллектора $I_{ки\text{ max}}$, А	1	1	1
Постоянный ток базы $I_{б\text{ max}}$, А	0,75	0,75	0,75
Импульсный ток базы $I_{би\text{ max}}$, А	0,75	0,75	0,75
Мощность рассеяния на коллекторе $P_{к\text{ max}}$ ($T_{корп} = 25^\circ\text{C}$), Вт	15	15	15
Температура перехода $T_{пер\text{ max}}$, $^\circ\text{C}$	125	125	125

Основные электрические параметры при $T_{корп} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$

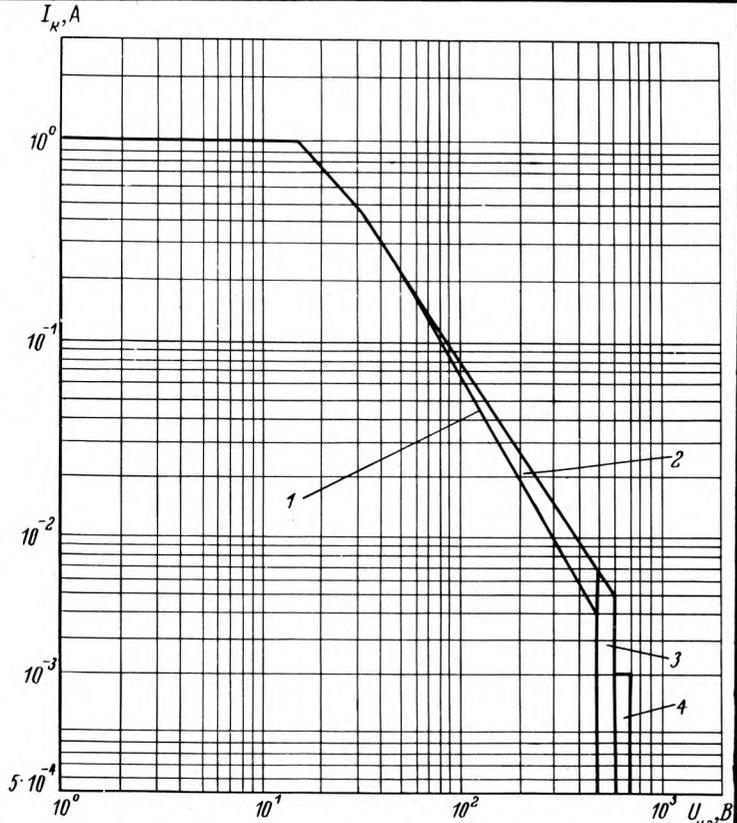
Наименование параметра	Значение параметра			Режим измерения
	КТ826А	КТ826Б	КТ826В	
Обратный ток коллектора $I_{кз0}$, мА	≤ 2	≤ 2	≤ 2	$U_{кэ} = 700\text{ В}$ $R_{эб} = 10\text{ Ом}$
Обратный ток эмиттера $I_{эб0}$, мА	≤ 3	≤ 3	≤ 3	$U_{эб} = 5\text{ В}$
Статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$	10–120	10–120	10–120	$U_{к} = 10\text{ В}$ $I_{к} = 0,1\text{ А}$
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер $U_{кэ\text{ нас}}$, В	$\leq 2,5$	$\leq 2,5$	$\leq 2,5$	$I_{к} = 0,5\text{ А}$ $I_{б} = 0,2\text{ А}$
Напряжение насыщения база-эмиттер $U_{бэ\text{ нас}}$, В	≤ 2	≤ 2	≤ 2	$I_{к} = 0,5\text{ А}$ $I_{б} = 0,2\text{ А}$
Граничное напряжение $U_{кэ0\text{ гр}}$, В	≥ 500	≥ 500	≥ 500	$I_{к} = 0,1\text{ А}$ $r_{и} = 160\text{ мкс}$
Время спада $\tau_{сп}$, мкс	$\leq 1,5$	$\leq 0,7$		$Q > 10$ $I_{к} = 0,5\text{ А}$ $I_{б1} = 0,2\text{ А}$ $I_{б2} = 0,5\text{ А}$ $U_{кэ} = 500\text{ В}$ $R_{эб} = 10\text{ Ом}$
Модуль коэффициента передачи тока $ h_{21э} $	≥ 4	≥ 4	≥ 6	$I_{к} = 0,1\text{ А}$ $U_{кэ} = 15\text{ В}$ $f = 1\text{ МГц}$



