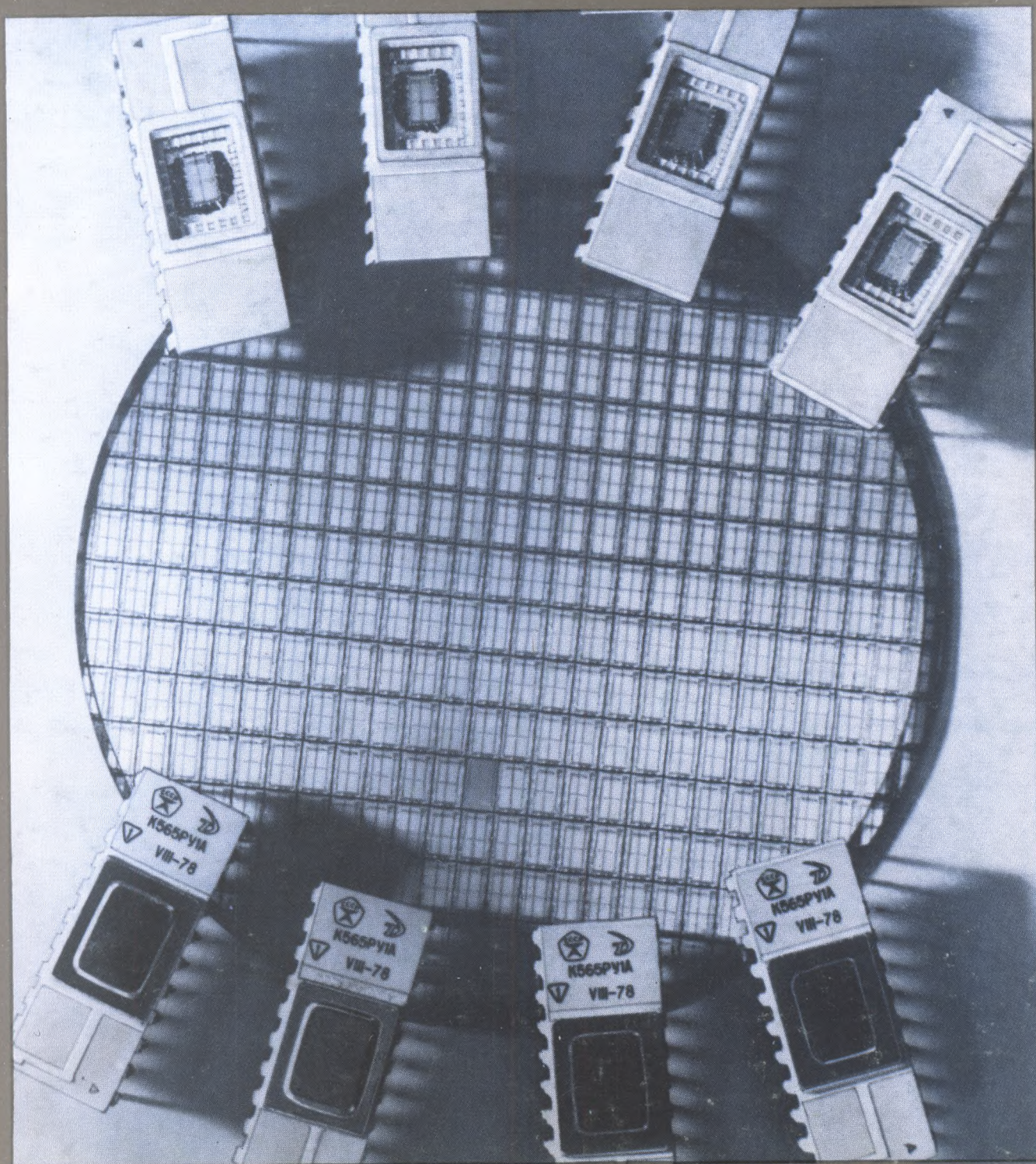




# ЭЛЕКТРОННАЯ

8  
1978

# ПРОМЫШЛЕННОСТЬ





РЕКЛАМА  
**ДОЛИН**  
РЕКЛАМА





# 1978

## МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР • НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В. А. Афанасьев,  
А. А. Васенков,  
Е. А. Гайлиш,  
А. С. Гладков,  
Г. Я. Гуськов,  
Н. Д. Девятков,  
С. В. Жигунов,  
В. И. Иванов,  
А. Ф. Казаков,  
А. М. Калугин,  
Н. А. Киреев,  
А. А. Константинов,  
Э. А. Лукин,  
А. А. Маклаков,  
А. Ю. Малинин,  
Ю. Б. Митюшин,  
В. С. Морозов,  
В. М. Пролейко  
(зам. главного редактора),  
В. Д. Степанов,  
Ю. Б. Степанов,  
А. А. Сорокин,  
А. И. Савин,  
В. Н. Сретенский,  
П. М. Стуколов  
(зам. главного редактора),  
Г. Г. Татаровская  
(ответственный секретарь),  
Я. А. Федотов,  
О. В. Филатов,  
С. К. Цаллагов

● Большой вклад в дальнейший подъем сельского хозяйства призвана внести электронная промышленность. Практически все объединения и предприятия отрасли производят продукцию для сельского хозяйства. Решение основных задач, стоящих перед объединениями и предприятиями, обеспечит увеличение поставок продукции и услуг сельскому хозяйству в десятой пятилетке.

● Разработана и освоена в массовом производстве большая интегральная схема динамического запоминающего устройства с произвольной выборкой. Объем памяти составляет 4096 бит, длительность цикла обращения 400 нс. ЗУПВ предназначено для широкого класса устройств цифровой техники и автоматики с высокими технико-экономическими показателями.

● Одним из путей решения важной народнохозяйственной задачи создания широкой номенклатуры измерительных систем является агрегатирование уже имеющихся технических средств. С этой целью могут быть использованы специальные модули для сопряжения неунифицированной измерительной аппаратуры с различными устройствами сбора, регистрации и обработки измерительной информации универсального применения.

● В основу методики оценки влияния топологии на электрические параметры активных и пассивных элементов интегральных схем положен расчет распределения потенциала в различных областях этих структур. Расчеты параметров транзисторов и резисторов сложной геометрии ведутся по разработанным алгоритмам и программам с использованием обобщенной геометрической модели.



# ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

**1978** **8**  
ГОД ИЗДАНИЯ ДЕВЯТЫЙ • ВЫПУСК (68)

## СОДЕРЖАНИЕ

- 3 *Стуколов П.М.* Электроника — сельскому хозяйству

### ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

- 5 *Гафаров П.М., Минков Ю.В., Соломоненко В.И., Уросов В.Н.* Запоминающее устройство емкостью 4096 бит на однотранзисторных ячейках памяти.
- 14 *Горовой В.В., Петровский И.И., Савотин Ю.И.* Регистр последовательного приближения К155ИР17.
- 17 *Гойденко П.П., Цуканов Л.Н., Черных А.Г.* Микросхемы К512ПС2 и К512ПС3 на КМОП-структурах с напряжением питания 1,2–1,5 В.
- 19 *Сериков Б.А., Степенин В.С.* Большие интегральные схемы К14ИК8 и К145ИК11 для кнопочных телефонных аппаратов.
- 20 *Быков В.П., Кузнецов Е.Ю., Минкин Л.К.* Однокристалльный микропрограммируемый процессор К145ИП11.

### ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

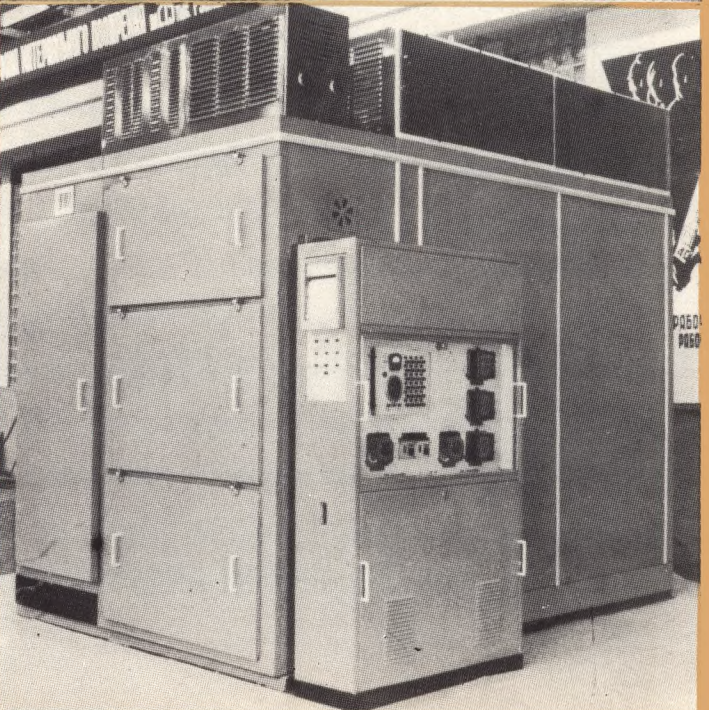
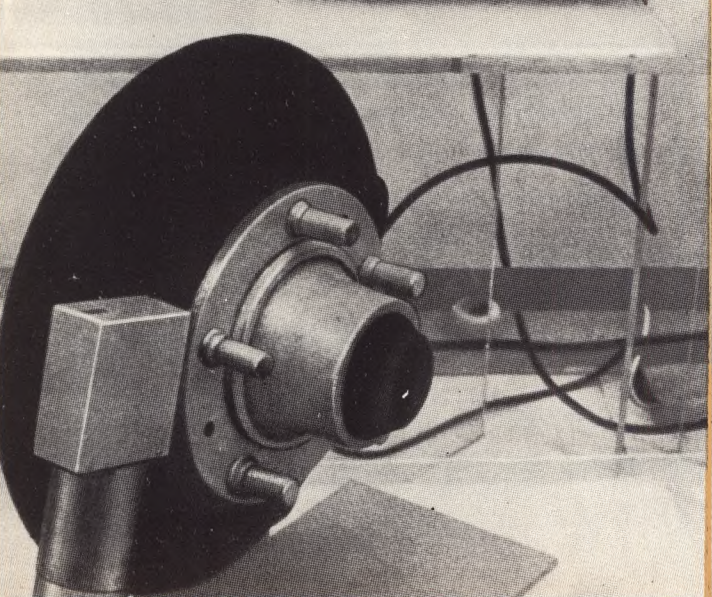
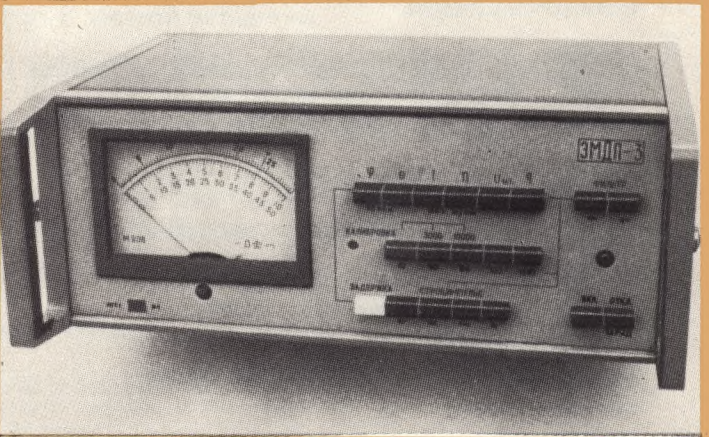
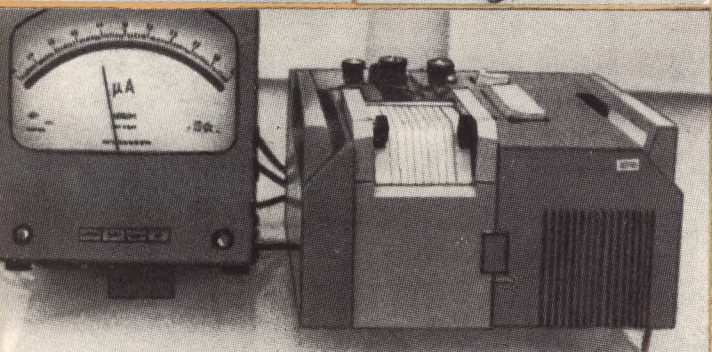
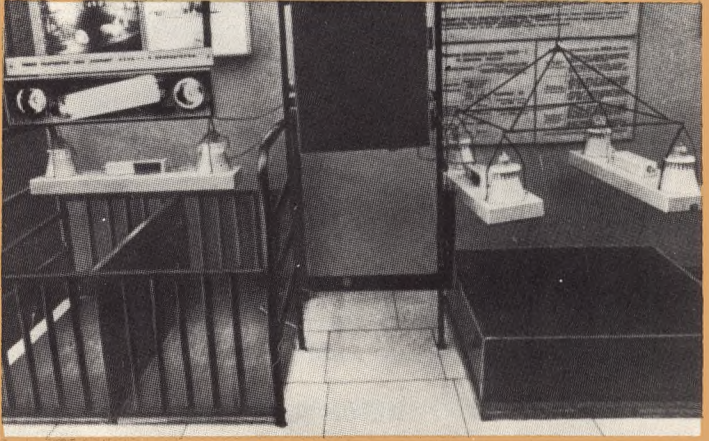
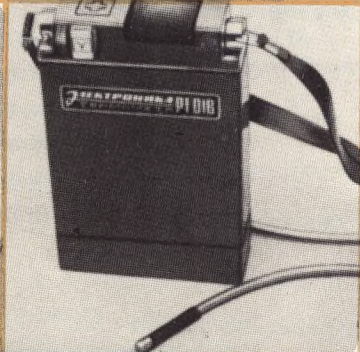
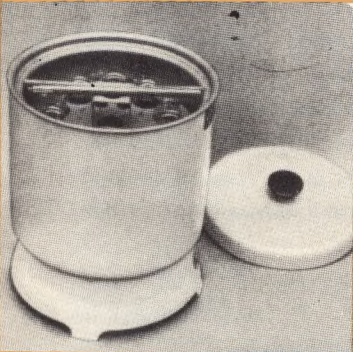
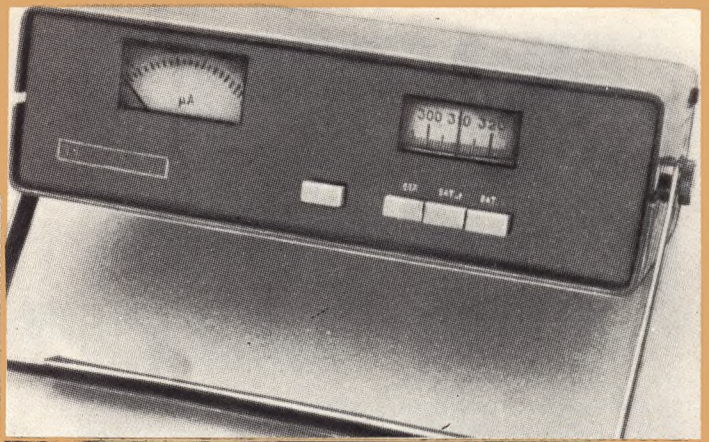
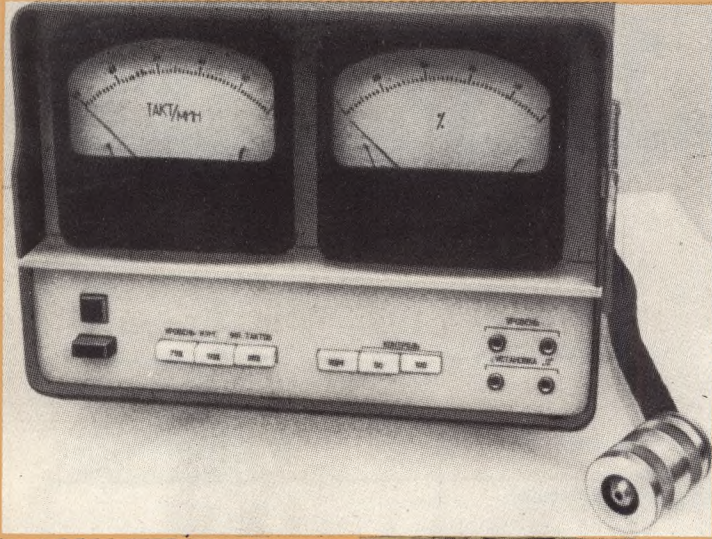
- 23 *Гельман М.М.* Построение агрегируемых измерительных систем на базе технических средств с различным уровнем унификации характеристик.

- 31 *Соколовский Ю.В.* Контроль кристаллов БИС ОЗУ на установке "Электрон Ф-3У".
- 36 *Браверман И.Я.* Запоминающий осциллограф с электролюминесцентным матричным экраном.
- 39 *Антонов Ю.И., Дубовис В.М., Чернышов Ю.Н.* Устройство для контроля параметров аналоговых микросхем.
- 41 *Бондаревский А.С., Вертышев Ю.А., Остапенко А.А., Секацкий Е.Г.* Многоканальный генератор кодовых комбинаций.
- 43 *Бунин В.А., Ковецкий М.В.* Цифровые измерители напряжения насыщения и статического коэффициента передачи тока биполярных транзисторов.

### ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТА

- 47 *Зверев С.А.* Расчет параметров распределенных моделей элементов ИС.
- 55 *Булгакова И.П., Кристалинский Л.Л., Курицын В.П., Розин И.Т., Столов Л.А.* Прогнозирование ресурса изделий электронной техники.
- 60 *Гладкова Н.Л., Попова Т.С., Туровец О.Г.* Экспертные методы в нормировании затрат на подготовку к освоению серийного выпуска транзисторов.
- 63 *Никаноров А.В.* Из ЦК профсоюза сообщают







# ЭЛЕКТРОНИКА-СЕЛЬСКОМУ ХОЗЯЙСТВУ

П.М. СТУКОЛОВ

Последовательно осуществляя экономическую стратегию, выработанную XXV съездом КПСС, Центральный Комитет партии определяет основные пути и наиболее действенные средства улучшения работы на всех участках хозяйственного и культурного строительства. Ярким подтверждением этого является июльский (1978 г.) Пленум ЦК КПСС, рассмотревший задачи дальнейшего развития сельского хозяйства в нашей стране и неуклонного повышения его эффективности.

Большой вклад в дело обеспечения подъема сельскохозяйственного производства призвана внести электронная промышленность.

В настоящее время практически все объединения и предприятия отрасли производят продукцию для сельского хозяйства. Начиная с 1970 г. министерство систематически планирует выпуск такой продукции, устанавливая задания по конкретной номенклатуре изделий для сельскохозяйственно-го производства с учетом увеличения в поставках удельного веса приборов и оборудования.

Объем поставок сельскому хозяйству из года в год растет. Если в 1970 г. было поставлено продукции на 24 млн.руб., то в 1977 г. этот показатель увеличился более чем в 4 раза (97,4 млн.руб.).

Планом на десятую пятилетку предусмотрено дальнейшее увеличение объема поставок сельскому хозяйству. Итоги работы объединений и предприятий отрасли за истекший период свидетельствуют о том, что это задание десятой пятилетки выполняется успешно. Так, если в девятой пятилетке сверх установленного задания было поставлено сельскому хозяйству продукции на сумму 40,5 млн.руб., то за 3 года текущей пятилетки (включая план 1978 г.) на 49,9 млн.руб.

В отрасли выпускается более 220 наименований различных изделий для животноводства, растениеводства, кормопроизводства, селекционных работ, узлов и деталей для сельхозтехники и целый ряд приборов связи и аппаратуры для управления в сельском хозяйстве. Из всей номенклатуры продукции около 50% видов разработаны и освоены в текущем пятилетии. Семь из них имеют Знак качества.

Все больше создается и выпускается приборов, аппаратуры и установок, способствующих повышению эффективности сельскохозяйственного производства, увеличению долговечности применяемой техники. Среди них следует отметить автоматизированную установку локального инфракрасного обогрева и ультрафиолетового облучения (ИКУФ) животных и птицы. Широкое применение установок этого типа обеспечило повышение сохранности молодняка и его привеса без использования дополнительных кормов, что является хорошей базой для увеличения продуктов животноводства и удовлетворения потребности в них. Экономический эффект от внедрения только одного комплекта ИКУФ составляет более 18 тыс.руб., а с учетом того, что в 1978 г. заводами отрасли будет изготовлено 2700 комплектов этих установок на 150–200 тыс. мест, он составит более 50 млн.руб.

Интенсификации сельскохозяйственного производства, повышению урожайности зерновых культур способствует выпускаемая в отрасли установка для лазерной предпосевной обработки семян с производительностью до 4 т семян в час. Ее применение позволяет повысить урожайность пшеницы на 10–15%, а овощей — на 15–30%. В 1978 г. таких установок будет выпущено около 1000 шт., что даст значительный экономический эффект, учитывая огромные площади, занимаемые зерновыми и овощными культурами в нашей стране.

Сделаны первые шаги в использовании лазерных установок для облучения семян различных культур с целью создания новых форм растений, отличающихся высокой скороспелостью, продуктивностью и качеством. Дальнейшие исследования должны создать твердую базу для решения одной из важнейших задач, выдвинутых партией и правительством в настоящее время, — улучшения селекции и семеноводства.

Создан ряд светотехнических установок, например, высокоинтенсивные источники света для ускоренного выращивания растений в закрытом грунте и вегетационная камера типа КВ-1. Их применение позволяет в 2–3 раза сократить продолжительность селекционных работ по выведению новых сельскохозяйственных культур, а также дает возможность расширить промышленное



производство различных растений в теплицах в течение всего года. Предприятиями отрасли выпускают приборы и установки для оценки параметров сельскохозяйственных машин: комплексной диагностики карбюраторных двигателей, определения степени их износа, контроля работы автомобильных двигателей, измерения и регулировки доильных аппаратов и др. Налажен выпуск станций диспетчерской связи "Волна-М", предназначенных для организации оперативного руководства с помощью телефонной и радиосвязи предприятиями сельхозтехники.

В соответствии с планом важнейших работ 1977 г. в области сельского хозяйства в отрасли было закончено 14 НИР и ОКР, сейчас их ведется 18. Они направлены на создание аппаратуры, способствующей повышению энергии прорастания семян, ускоренному выращиванию растений, повышению производительности труда в сборе чая, мелиоративных работах, в тепличных хозяйствах, в перерабатывающих отраслях сельского хозяйства и т. д.

Наряду с производством продукции для нужд сельского хозяйства объединения и предприятия отрасли оказывают ему различные услуги, к числу которых относятся ремонт сельхозтехники, помощь оборудованием, участие в проектировании и строительстве производственных и культурно-бытовых зданий, инженерных сетей и коммуникаций на селе и непосредственное участие в полевых работах. Объем услуг за семь лет (с 1970 г.) вырос с 10,55 до 29,27 млн. руб.