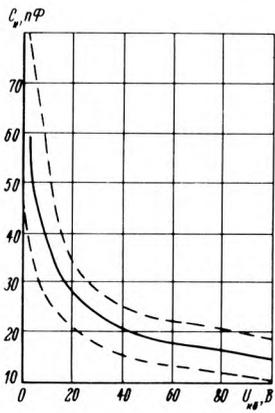
Входные характеристики транзистора



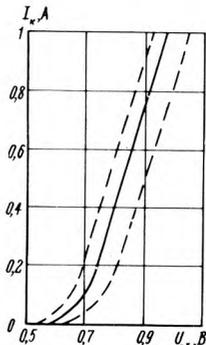
Выходные характеристики транзистора



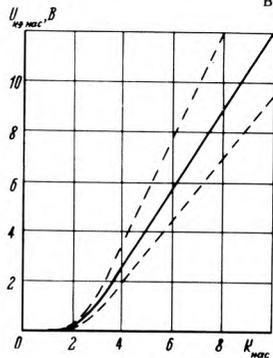
Область максимальных режимов работы транзистора: 1 – для транзистора типа КТ826В; 2 – дополнительная область для транзистора типа КТ826А; 3 – дополнительная область для транзистора типа КТ826Б; 4 – дополнительная область при воздействии импульсов напряжения с $dU/dt \leq 3,5$ В/нс (для всех типов транзисторов)



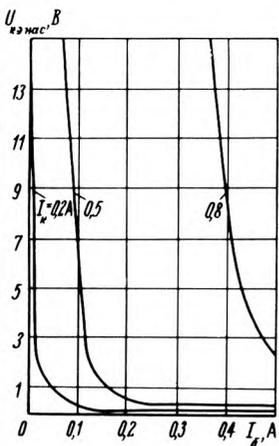
Зависимость емкости коллектора от напряжения коллектор-база



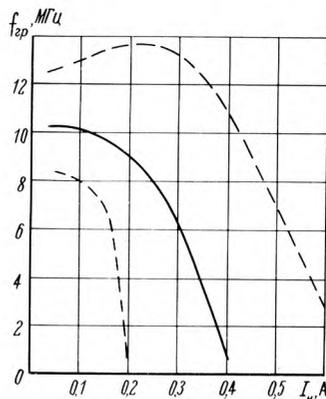
Зависимость тока коллектора от напряжения эмиттер-база



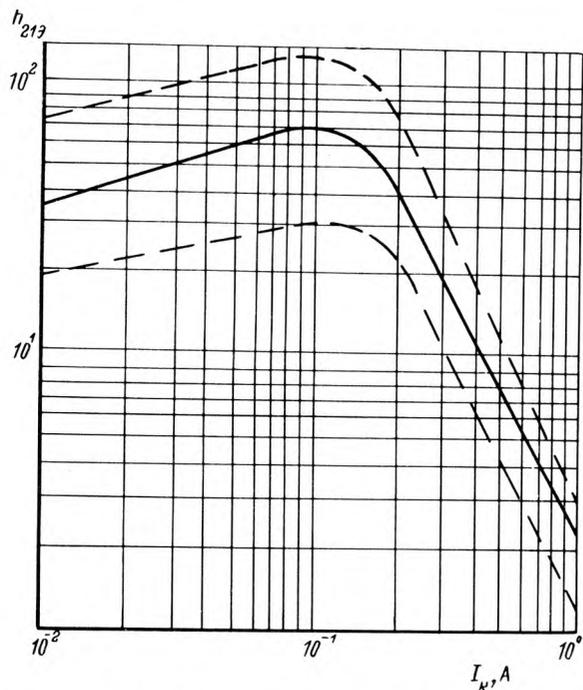
Зависимость напряжения насыщения коллектор-эмиттер от $K_{нас} = I_{к} / I_{б}$



Зависимость напряжения насыщения коллектор-эмиттер от тока базы



Зависимость граничной частоты от тока коллектора



Зависимость коэффициента передачи тока от тока коллектора

Транзистор (масса ≤ 20 г) оформлен в металлоглазном корпусе КТ-9. Герметизируется методом конденсаторной сварки. Диапазон рабочих температур от -40 до $+100^\circ\text{C}$. При креплении к панели транзистор должен плотно прилегать к теплоотводу. Для улучшения теплового контакта реко-

мендуется смачивать нижнее основание транзистора полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-100.

Максимально допустимая рассеиваемая мощность транзистора при температуре корпуса выше 50°C рассчитывается по формуле

$$P_{\text{к max}} = (125^\circ - T_{\text{корп}}^\circ) / R_t, \text{ } ^\circ\text{C}/\text{Вт}$$

Тепловое сопротивление транзистора (R_t) определяется исходя из области максимальных режимов.