Достигнуты определенные успехи в организации на предприятиях и в объединениях отрасли подсобных хозяйств, занятых откормом свиней, разведением рыбы, садоводством, цветоводством, пчеловодством, овощеводством, бахчеводством. В 1977 г. с 11 подсобных хозяйств отрасли реализовано через сеть общественного питания более 60 т свинины, 180 т огурцов, помидоров и различной зелени, 60 т арбузов и дынь, 2 т меда.

Однако можно отметить целый ряд недостатков и неиспользованных резервов в деле повышения эффективности сельскохозяйственного производства. Так, удельный вес объема продукции и услуг для сельского хозяйства на некоторых предприятиях и в объединениях отрасли составляет в общем объеме их производства всего 0,7–0,8%.

Предприятия и объединения отрасли слабо участвуют в совместной с колхозами и совхозами разработке планов производственного и социально-экономического развития, которые являются базой для заключения долгосрочных договоров.

Не во всех главных управлениях налажена систематическая работа по планированию продукции для сельского хозяйства, должному контролю за выполнением планов поставок продукции этого типа, по анализу и обобщению передового опыта в данной области.

Задачи, поставленные июльским Пленумом ЦК КПСС перед промышленностью в деле развития сельскохозяйственного производства, требуют расширения работ для нужд этой области народного хозяйства. По плану объем поставок продукции и услуг сельскому хозяйству в 1980 г. должен возрасти до 100 млн. руб. или на 127% к уровню 1975 г. В стоимостном выражении за текущую пятилетку должно быть поставлено продукции и оказано услуг сельскому хозяйству на сумму 480 млн. руб., или на 72,7% больше, чем в предыдущую пятилетку.

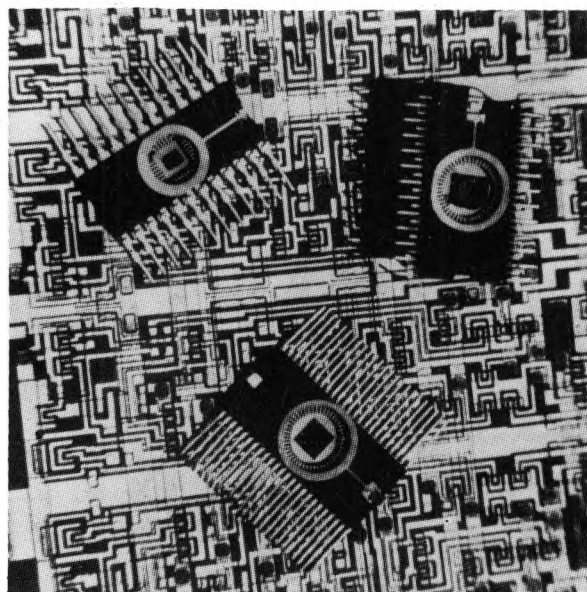
В отрасли имеются все возможности для увеличения плановых заданий 1979 и 1980 гг. Для этого необходимо провести глубокий анализ продукции, выпускаемой для сельского хозяйства, ее эффективности, спроса, перспективности, технико-экономических показателей в сравнении с другими отраслями, выпускающими аналогичную продукцию, с учетом технической оснащенности производства.

На посвященном этому вопросу заседании коллегии министерства было принято решение, обязывающее объединения и предприятия отрасли пересмотреть планы поставок продукции и услуг сельскому хозяйству, вскрыв и мобилизовав все резервы для значительного увеличения выпуска аппаратуры и приборов на базе изделий электронной техники. Производство этой продукции должно быть включено в планы всех предприятий отрасли. Чтобы ускорить развертывание производства высокоэффективной аппаратуры для нужд сельского хозяйства, разработку соответствующих НИР и ОКР на предприятиях отрасли следует проводить с учетом запросов Министерства сельского хозяйства и Всесоюзного объединения "Сельхозтехника". Объединениям и предприятиям рекомендовано в третьем квартале текущего года подготовить предложения, согласованные с соответствующими инстанциями на местах, по созданию подсобных хозяйств, их специализации, объемам производства продукции и необходимым затратам с учетом имеющегося опыта.

Необходимо систематически контролировать состояние поставок продукции и оказание услуг сельскому хозяйству объединениями и предприятиями отрасли, обобщать и распространять опыт работы передовых коллективов, считая участие отрасли в дальнейшем подъеме сельского хозяйства одной из важнейших задач.



# ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ



П. М. Гафаров, Ю. В. Минков,  
В. И. Соломоненко, В. Н. Уросов

## ЗАПОМИНАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ЕМКОСТЬЮ 4096 БИТ НА ОДНОТРАНЗИСТОРНЫХ ЯЧЕЙКАХ ПАМЯТИ

Разработана и освоена в серийном производстве большая интегральная схема динамического запоминающего устройства с произвольной выборкой. Длительность цикла обращения — не более 400 нс, потребляемая мощность в режиме максимального быстродействия — не более 650 мВт, в режиме хранения — не более 2,5 мВт.

УДК 681.327.67.

Динамическое ЗУ с произвольной выборкой (ЗУПВ) типа К565РУ1 содержит на одном кристалле все основные узлы, входящие в состав оперативного ЗУ (рис. 1):

- матрицу памяти (накопитель);
- буферный адресный регистр с дешифратором строк;

- буферный адресный регистр с дешифратором столбцов;
- блок ключей выборки строк;
- блок усилителей (считывания, записи, регенерации);
- блок синхронизации и управления;
- блок ввода-вывода числовой информации.

Матрица памяти содержит 4096 ячеек памяти, расположенных на пересечении 64 адресных шин (строк) и 64 числовых шин (столбцов). Выборка одной из ячеек памяти осуществляется путем электрического воздействия на выбранную строку через один из усилителей строк и подключения устройства ввода-вывода числовой информации к выбранному столбцу.

Все входы (кроме разрешения) и выход ЗУПВ ( $\overline{DO}$ ) сопряжены по уровням с ТТЛ-схемами. Регенерация осуществляется автоматически во всех 64 ячейках выбранной строки за один цикл обращения в любом режиме. Период регенерации равен 2 мс, при этом для регенерации используется не более 1,5% времени доступа к ЗУПВ. БИС ЗУ выпускается в металлокерамическом корпусе типа DIP с 22 выводами. Габариты устройства составляют 28×10×3,5 мм.

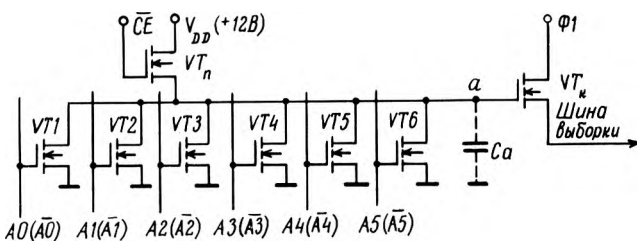
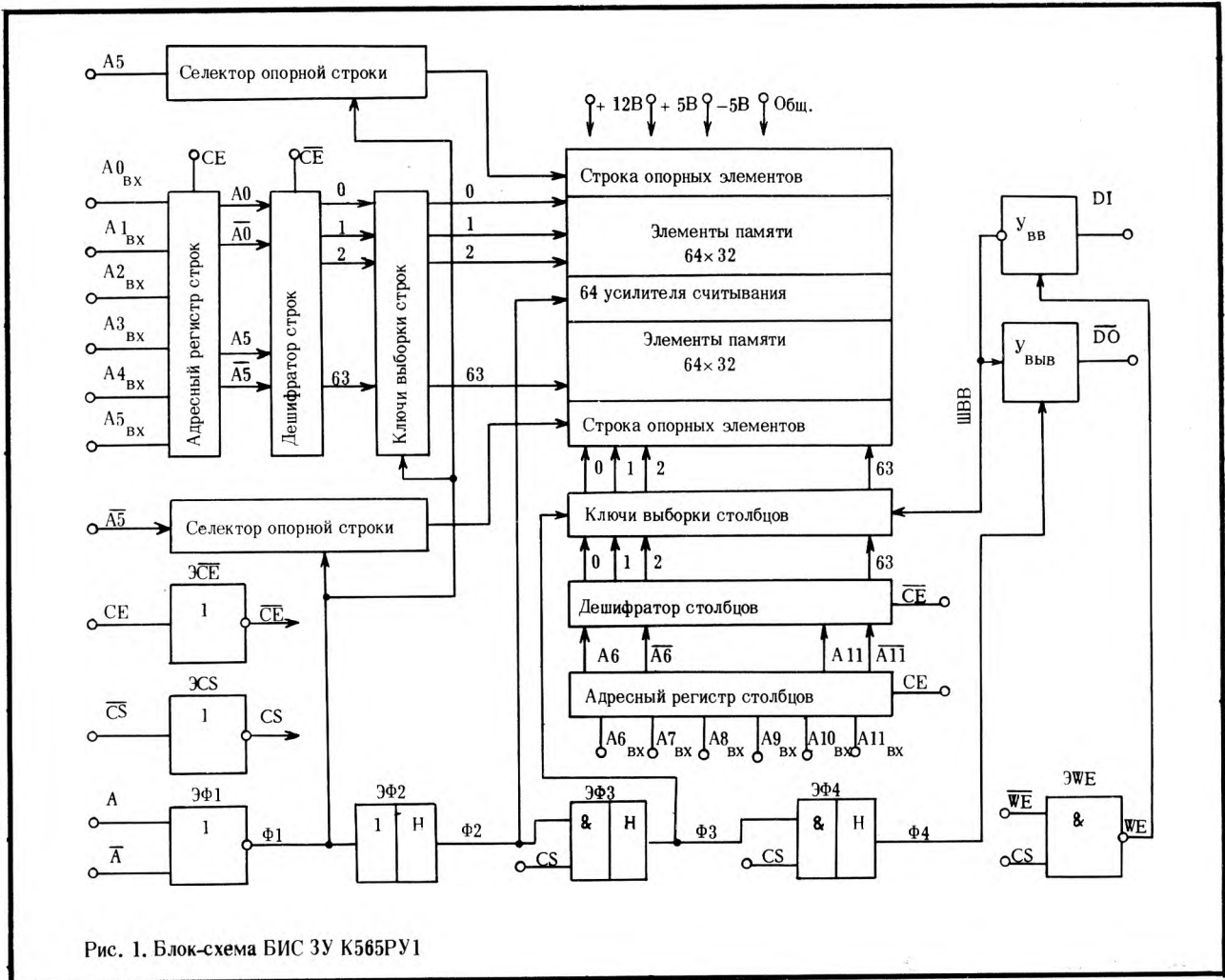
*Принципы работы ЗУПВ.* Адресные регистры строк и столбцов содержат по 6 адресных формирователей. Выходные взаимодополняющие сигналы адресных регистров  $A_0$ ,  $\overline{A_0}$ – $A_5$ ,  $\overline{A_5}$  и  $A_6$ ,  $\overline{A_6}$ – $A_{11}$ ,  $\overline{A_{11}}$  поступают соответственно на входы дешифраторов строк и столбцов. Управляемые соответствующими дешиф-



раторами 64 ключа выборки строк и 64 ключа выборки столбцов осуществляют возбуждение выбранной строки матрицы памяти и подключение числовой шины выбранного столбца к шине ввода-вывода (ШВВ). Матрица памяти разделена на две подматрицы с 2048 ячейками памяти каждая, между которыми расположен блок из 64 усилителей считывания. Она содержит также две строки опорных элементов, возбуждаемые соответствующими селекторами и служащие для компенсации коммутационных помех выборки. По ШВВ сигнал с матри-

цы поступает на устройство вывода ( $Y_{\text{Выв}}$ ) при считывании, а записываемый сигнал – с устройства ввода ( $Y_{\text{Вв}}$ ) на матрицу при записи. Ключи выборки строк и столбцов, усилители считывания и устройство вывода стробируются синхронизирующими сигналами, которые генерируются устройством управления и синхронизации.

Рассмотрим последовательность срабатывания узлов ЗУПВ в течение цикла обращения. На рис.2 приведен один из 64 разрядов динамического де-



шифратора. В исходном состоянии (в паузе между двумя обращениями) внешний сигнал разрешения  $\overline{CE}$  имеет низкий уровень, а формируемый внутренним инвертором сигнал  $\overline{CE}$  – высокий уровень. Сигнал  $\overline{CE}$  обнуляет все внутренние формирователи ЗУПВ, поэтому в исходном состоянии прямые и инверсные выходные сигналы адресных регистров, сигналы управления  $\Phi 1-\Phi 4$ , сигнал разрешения записи  $\overline{WE}$  и сигнал выбора кристалла  $\overline{CS}$

Рис. 2. Разряд дешифратора строк



имеют низкие уровни. Узлы  $a$  дешифратора строк (см. рис.2) и аналогичного ему дешифратора столбцов предварительно заряжены до высокого уровня, значение которого на величину порога транзистора  $V_{T_{\text{п}}}$  ниже напряжения питания  $V_{DD}$ . Ключевые транзисторы  $V_{T_{\text{к}}}$  открыты, и через них сигнал  $\Phi 1$  с низким уровнем поступает на шины выборки, удерживая ключевые транзисторы ячеек памяти в закрытом состоянии. Дешифратор столбцов также имеет на выходах ключевые транзисторы  $V_{T_{\text{к}}}$ , но в отличие от строчного дешифратора к их столбцам подводится сигнал  $\Phi 3$ , а истоки соединены с затворами транзисторов, коммутирующих числовые шины столбцов с шиной ввода-вывода. Поскольку в исходном состоянии сигнал  $\Phi 3$  имеет низкий уровень, все числовые шины столбцов отключены от ШВВ. Числовые полушины обеих подматриц предварительно заряжены до опорного уровня  $V_{\text{оп}}$ , а усилители считывания, управляемые сигналом  $\Phi 2$ , находятся в пассивном (непроводящем) состоянии. Устройства ввода и вывода также находятся в пассивном состоянии, а выход ЗУПВ имеет высокий импеданс. Исходное состояние ЗУПВ характеризуется тем, что практически все цепи между шиной питания и общей шиной закрыты и потребляемая мощность не превышает 1,5 мВт. Цикл обращения начинается с того, что внешний разрешающий сигнал  $\overline{SE}$  устанавливается на высоком уровне, равном 12 В, а внутренний сигнал  $\overline{SE}$  – на низком уровне. Сигнал  $\overline{SE}$  приводит в активное состояние адресные формирователи регистров строк и столбцов и одновременно переводит формирователи управляющих сигналов в ждущий режим. С установлением низкого уровня сигнала  $\overline{SE}$  числовые полушины столбцов и узлы  $a$  дешифраторов оказываются изолированными и сохраняют те потенциалы, до которых они были предварительно заряжены в паузе. При срабатывании адресных формирователей узлы  $a$  дешифратора строк разряжаются, за исключением выбранного разряда. В этом разряде транзистор  $V_{T_{\text{к}}}$  остается открытым. По окончании процесса подготовки дешифратора и ключей выборки строк вырабатывается строб-сигнал выборки строки  $\Phi 1$ . Формирователь этого сигнала запускается с момента срабатывания адресных формирователей. Задержка срабатывания формирователя сигнала  $\Phi 1$  согласована с максимальной длительностью подготовки ключей выборки строк. Принцип задержки формирователя сигнала  $\Phi 1$  так

же, как и процесс подготовки ключей выборки строк, основан на разряде емкости через открытый транзистор, благодаря чему любые технологические или температурные изменения электрофизических параметров БИС не нарушают выбранного временного соотношения между этими процессами. Подобный принцип применен и в последующих событиях процесса прохождения информации по тракту ЗУПВ. В результате удается достичь высокой стабильности функционирования и максимального быстродействия ЗУПВ при значительных технологических и температурных отклонениях.

При установлении высокого уровня сигнала  $\Phi 1$  открываются ключевые транзисторы элементов памяти выбранной строки и на числовых полушинах выбранной подматрицы устанавливаются информационные изменения потенциалов, обусловленные подключением конденсаторов хранения ячеек памяти. Одновременно возбуждается опорная строка второй подматрицы, чем компенсируются емкостные помехи от сигнала выборки. Сигнал  $\Phi 1$  запускает формирователь  $\Phi 2$ , который срабатывает с задержкой, несколько превышающей время установления информации на числовых полушинах. Сигнал  $\Phi 3$  запускает усилители считывания, в результате чего происходит усиление информационных разбалансов напряжений числовых полушин и регенерация информации в ячейках выбранной строки.

Аналогичным образом при помощи задержанных строб-импульсов  $\Phi 3$  и  $\Phi 4$  информация выводится со столбца на шину ввода-вывода, а затем включается устройство вывода, которое, как и усилители считывания, построено по принципу предварительно сбалансированного триггера.

Если в момент подачи высокого уровня разрешающего сигнала  $\overline{SE}$  уровень сигнала выбора кристалла  $\overline{CS}$  также высокий (лог. "1" ТТЛ), то внутренний сигнал  $CS$  не вырабатывается, а следовательно, не запускаются формирователи  $\Phi 3$  и  $\Phi 4$ . При этом процесс обращения заканчивается срабатыванием усилителей считывания и регенерацией информации в ячейках. Выход ЗУПВ в этом случае имеет высокий импеданс.

При обращении в режиме записи внешний сигнал  $\overline{WE}$  должен находиться на низком логическом уровне, при этом внутренним сигналом  $WE$  запускается устройство ввода ( $Y_{\text{ВВ}}$ ) и на шине ввода-вывода устанавливается потенциал, соответствующий логическому уровню записываемой информации. Через открытый ключ выборки столбца этот



потенциал передается на числовую шину, а с нее на конденсатор хранения выбранной ячейки. Конец обращения определяется моментом установления сигнала  $\overline{CE}$  на низкий уровень. Следующий цикл обращения производится только после полного восстановления исходного состояния ЗУПВ.

**Система считывания.** Дифференциальный усилитель считывания ЗУПВ представляет собой триггер, к плечам которого подключены числовые шины.

Усилитель считывания взаимодействует с ячейками памяти следующим образом. Накопитель ЗУ К565РУ1 организован по матричному принципу. Массив ячеек симметричен относительно усилителей считывания, т.е. блок усилителей делит накопитель на две подматрицы. Один усилитель работает на 64 ячейки

памяти и вместе с ними образует один столбец накопителя. Электрическая схема столбца представлена на рис. 3, а временная диаграмма его работы — на рис. 4.

К каждому плечу усилителя подключены по 32 ячейки памяти, по одной опорной ячейке (VT1 и VT2 слева и VT11, VT12 — справа по схеме), VT3 и VT10 — транзисторы предварительного заряда, VT13 — транзистор ключа выборки столбца. Емкости  $C_{BL1}$  и  $C_{BL2}$  — паразитные емкости левой и правой полушин, которые включают в себя емкость собственно шины, емкости перекрытий ключевых транзисторов ячеек и входную емкость усилителя.

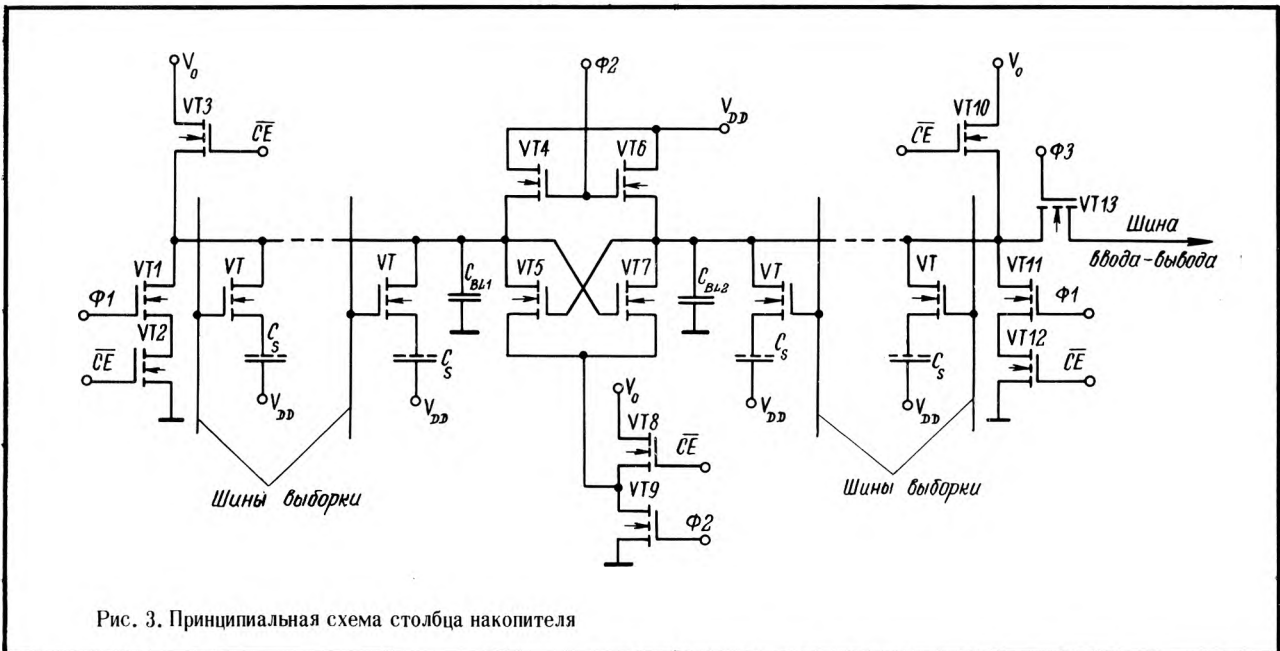


Рис. 3. Принципиальная схема столбца накопителя

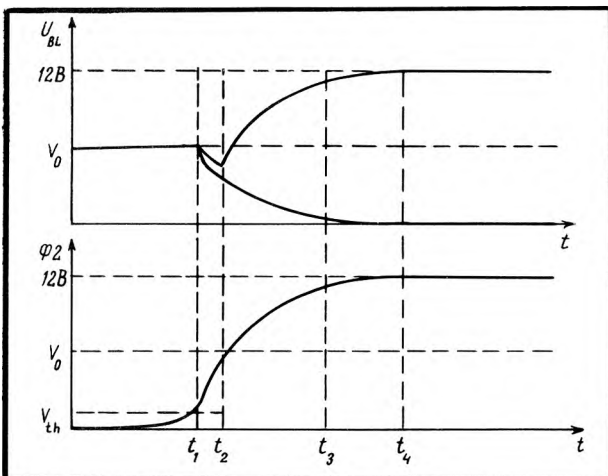


Рис. 4. Временная диаграмма работы столбца накопителя

Рассмотрим состояние схемы в паузе между двумя обращениями, т.е. при сигнале на входе  $\overline{CE} = 0$ . В этом интервале времени открыты транзисторы VT3, VT10 и VT8 и происходит заряд паразитных емкостей  $C_{BL1}$  и  $C_{BL2}$  до напряжения предварительного заряда  $U_{оп} \approx 6,4$  В. Значение  $U_{оп}$  выбирается таким, чтобы обеспечить равную чувствительность усилителя при считывании из ячейки уровней "0" и "1". Между циклами сигнал  $\Phi 2 = 0$  и усилитель не потребляет энергию от источника питания. Теперь, когда числовые полушины заряжены до равных потенциалов, система готова к проведению рабочего цикла записи или считывания.