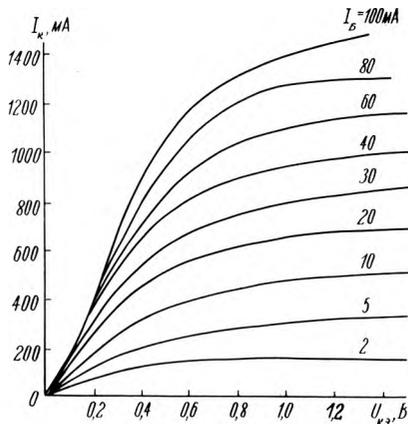
Статья поступила 12 февраля 1980 г.

УДК 621.382.333

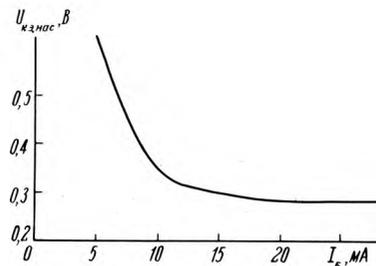
Е. И. Лапицкий, Н. И. Овсянников, В. А. Семин, А. М. Смирнов

КРЕМНИЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ КТ645А И КТ646А

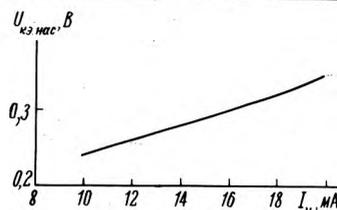
Кремниевые планарно-эпитаксиальные высокочастотные импульсные $n-p-n$ транзисторы КТ645А предназначены для работы в быстродействующих импульсных схемах, а также в схемах генерирования и усиления высокочастотных электрических сигналов, а транзисторы КТ646А — в оперативных и постоянных запоминающих устройствах.



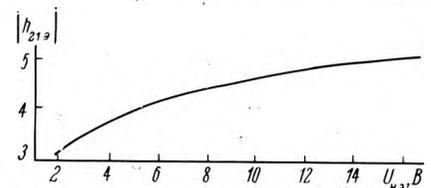
Начальный участок выходных характеристик в схеме с общим эмиттером при $T_{\text{окр}} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$ для КТ646А



Типовая зависимость напряжения насыщения коллектор-эмиттер от постоянного тока базы при $I_б = 150$ мА и $T_{\text{окр}} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$ для КТ645А



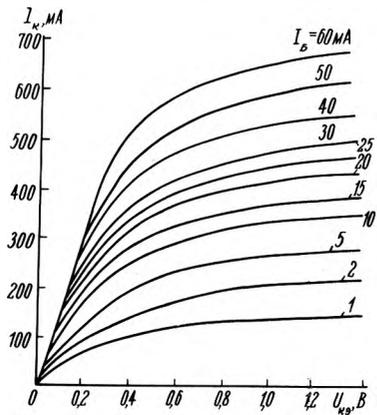
Типовая зависимость напряжения насыщения коллектор-эмиттер от постоянного тока коллектора при $I_б = 15$ мА и $T_{\text{окр}} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$ для КТ645А



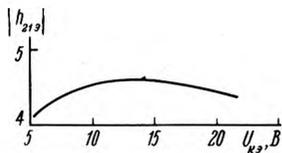
Типовая зависимость модуля коэффициента передачи на высокой частоте от постоянного напряжения коллектор-эмиттер при $I_к = 30$ мА, $f = 10^6$ Гц, $T_{\text{окр}} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$ для КТ646А

Основные электрические параметры при $T_{\text{окр}} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$

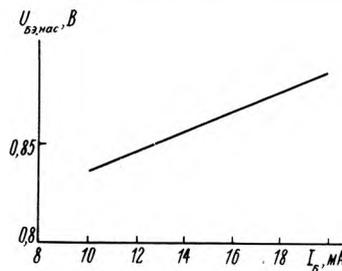
Наименование параметра	Значение параметра		Режимы измерения
	КТ645А	КТ646А	
Статический коэффициент передачи тока $h_{21э}$ в схеме с общим эмиттером	20–200	40–200	В режиме большого сигнала при $U_{кб} = 2$ В, $I_э = 150$ мА, $f = 50$ Гц при $U_{кб} = 5$ В, $I_э = 200$ мА, $f = 50$ Гц, $U_{кб} = 60$ В
Обратный ток коллектора $I_{к об}$, мкА	10	10	
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер $U_{кэ нас}$, В	0,5	0,85	$I_к = 150$ мА, $I_б = 15$ мА $I_к = 500$ мА, $I_б = 50$ мА
Напряжение насыщения база-эмиттер $U_{бэ нас}$, В	1,2	1,2	$I_к = 150$ мА, $I_б = 15$ мА $I_к = 500$ мА, $I_б = 50$ мА
Время рассасывания $\tau_{рас}$, нс	50	60	$I_к = 150$ мА $I_{б1} = I_{б2} = 15$ мА
Модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте $ h_{21э} $	2	2	$U_{кэ} = 10$ В $I_к = 50$ мА $f = 100$ МГц $U_{кэ} = 10$ В $I_к = 30$ мА $f = 100$ МГц $U_{кб} = 10$ В $f = 10$ МГц $U_{эб} = 0$ $f = 10$ МГц $U_{кб} = 5$ В $I_э = 5$ мА $f = 5$ МГц
Емкость коллекторного перехода C_k , пФ	5	10	
Емкость эмиттерного перехода $C_э$, пФ	50	80	
Постоянная времени цепи обратной связи на высокой частоте τ_k , пс	120	120	



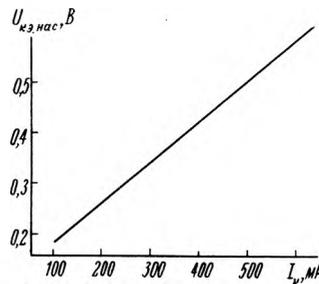
Начальный участок выходных характеристик в схеме с общим эмиттером при $T_{окр} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$ для КТ645А



Типовая зависимость модуля коэффициента передачи токана высокой частоте от постоянного напряжения коллектор-эмиттер при $I_k = 50 \text{ mA}$, $f = 10^8 \text{ Гц}$ и $T_{окр} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$ для КТ645А



Типовая зависимость напряжения насыщения база-эмиттер от постоянного тока базы при $I_k = 150 \text{ mA}$ и $T_{окр} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$ для КТ645А



Типовая зависимость напряжения насыщения коллектор-эмиттер от постоянного тока коллектора при $I_k / I_б = 10$, $T_{окр} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$ для КТ645А

Максимально допустимые параметры в диапазоне температур от -45 до $+85^\circ\text{C}$

Наименование параметра	Значение параметра		Режим измерения
	КТ645А	КТ646А	
Напряжение коллектор-база $U_{кб \text{ max}}$, В	60	60	—
Напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ \text{ max}}$, В	50	50	—
Напряжение эмиттер-база $U_{эб \text{ max}}$, В	4	4	—
Ток коллектора $I_{к \text{ max}}$, А	300	1000	—
Импульсный ток коллектора $I_{ки \text{ max}}$, А	600	1200	$t_n \leq 10 \text{ мкс}$ $Q > 5$
Рассеиваемая мощность коллектора $P_{к \text{ max}}$, Вт	0,5	1	$T_{окр} = -45 \pm 25^\circ\text{C}$ $T_{окр} = 85^\circ\text{C}$
Импульсная рассеиваемая мощность коллектора $P_{ки \text{ max}}$, Вт	1	1,2	$t_n \leq 10 \text{ мкс}$ $Q > 5$ $T_{окр} = -45 \pm 55^\circ\text{C}$
Температура перехода $T_{пер \text{ max}}$, $^\circ\text{C}$	150	150	—

Транзисторы КТ645А выпускаются в пластмассовом корпусе КТ-26 а КТ646А — в корпусе КТ-27.

Статья поступила 11 марта 1980 г

УДК 621.382.3:546.28

В. В. Демиденко, Н. А. Заболотный, В. И. Фирсов

МОЩНЫЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ КРЕМНИЕВЫЙ ТРАНЗИСТОР КТ947

Мощный высокочастотный кремниевый *n-p-n* транзистор КТ947, изготавливаемый по планарной технологии, предназначен для работы в высокочастотных и низкочастотных каскадах радиопередающих устройств СВ и ДВ диапазонов, усилителях мощности и ключевых быстродействующих схемах аппаратуры широкого применения.

Транзистор (масса не более 35 г) оформлен в металлокерамическом корпусе типа КТ27. Герметизируется методом конденсаторной сварки. Диапазон рабочих температур от -60 до $+100^\circ\text{C}$. Используется только с теплоотводом, на который монтируется с помощью гайки или резьбового отверстия (осевое усилие на винт не должно превышать $1,8 \cdot 10^3 \text{ Н}$). Для снижения теплового сопротивления необходимо применять полиме-

тилсилоксановую жидкость ПМС-100 или тонкую фольгу из мягкого материала.