Рассмотрим процесс считывания информации из ячейки, находящейся, например, в левой половине столбца (см. рис. 3). В начале цикла транзисторы VT3, VT8 и VT10 закрываются, сигнал выборки строки Ф1 с некоторой задержкой приобретает значение "1" (около 12 В) и через соответствующий ключ выборки строки поступает на шину выборки, т.е. на затворы ключевых транзисторов ячеек выбранной строки. Транзисторы открываются, и происходит перераспределение зарядов емкости хранения ячейки и паразитной емкости полушины. Это перераспределение вызывает изменение потенциала на числовой шине, которое должен различить усилитель считывания. Если рабочая ячейка памяти выбрана в левой половине столбца, то одновременно происходит возбуждение строки опорных ячеек правой половины. Опорные ячейки управляются старшим разрядом адресного регистра строк А5 и между циклами происходит их обнуление через открытые транзисторы VT2 и VT12. Использование опорных ячеек позволяет компенсировать емкостную помеху, возникающую при открывании ключевого транзистора рабочей ячейки. После установления на числовых полушинах малых информационных разбалансов сигнал Ф2 принимает значение "1". В интервале  $t_1 - t_2$  (см. рис. 4) происходит дискриминация малого сигнала, а с момента  $t_3$  разбаланс плеч становится равным максимальному. Как только разность потенциалов плеч

усилителя (числовых полушин) принимает значение, близкое к максимальному, на затвор транзистора VT13 выбранного столбца поступает высокий уровень сигнала Ф3 и правая полушина подключается к шине ввода-вывода информации.

Функционирование схемы столбца в режиме записи аналогично функционированию в режиме считывания. Записываемая информация с шины ввода-вывода через транзистор VT13 поступает на столбец и заряжает конденсатор хранения выбранной ячейки. К моменту открывания VT13 выборка строки уже произведена и транзистор ячейки открыт.

Так как одновременно включаются все 64 усилителя считывания, то в любом цикле записи или считывания происходит автоматическая регенерация информации по всей строке.

**Адресные формирователи.** Запоминающее устройство К565РУ1 полностью совместимо с ТТЛ ИС по всем входам, кроме тактового СЕ. Следовательно, при использовании этого ЗУ в системах нет необходимости в дополнительных формирователях, что позволяет получить высокую плотность информации и снизить потребляемую мощность в пересчете на блок. Система адресации ЗУ емкостью 4096 бит управляется 12 внешними адресными сигналами, необходимыми для выборки одной ячейки. Чтобы совместить МДП ЗУ, работающее с сигналами величиной около 12 В, с ТТЛ

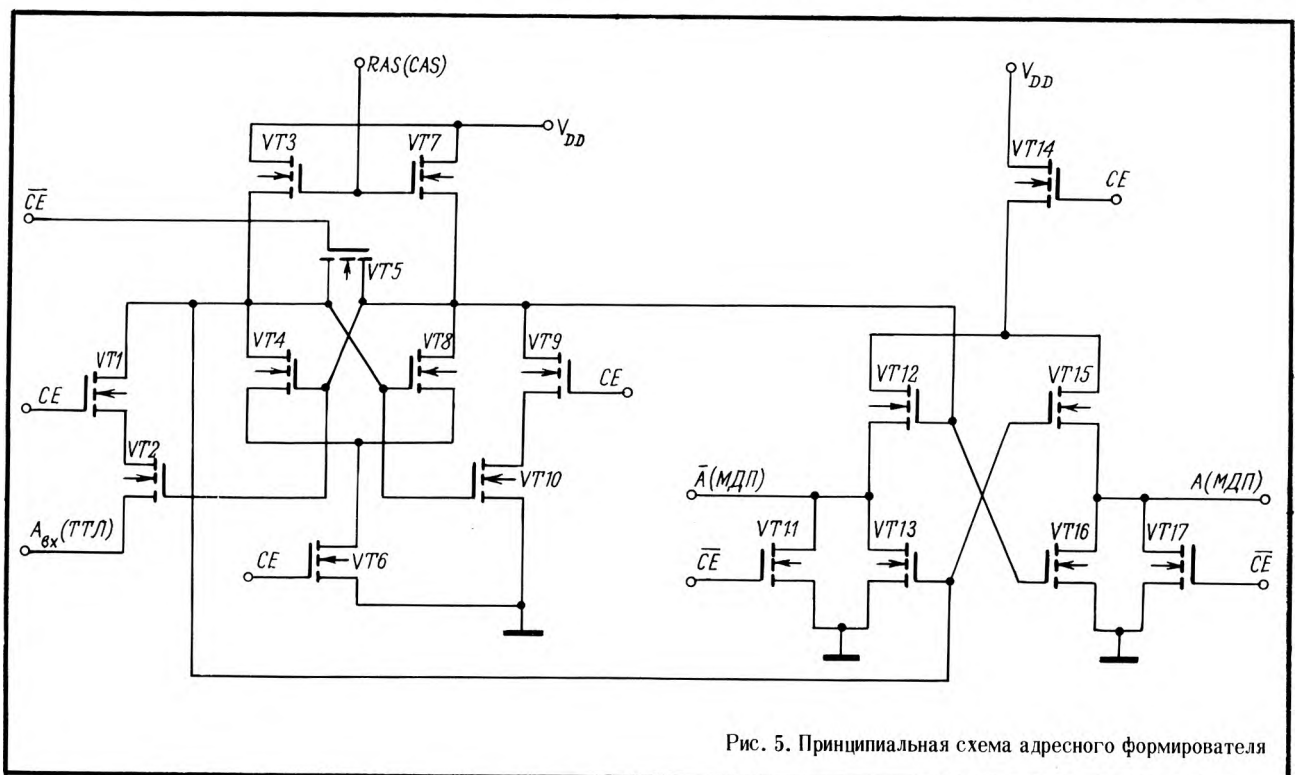


Рис. 5. Принципиальная схема адресного формирователя



ИС (2,4 В), на кристалле располагаются 12 адресных формирователей, преобразующих входные адресные сигналы ТТЛ-уровня в прямые и инверсные адресные сигналы МДП-уровня.

Схема адресного формирователя (рис. 5) состоит из чувствительной части, образованной транзисторами VT1–VT10, и выходного буфера (транзисторы VT11–VT17). Поскольку между обращениями ( $CE = 0$ ) открыты транзисторы VT3, VT7 и выравнивающий транзистор VT5, то плечи триггера имеют равные потенциалы. Транзисторы VT1, VT6 и VT9 введены в схему для снижения энергии потребления в паузе. При построении адресного формирователя система должна быть рассиметрирована настолько, чтобы величина порога срабатывания формирователя была близка к 1,5 В. Это значение лежит посередине между максимальным напряжением "0" и минимальным напряжением "1" ТТЛ ИС. Рассиметрирование чувствительной части обеспечивается транзисторами VT2 и VT10, имеющими различные крутизны, при этом исток VT10 находится на общей шине, а исток VT2 является входом адресного сигнала ТТЛ-уровня. С началом цикла, когда на входе CE сигнал соответствует уровню "1", сигнал RAS (CAS) нарастает до напряжения ~ 17 В, тем самым обеспечивая полную передачу напряжения питания на выходной буфер и увеличение быстродействия адресного формирователя. К началу цикла устанавливается сигнал  $A_{ВХ}$ , и на чувствительной части адресного формирователя происходит "сравнение" сигналов, воздействующих на плечи триггера. Опрокидывание триггера отслеживается выходной буферной схемой, на выходах которой устанавливаются взаимодополняющие логические сигналы МДП-уровня, необходимые для работы дешифраторов. После окончания переходного процесса срабатывания адресного формирователя сигнал RAS (CAS) приобретает значение "0", что существенно снижает потребляемую мощность за цикл, а информация об адресном сигнале хранится на паразитных емкостях плеч триггера. В установившемся состоянии адресный формирователь теряет чувствительность к изменению уровня сигнала  $A_{ВХ}$ , что дает возможность подготавливать входную адресную информацию к следующему циклу обращения.

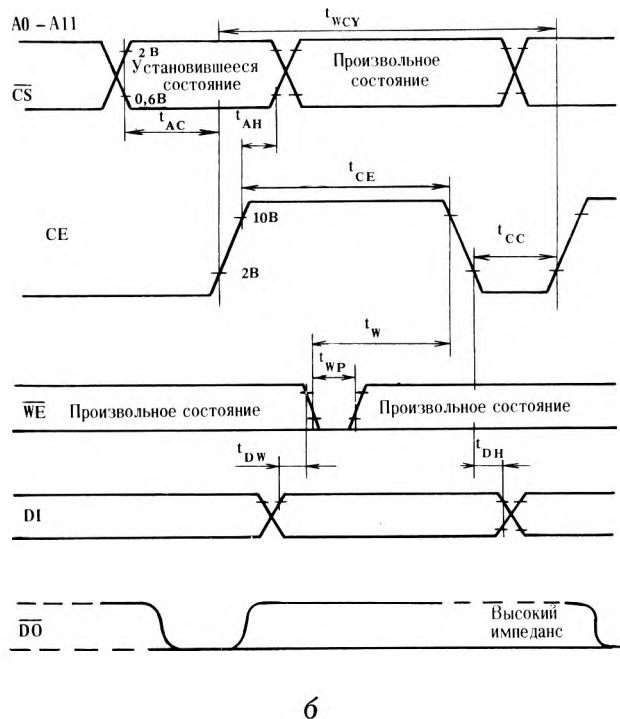
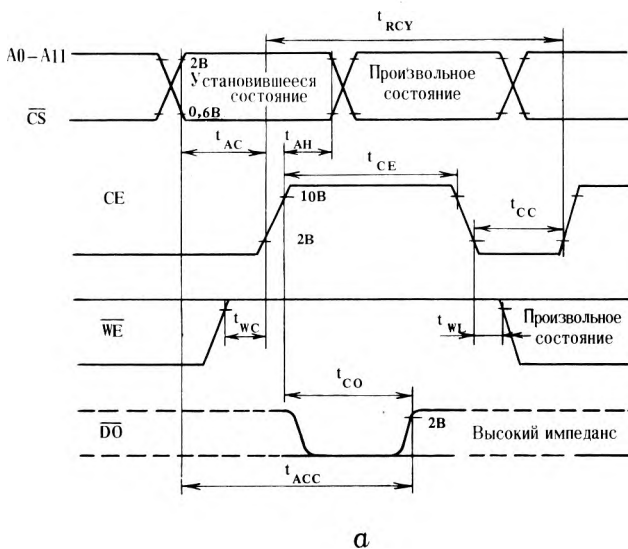


Рис. 6. Временные диаграммы цикла считывания (а) и записи (б)

Особенности применения ЗУПВ К565РУ1. Временные диаграммы сигналов воздействия для цикла считывания и записи приведены на рис. 6, а и б соответственно. Параметры временной диаграммы даны в таблице. Наличие в микросхеме ЗУПВ входных адресных формирователей с динамическим запоминанием позволяет осуществлять переключение адресных сигналов для следующего обращения в произвольный момент времени очередного обращения. Расширение памяти достигается объединением выходов ЗУПВ "монтажным ИЛИ", что обеспечивается возможностью дешиф-

### Особенности применения ЗУПВ К565РУ1.

Временные диаграммы сигналов воздействия для цикла считывания и записи приведены на рис. 6, а и б соответственно. Параметры временной диаграммы даны в таблице. Наличие в микросхеме ЗУПВ входных адресных формирователей с динамическим запоминанием позволяет осуществлять переключение адресных сигналов для следующего обращения в произвольный момент времени очередного обращения. Расширение памяти достигается объединением выходов ЗУПВ "монтажным ИЛИ", что обеспечивается возможностью дешиф-



Параметры управляющей временной диаграммы в диапазоне температур от 0 до +70°С,нс

Наименование и обозначение параметра	Значение	
	минимальное	максимальное
Период регенерации $t_{REF}$	$2 \cdot 10^3$	—
Время установления сигнала адреса $t_{AC}$	0	—
Время удержания сигнала адреса $t_{AH}$	100	—
Время восстановления $t_{CC}$	130	—
Длительность фронтов сигнала CE $t_T$	10	40
Длительность цикла обращения $t_{CY}$	400	—
Длительность сигнала CE $t_{CE}$	230	4000
Время выборки относительно сигнала разрешения $t_{CO}$	—	180
Время удержания сигнала считывания после CE $t_{WL}$	0	—
Время выборки относительно сигнала адреса $t_{ACC}$	—	200
Время установления сигнала считывания $t_{WC}$	0	—
Время записи информации $t_W$	150	—
Время установления входной информации $t_{DW}$	0	—
Время удержания входной информации после CE $t_{DH}$	0	—
Длительность сигнала записи $t_{WP}$	50	—

рации кристаллов по входу "выбор кристалла" (CS) и наличием на выходе свойственного для всех невыбранных кристаллов "третьего состояния", характеризующегося высоким выходным импедансом.