Основные электрические параметры при $T_{корп} = 25 \pm 10^\circ\text{C}$

Наименование параметра	Значение параметра		Режимы измерения
	мин.	макс.	
Обратный ток коллектора $I_{кзо}$, А	0,05	100	$U_{кэ} = 100 \text{ В}$ $R_{эб} = 10 \text{ Ом}$
Обратный ток эмиттера $I_{эбо}$, А	0,1	150	$U_{эб} = 5 \text{ В}$
Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером $A_{21э}$	10	80	$U_{кэ} = 5,0 \text{ В}$ $I_k = 20 \text{ А}$
Модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте $ h_{21э} $	2,5	3,3	$U_{кэ} = 10 \text{ В}$ $I_k = 4 \text{ А}$ $f = 30 \text{ МГц}$ $P_{вых} = 250 \text{ Вт}$
Коэффициент усиления по мощности K_p , дБ	10	70	$f = 1,5 \text{ МГц}$ $U_{кб} = 27 \text{ В}$
Коэффициент полезного действия η , %	55	75	$P_{вых} = 250 \text{ Вт}$ $f = 1,5 \text{ МГц}$ $U_{кб} = 27 \text{ В}$
Емкость коллекторного перехода C_k , пФ	400	850	$U_{кб} = 27 \text{ В}$ $f = 1 \text{ МГц}$
Выходная мощность $P_{вых}$, Вт	—	250	$U_{кб} = 27 \text{ В}$ $f = 1,5 \text{ МГц}$ $\eta = 60\%$
Тепловое сопротивление R_{thjc} , $^\circ\text{C}/\text{Вт}$	—	0,75	

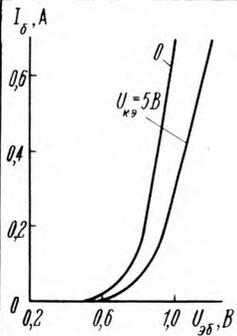
Предельно допустимые значения электрических режимов эксплуатации

Наименование параметра	Значение параметра	Режимы измерения
Постоянное напряжение коллектор-эмиттер $U_{кэ \text{ max}}$, В	100*	$R_{эб} = 10 \text{ Ом}$
Постоянное напряжение эмиттер-база $U_{эб \text{ max}}$, В	5**	—
Постоянный ток коллектора $I_{к \text{ max}}$, А	20**	—
Импульсный ток коллектора $I_{ки \text{ max}}$, А	40**	$Q > 6$ $t_r \leq 300 \text{ мкс}$
Постоянная рассеиваемая мощность коллектора $P_{к \text{ max}}$, Вт	200*	—
Температура перехода $T_{пер \text{ max}}$, $^\circ\text{C}$	200	—

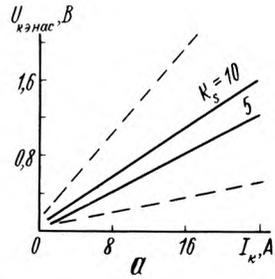
* В диапазоне температур корпуса от -45 до $+45^\circ\text{C}$. При увеличении $T_{корп}$ от 50 до 100°C параметры определяются с учетом работы транзистора в области максимальных режимов, а мощность рассчитывается по формуле

$$R_{к \text{ max}} = \frac{T_{пер \text{ max}} - T_{корп}}{R_{thjc}}$$

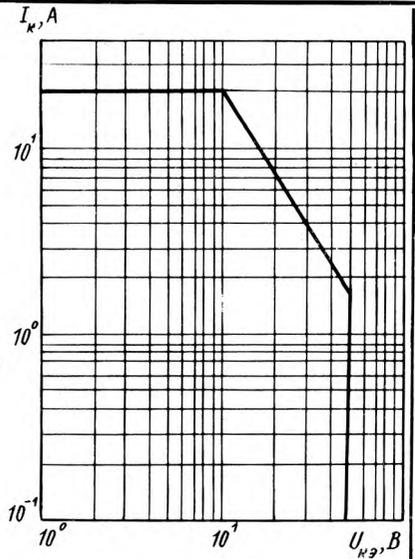
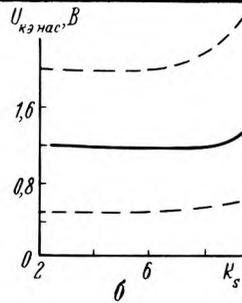
где R_{thjc} при $K_{эб} > 10$ определяется из области максимальных режимов.
** В диапазоне температур корпуса от -60 до $+100^\circ\text{C}$.