Во избежание неправильных срабатываний входных адресных защелок необходимо учитывать такую их особенность, как зависимость порога срабатывания от длительности фронта нарастания сигнала

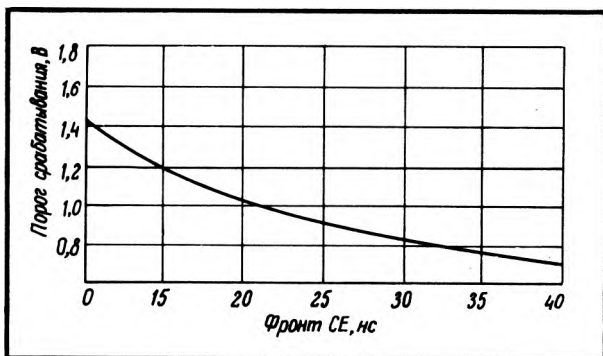


Рис. 7. Зависимость порога срабатывания адресного формирователя от фронта нарастания сигнала CE

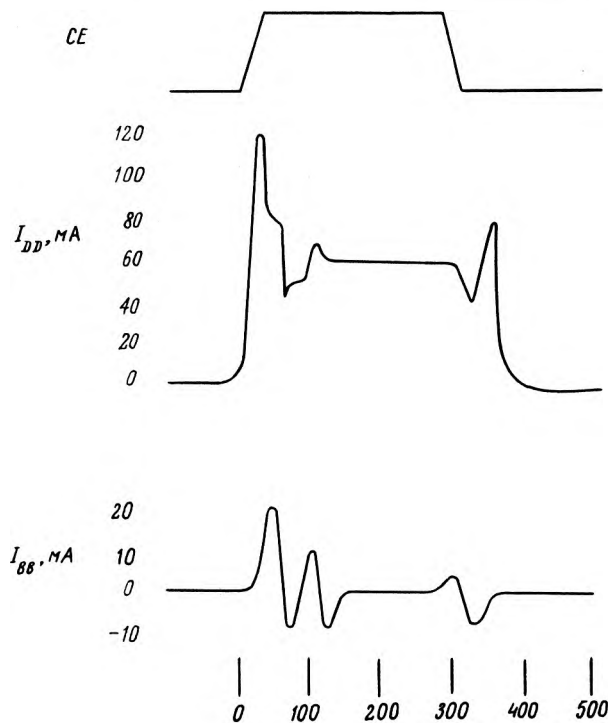


Рис. 8. Временные диаграммы токов потребления

нала разрешения CE. Такая типовая зависимость приведена на рис. 7.

При проектировании систем памяти на микросхемах К565РУ1 следует внимательно подходить к вопросу развязок по цепям питания источников +12 В ( $U_{DD}$ ) и -5 В ( $U_{BB}$ ).

Номиналы элементов развязок и конструкция платы должны обеспечивать пиковые значения выбросов на выводе ( $U_{DD}$ ) относительно общего вывода не более 200 мВ, а на выводе  $U_{BB}$  — не более 100 мВ. Типовые временные диаграммы токов потребления приведены на рис. 8. Диаграмма для тока по источнику +5 В ( $U_{CC}$ ) не приведена, так как этот источник используется только для питания выходного буфера с целью формирования выходного сигнала, совместимого с ТТЛ ИС.

Разработанное и освоенное в массовом производстве МДП ЗУПВ К565РУ1 обеспечивает построение систем памяти на их основе для широкого класса устройств цифровой техники и автоматики с высокими технико-экономическими показателями.



# ПОРТАТИВНЫЙ ТЕЛЕВИЗОР "ЭЛЕКТРОНИКА-11"



МАЛОГАБАРИТНЫЙ ПЕРЕНОСНОЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ПРИЕМНИК ЧЕРНО-БЕЛОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ.

ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ПРИЕМА ПЕРЕДАЧ НА ЛЮБОМ ИЗ 12 КАНАЛОВ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА, ПРИНЯТОГО В СССР ДЛЯ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ.

ОТЛИЧАЕТСЯ ВЫСОКОЙ НАДЕЖНОСТЬЮ, КОМПАКТНОСТЬЮ, ЭКОНОМИЧНОСТЬЮ.

УНИВЕРСАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ (ОТ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ЧЕРЕЗ СЕТЕВОЙ БЛОК, ОТ БОРТОВОЙ СЕТИ АВТОМОБИЛЯ), ТЕЛЕСКОПИЧЕСКАЯ АНТЕННА, А ТАКЖЕ ВОЗМОЖНОСТЬ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВНЕШНЕЙ АНТЕННЫ И ГОЛОВНЫХ ТЕЛЕФОНОВ ПОЗВОЛЯЮТ ПОЛЬЗОВАТЬСЯ ТЕЛЕВИЗОРОМ В ЛЮБЫХ УСЛОВИЯХ.

Размер экрана по диагонали, см	11
Чувствительность, мкВ	не хуже 100
Потребляемая мощность, Вт	6
Габариты, мм	100x160x230
Масса, кг	2,5



# ЦВЕТНОЙ МАЛОГАБАРИТНЫЙ ТЕЛЕВИЗОР "КАРПАТЫ"



Размер экрана по диагонали, см . . . . .	25
Чувствительность, мкВ . . . . .	не хуже 50
Разрешающая способность, лин . . . . .	200
Выходная мощность звукового канала, Вт . . . . .	0,3
Питание	
от сети, В . . . . .	220 (50 Гц)
от автономного источника питания, В . . . . .	12
Потребляемая мощность, Вт . . . . .	25
Габариты, мм . . . . .	334x255x225
Масса, кг . . . . .	7,5



В. В. Горовой, И. И. Петровский,  
Ю. И. Савотин

## РЕГИСТР ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ K155IP17

12-разрядный ТТЛ-регистр может применяться как в аналого-цифровых преобразователях, так и в цифровых устройствах в качестве преобразователя последовательного кода в параллельный, кольцевого счетчика и схемы управления в повторяющихся цифровых программах.

УДК 621.382.82.

По мере увеличения числа систем, использующих цифровые методы обработки и отображения информации, возрастает потребность в быстродействующих и недорогих аналого-цифровых преобразователях (АЦП), которые обеспечивают сопряжение системы с аналоговыми устройствами. Из всех существующих методов аналого-цифрового

преобразования наиболее универсальным является метод поразрядного взвешивания, который обеспечивает высокое быстродействие и представление аналогового сигнала в параллельном и в последовательном коде [1]. Однако при использовании этого метода необходимо усложнять цифровую часть схемы. Поэтому для АЦП поразрядного взвешивания необходимо достаточно простое и быстродействующее цифровое устройство. Таким устройством может служить разработанная микросхема 12-разрядного ТТЛ-регистра последовательного приближения K155IP17 (рис. 1).

Схема работает как последовательно-параллельный преобразователь, который принимает информацию на вход данных (вход  $D$ ) и пересылает ее к соответствующему разряду регистра при положительном импульсе синхронизации (вход  $C$ ). Запись информации в регистр осуществляется последовательно, начиная со старшего разряда  $Q_{11}$ . Одновременно с ее поступлением на один из разрядов регистра следующий, более младший разряд сбрасывается в состояние "0", что сигнализирует о его готовности принимать информацию при следующем положительном импульсе синхронизации. В исходное состояние регистр устанавливается при поступлении на стартовый вход (вход  $\bar{S}$ ) уровня "0", при этом старший разряд регистра сбрасывается в состояние "0", а остальные разряды

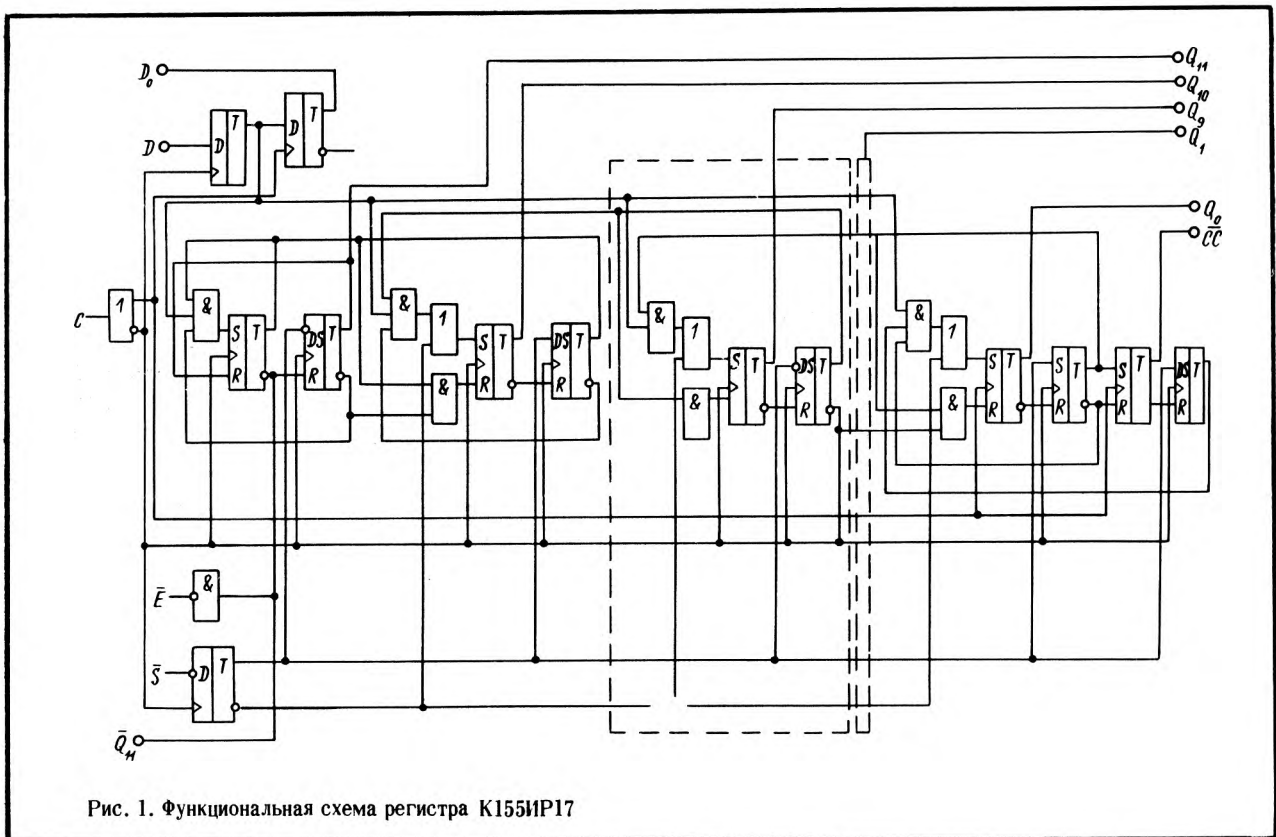


Рис. 1. Функциональная схема регистра K155IP17





Кроме прямого, в регистре предусмотрен инверсный выход старшего разряда  $\bar{Q}_{11}$ , который используется при представлении биполярного аналогового сигнала в дополнительном или обратном цифровом коде. Для контроля поступающей в регистр информации имеется прямой выход данных  $D_0$ .