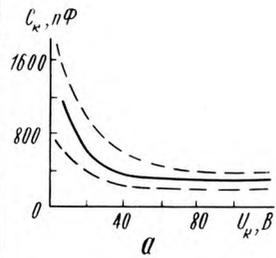
Входные характеристики транзистора



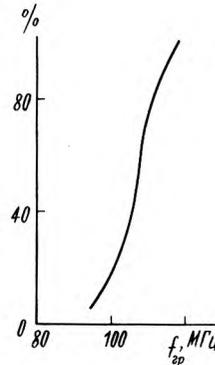
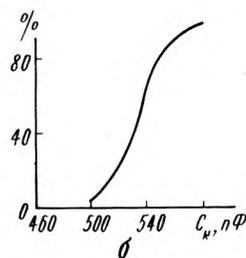
Типовая зависимость напряжения насыщения коллектор-эмиттер от тока коллектора (а) и от коэффициента $K_s = I_k / I_0$ при $I_k = 20$ А (б)



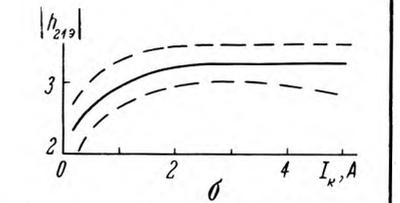
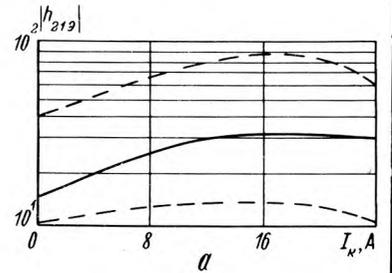
Область максимальных режимов при $T_{корп} = 50^\circ\text{C}$



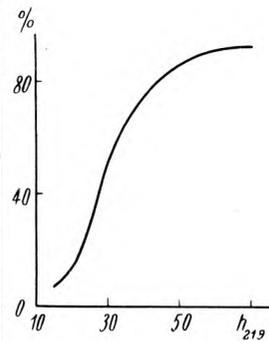
Типовая зависимость емкости коллектора от напряжения коллектор-эмиттер при $f = 1$ МГц (а) и интегральное распределение емкости коллектора при $U_{кб} = 27$ В (б)



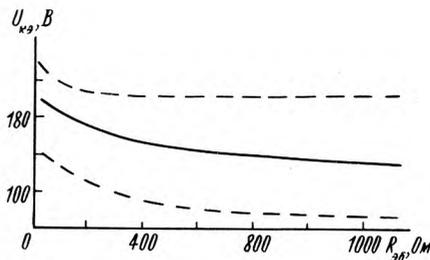
Интегральное распределение граничной частоты при $I_k = 4$ А, $U_{кэ} = 10$ В и $f = 30$ МГц



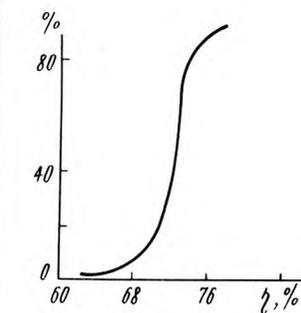
Зависимости $h_{21э}$ при $U_{кэ} = 5$ В (а) и $|h_{21э}|$ при $U_{кэ} = 10$ В и $f = 30$ МГц (б) от тока коллектора



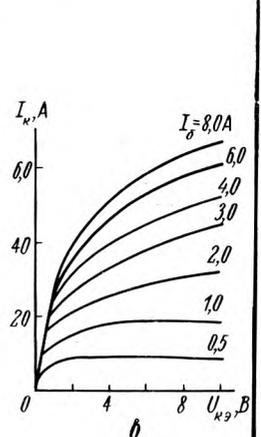
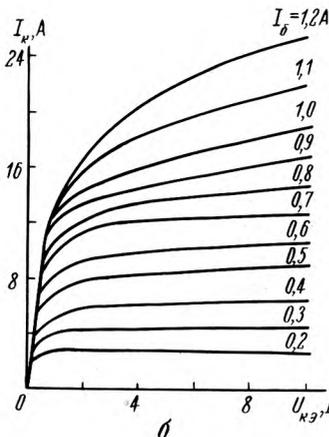
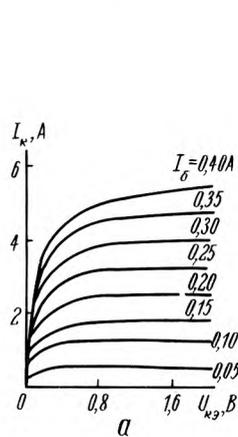
Интегральное распределение параметра $h_{21э}$ при $I_k = 20$ А и $U_{кэ} = 5$ В



Типовая зависимость напряжения коллектор-эмиттер от сопротивления в цепи эмиттер-база при $I_{кэ0} = \text{const}$



Интегральное распределение коэффициента полезного действия при $P_{вых} = 2.5$ Вт, $U_{кб} = 27$ В и $f = 1.5$ МГц



Начальный (а), средний (б) и конечный (в) участки выходной характеристики транзистора

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

ХІ ПЛЕНУМ ЦК ПРОФСОЮЗА РАБОЧИХ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Задачи профсоюзных организаций, вытекающие из решений октябрьского (1980 г.) Пленума ЦК КПСС, положений и выводов, изложенных в речи Генерального секретаря ЦК КПСС, Председателя Президиума Верховного Совета СССР товарища Л.И.Брежнева и в проекте ЦК КПСС к XXVI съезду партии «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», явились основным вопросом, обсуждавшимся на XI Пленуме ЦК профсоюза рабочих радиоэлектронной промышленности, который состоялся 10 декабря 1980 г.