В микросхеме предусмотрен асинхронный вход разрешения  $\bar{E}$ , позволяющий каскадировать регистры для получения любого числа разрядов. 24-разрядный регистр, показанный на рис. 3, может применяться в цифровой технике при использовании регистра для преобразования последовательного кода в параллельный. Возможно также использование регистра в качестве устройства управления в повторяющихся цифровых программах (извлечение квадратного корня, деление и т.д.). При наличии обратной связи с выхода  $\bar{C}\bar{C}$  на вход  $\bar{E}$  и подаче на вход  $D$  постоянного уровня "1" получаем схему кольцевого счетчика ("бегущий ноль"), которая широко применяется для линейной выборки в памяти в качестве генератора последовательности в системах управления.

Все разряды регистра идентичны и выполнены на основе триггеров типа "основной-вспомогательный" [2, 3] со встроенной логикой. В целях упрощения принципиальной схемы и уменьшения потребляемой мощности внутренняя логика микросхемы, при которой не требуется больших значений нагрузочной способности и помехоустойчиво-

сти, строится на основе простейших логических элементов ТТЛ-1, в то время как на выходах всех разрядов для получения приемлемых значений нагрузочной способности, быстродействия и помехоустойчивости применены усложненные вентили ТТЛ-4у [3]. Мощность управляющей логики на входах  $D$ ,  $\bar{S}$ ,  $C$  выше, чем у остальной части схемы, что позволяет исключить потери быстродействия схемы за счет времени предустановки.

Для работы схемы необходима двухфазная последовательность тактовых импульсов, которая вырабатывается с помощью специальной схемы синхронизации. Управляющая логика и триггеры типа "основной" срабатывают при положительном перепаде импульса  $\phi_1$ , а триггеры типа "вспомогательный", отвечающие за вывод информации на выходы разрядов, — при положительном перепаде импульса  $\phi_2$  (рис. 4). С целью исключения возможных сбоев при работе регистра и компаратора с относительно пологими фронтами импульсов, резисторы схемы синхронизации рассчитывались таким образом, чтобы свести к минимуму сдвиг  $\Delta$  между последовательностями импульсов  $\phi_1$  и  $\phi_2$ .

Ниже приведены максимальные электрические параметры микросхемы регистра:

$U_{\text{ВЫХ}}^0$ , В	0,4	$t_{\text{зд.р}}^0$ , нс	28
$U_{\text{ВЫХ}}^1$ , В	2,4	$t_{\text{зд.р}}^1$ , нс	38
$I_{\text{ВХ}}^0$ , мА	-1,6	$t_{\text{подг по входу } D}$ , нс	8
$I_{\text{ВХ}}^1$ , мА	40	$t_{\text{подг по входу } \bar{S}}$ , нс	16
$I_{\text{ПОТ}}$ , мА	124	$f$ , МГц	15

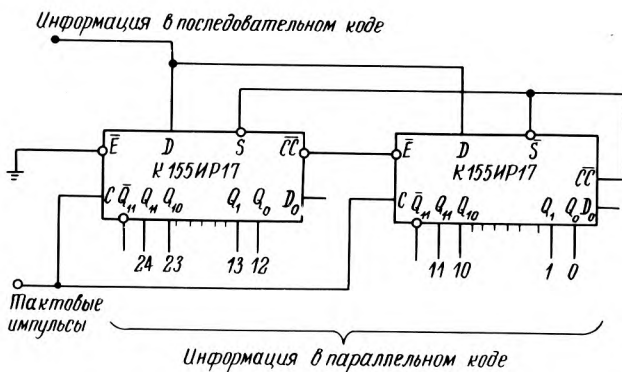


Рис. 3. 24-разрядный регистр последовательного приближения на основе микросхемы К155ИР17

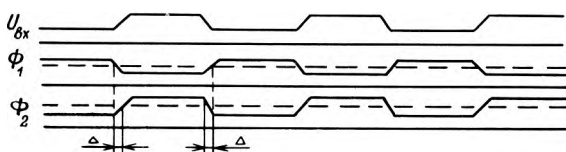


Рис. 4. Временная диаграмма работы схемы синхронизации регистра последовательного приближения

Микросхема изготавливается по планарно-эпитаксиальной технологии и выполняется в двух конструктивных вариантах: в 24-выводном пластмассовом корпусе типа DIP и в 24-выводном плоском металлокерамическом корпусе типа ТУФ, рассчитанных на рабочие температуры от -10 до +70°C и от -60 до +125°C соответственно. По рабочим уровням сигналов микросхема 12-разрядного ТТЛ-регистра совместима с ТТЛ-микросхемами промышленных серий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребен А.Б. Проектирование аналоговых интегральных схем. М., "Энергия", 1976.
2. Букреев Н.Н., Мансуров Б.М., Горячев В.И. Микроэлектронные схемы цифровых устройств. М., Сов. радио", 1975.
3. Шагурин И.И. Транзисторно-транзисторные логические схемы. М., "Сов.радио", 1974.



П. П. Гойденко, Л. Н. Цуканов, А. Г. Черных

## МИКРОСХЕМЫ К512ПС2 И К512ПС3 НА КМОП-СТРУКТУРАХ С НАПРЯЖЕНИЕМ ПИТАНИЯ 1,2–1,5В

Микросхемы К512ПС2 и К512ПС3 предназначены для работы в электронно-механических приборах точного времени в качестве усилителей, делителей частоты, формирователей импульсов для управления шаговым двигателем или балансовым механизмом.

УДК 621.3.049.776.002

Функциональная схема К512ПС2 показана на рис.1. Входной инвертор Д1 является составной частью кварцевого генератора, работающего на частоте 32,768 Гц. Инверторы Д2, Д3 служат для формирования фронтов сигнала генератора и управления первым триггером делителя частоты.

С целью уменьшения количества элементов в делителе частоты Д4—Д19 используются ста-

тические Д-триггеры, не имеющие цепей установки уровней «0» и «1». Поэтому при включении напряжения питания триггер может принимать произвольное состояние. Однако за время не более 1,0 с после подачи сигнала частота следования выходных импульсов устанавливается и далее соответствует коэффициенту деления  $K = 2^{16}$ . Благодаря использованию 16 последовательно включенных статических Д-триггеров частота кварцевого генератора не превышает 0,5 Гц.

Формирователи сигнала управления шаговым двигателем Д20, Д21 представляют собой две шестивыходовые логические схемы ИЛИ-НЕ, управляющие мощными выходными инверторами Д22, Д23. Длительность выходного сигнала соответствует половине периода переключения триггера Д14, а частота следования сигналов по одному из выходов микросхемы — частоте переключения последнего триггера Д19.

Для управления шаговым двигателем необходим двуполярный сигнал частоты 1 Гц с длительностью импульсов 0,03125 с. Так как с помощью КМОП-схем нельзя получить двуполярные импульсы, в микросхеме используются два однополярных сигнала частотой 0,5 Гц, сдвинутые относительно друг друга на полпериода. Таким образом, на шаговый двигатель, включенный между выходами формирователей этих сигналов (выход 1 — выход 2), подается питание в течение 0,0625 с с изменением фазы на противоположную.

Микросхема К512ПС3 (рис.2) отличается от К512ПС2 коэффициентом деления частоты и отсутствием формирователей выходного сигнала. Для управления балансовым механизмом

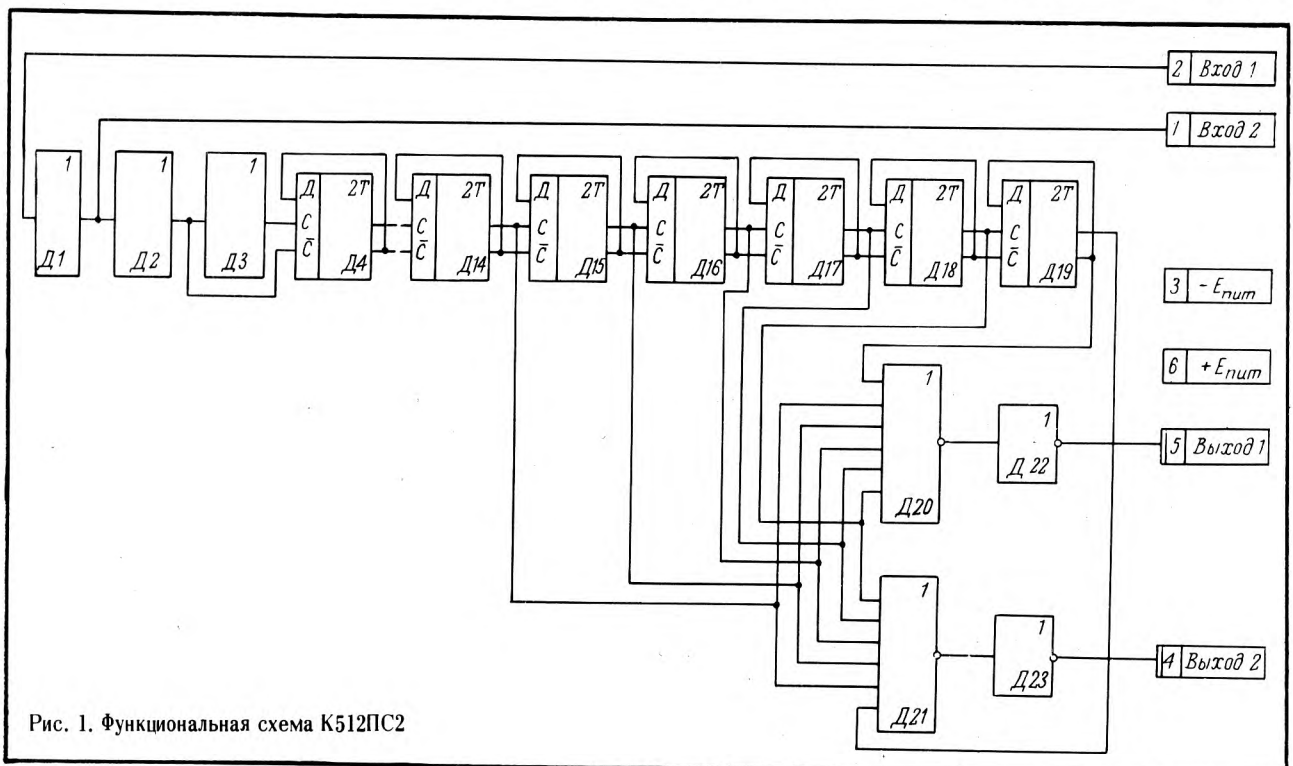


Рис. 1. Функциональная схема К512ПС2

в ней предусмотрен один маломощный выход. Входные инверторы и D-триггеры делителя частоты идентичны для обеих схем.