В своих выступлениях председатель ЦК профсоюза В.И.Иванов, секретарь ЦК профсоюза В.Н.Тузов и другие участники Пленума с большим удовлетворением отметили замечательные успехи трудовых коллективов, объединяемые профсоюзом, которые широко развернув социалистическое соревнование за достойную встречу XXVI съезда КПСС, добились высоких результатов в выполнении плановых заданий и социалистических обязательств десятой пятилетки.

Достойный вклад в дело дальнейшего развития экономики страны, повышение материального и культурного уровня советских людей за годы десятой пятилетки внесли трудящиеся электронной промышленности. Значительно вырос объем производства, в два раза возросли производительность труда, в 1,4 раза — фондоотдача, снизились себестоимость и материалоемкость. Существенно повысился технический уровень электронной аппаратуры, сократились сроки разработки и освоения в производстве новых изделий, повысилось качество выпускаемой продукции.

С большой трудовой победой — досрочным выполнением заданий десятого пятилетнего плана — поздравил инженерно-технических работников и служащих предприятий Министерства электронной промышленности 16 октября 1980 г. Леонид Ильич Брежнев. В приветствии отмечено, что высокие показатели работы электронной промышленности явились результатом большой организаторской и воспитательной работы партийных, профсоюзных и комсомольских организаций, хозяйственных руководителей, умело направивших инициативу и энергию коллективов на претворение в жизнь решений XXV съезда КПСС, самоотверженного труда и творческой активности всех работников отрасли, широко развернутого социалистического соревнования.

Пленум обратил внимание на то, что трудовые коллективы располагают более широкими возможностями для дальнейшего повышения эффективности производства и качества работы, создания необходимых условий труда на производстве, удовлетворения бытовых и культурных запросов трудящихся. На некоторых предприятиях допущено отставание в выполнении комплексных планов улучшения условий охраны труда и санитарно-оздоровительных мероприятий, планов непромышленного строительства, неполностью осваиваются средства, выделенные на жилье.

Главные управления министерств, республиканские, краевой, областные, городские комитеты профсоюза, профсоюзные комитеты и хозяйственные руководители отраслевых объединений, предприятий и организаций недостаточно сосредотачивают внимание трудовых коллективов на всемерном повышении эффективности производства, росте производительности труда, приведении в действие

всех резервов для увеличения выпуска и улучшения качества продукции при одновременном снижении материальных и трудовых затрат, внедрении бригадной формы организации и стимулирования труда, создании условий рабочим для ритмичного и высокопроизводительного труда. В решении данных вопросов недостаточно полно используются возможности постоянно действующих производственных совещаний, организаций НТИ и ВОИР.

Большие задачи стоят перед отраслью в 1981 году. Предусматривается значительный рост объема производства и производительности труда, увеличение заработной платы рабочих и служащих. Производство товаров культурно-бытового и хозяйственного назначения намечено увеличить за годы одиннадцатой пятилетки в электронной промышленности в 1,8—1,9 раза.

Пленум ЦК профсоюза обратил внимание на необходимость принятия дополнительных мер по увеличению в 1981 г. выпуска товаров народного потребления за счет лучшего использования ресурсов, сырья, материалов, оборудования и рабочей силы: повышения активности трудовых коллективов в решении задач расширения производства, ассортимента и улучшения качества указанных товаров; усиления контроля за ходом строительства новых, реконструкции действующих предприятий для производства товаров народного потребления, а также за поставками комплектующих изделий для других отраслей, производящих эти товары.

Контрольными цифрами на XI пятилетку предусмотрено выделение около 1 млрд. рублей на дальнейшее социальное развитие отраслей промышленности, улучшение условий, охраны труда, медицинского обслуживания, строительства жилья, рабочих столовых, детских садов и ясель, пионерских лагерей, спортивных сооружений, баз отдыха.

Пленум предложил комитетам профсоюза установить действенный контроль за ходом жилищного и культурно-бытового строительства, выполнением планов по вводу жилья, детских дошкольных учреждений, общежитий, рабочих столовых и других объектов бытового назначения; принять меры по выполнению планов непромышленного строительства в 1981 году; усилить защитную функцию профсоюза, направленную на устранение и предупреждение нарушений трудовых прав рабочих и служащих; улучшить работу по рассмотрению письменных и устных обращений рабочих и служащих и удовлетворению законных требований трудящихся.

В Постановлении Пленума ЦК профсоюза особо подчеркнута необходимость повышения роли социальных показателей в оценке деятельности трудовых коллективов при подведении итогов социалистического соревнования.

Пленум ЦК профсоюза обязал республиканские, краевой, областные, городские комитеты профсоюза, профсоюзные комитеты объединений, предприятий и организаций совместно с хозяйственными руководителями принять меры по обеспечению выполнения комплексных планов улучшения условий, охраны труда и санитарно-оздоровительных мероприятий на одиннадцатую пятилетку, а также по сокращению тяжелых физических и монотонных работ.

Пленум ЦК профсоюза предложил профсоюзным комитетам объединений, предприятий и организаций продолжить развитие и совершенствование всех форм и методов привлечения трудящихся к управлению производством, улучшить руководство постоянно действующими производственными совещаниями, обеспечить усиление влияния коллективных договоров на производственную и социальную жизнь трудовых коллективов.

XI Пленум Центрального комитета профсоюза рабочих радиоэлектронной промышленности завершил ЦК КПСС, ВЦСПС в том, что профсоюзные организации, трудящиеся приложат все силы для претворения в жизнь решений октябрьского (1980 г.) Пленума ЦК КПСС и указаний Генерального секретаря ЦК КПСС товарища Л.И.Брежнева, изложенных в его речи на Пленуме, достойно встретят XXVI съезд КПСС.

КОНТАКТНЫЙ ТЕРМОМЕТР

КТ-4

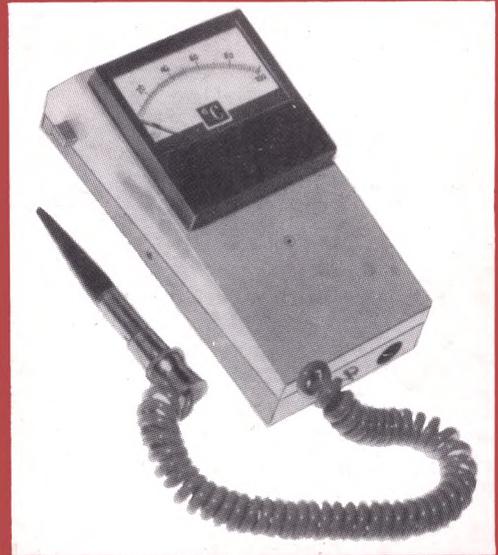


ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕПЛО-
ВОГО РЕЖИМА ЭЛЕМЕНТОВ РАДИОЭЛЕК-
ТРОННОЙ АППАРАТУРЫ. В качестве датчи-
ка температуры используется кремниевый
бескорпусный транзистор. Стабильность
показаний термометра во времени в диапа-
зоне окружающих температур от -5 до $+40^{\circ}\text{C}$
обеспечивается специальным эталонным
источником питания датчика.

Чувствительность датчика позволяет созда-
вать контактные термометры без усилитель-
ных устройств.

Точность и быстродействие предлагаемого
варианта измерителя температуры опреде-
ляются регистрирующим прибором — мик-
роамперметром М2002.

Конструктивно контактный термометр мо-
жет выпускаться в двух модификациях (см.
рисунки).



ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Диапазон измеряемых температур	от 0 до 100°C
Погрешность измерения	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
Время измерения	3 с
Площадь измеряемой поверхности	не менее $0,5 \text{ мм}^2$
Напряжение питания	5–10 В
Время непрерывной работы при питании от элемента "Крона"	10 ч
Масса	0,3 кг

В. С. Громов, В. С. Храмцев

На первой странице обложки: иллюстрация к статье Дюкова В. Г., Коломейцева М. И., "Применение методов
растровой электронной микроскопии в микроэлектронике" (см. с. 8).

Ответственные за выпуск Е. А. Засядько, Л. И. Васильева

Художник В. А. Чернецов

Технический редактор Г. М. Корнеева

Корректоры А. В. Смирнова, Н. С. Русецкая



Подписано в печать 20.02.81 г.

Т-00754

Уч.-изд. л. 9

Заказ 127

Формат 60x90/8 Объем 8 п. л.

Индекс 3833 22 статьи, 8 реф.

Тираж 4000 Цена 2 руб. 90 коп

Производственно-издательский отдел ЦНИИ "Электроника"

Москва, 117415, проспект Вернадского, 39