Ниже приведены типовые значения основных электрических параметров схем при температуре 25°C.

	K512ПС2	K512ПС3
Напряжение питания, В .....	1,5 ± 10 %	1,2 ± 20 %
Ток потребления в динамическом режиме, мА .....	6	4
Выходное напряжение, В .....	1,0 (при напряжении источника питания 1,5 В и сопротивлении нагрузки $R_H = 4,48 \text{ кОм}$ )	0,15 (снимается с открытого канала выходного транзистора микросхемы при напряжении источника питания 1,2 В и сопротивлении нагрузки $R_H = 560 \text{ кОм}$ )
Коэффициент деления частоты ...	2 <sup>16</sup>	2 <sup>12</sup>
Длительность прямоугольного импульса на выходе микросхемы, мс .....	25–37,5	50–75
Предельно допустимое значение напряжения питания, В .....	1,65	2,0

Зависимости значений выходных напряжений от напряжения источника питания, температуры и величины сопротивления нагрузки для микросхем K512ПС2 и K512ПС3 показаны на рис.3,а-г. На рис.4,а,б приведены зависимости тока потребления от напряжения источника питания, частоты входного сигнала и температуры кристалла.

Микросхемы изготовлены по ТМОП (тугоплавкий металл—окисел—полупроводник) - технологии в сочетании со стандартной технологией комплементарных структур. Применение молибденового затвора, а также дополнительного процесса ионного подлегирования области канала МОП-структур позволило получить достаточно низкие и воспроизводимые по величине пороговые напряжения ( $0,6 \pm 0,2 \text{ В}$ ). Для увеличения плотности упаковки элементов использована двухуровневая разводка.

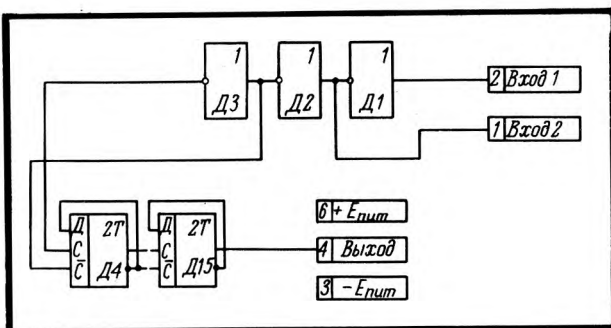


Рис. 2. Функциональная схема K512ПС3

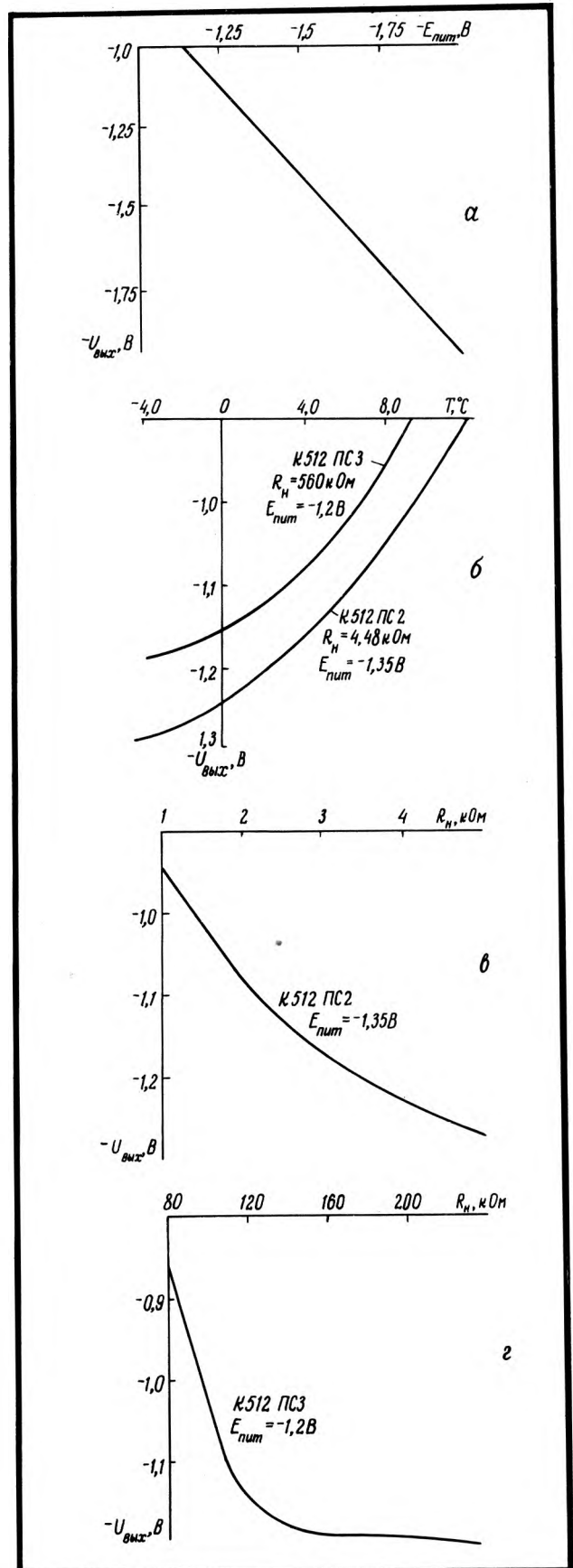


Рис. 3. Зависимости выходного напряжения от напряжения источника питания (а), от температуры кристалла (б), от величины сопротивления нагрузки (в, г)



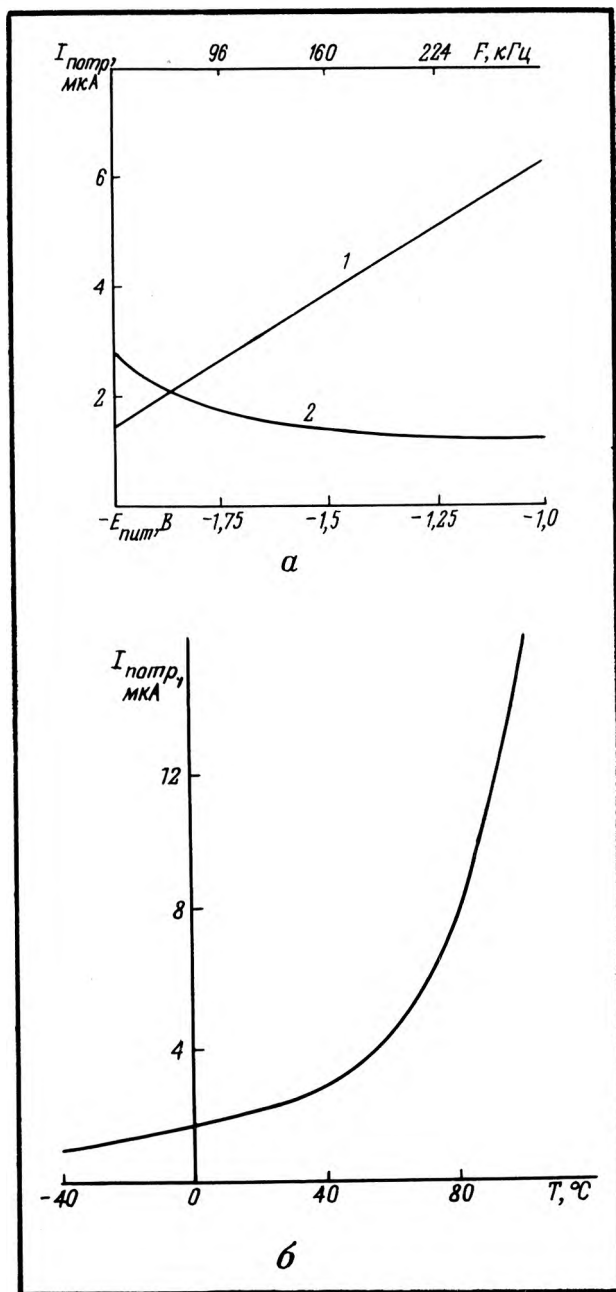


Рис. 4. Зависимость тока потребления: а – от частоты входного сигнала (1) и от напряжения источника питания (2); б – от температуры кристалла

Микросхемы К512ПС2 и К512ПС3 выполнены на кристаллах 1,5x1,5 мм и 1,2x1,0 мм соответственно. Кристаллы герметизированы в пластмассовых корпусах с шестью планарно расположенными выводами типа 401.Г6-1. Диапазон рабочих температур от -10 до +55 $^{\circ}C$ .

Микросхемы К512ПС2 и К512ПС3 найдут широкое применение в электронно-механических приборах точного времени с ограниченным энергетическим ресурсом.

Статья поступила 15 февраля 1978 г.

Б. А. Сериков, В. С. Степенин

## БОЛЬШИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ К145ИК8 И К145ИК11 ДЛЯ КНОПЧНЫХ ТЕЛЕФОННЫХ АППАРАТОВ

УДК 621.3.049.771.14

Для кнопочных телефонных аппаратов создана серия цифровых БИС, включающая БИС электронного номеронабирателя К145ИК8 и БИС управления ОЗУ К145ИК11. Схемы разработаны по стандартной КМДП-технологии с алюминиевыми затворами и обеспечивают работоспособность в диапазоне питающих напряжений от 6 до 10 В. Конструктивно они выполнены в керамических корпусах с 42 планарными выводами. Статическая мощность, потребляемая микросхемой К145ИК8, в нормальных условиях не превышает 1,5 мВт, а микросхемой К145ИК11 – 0,5 мВт.

БИС электронного номеронабирателя К145ИК8, структурная схема которого приведена на рис. 1, осуществляет выдачу набираемых на клавиатуре цифр в канал связи в виде серии импульсов с частотой следования 10 Гц, что соответствует быстродействию аппарата с дисковым номеронабирателем.

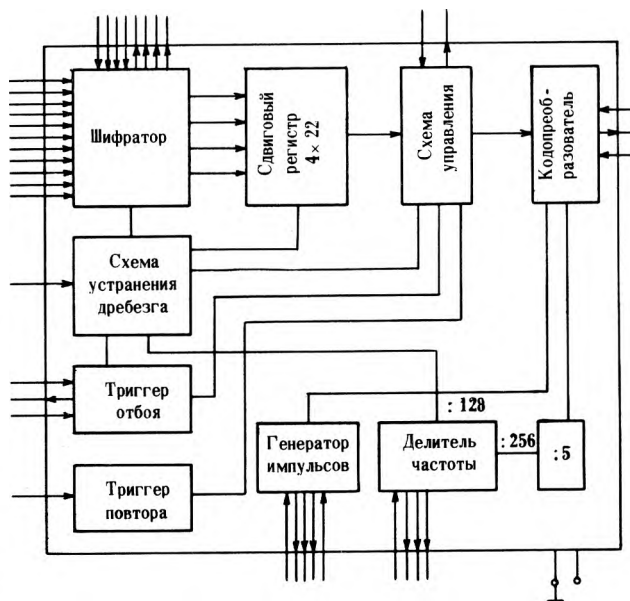


Рис. 1. Структурная схема электронного номеронабирателя К145ИК8

В схеме предусмотрена возможность работы с сериями импульсов, следующих с частотой 10 или 20 Гц, что соответствует международным стандартам. При этом междущифровые интервалы составляют не менее 800 мс (межсерийное время).

По окончании набора цифрового кода любой разрядности схема запоминает последние 20 разрядов набираемого десятичного числа. Это число может неоднократно выдаваться в линию после последовательного нажатия клавиш "Отбой" и "Повтор". Стирается число отключением питания. Шифратор, преобразующий десятичный код в соответствии с нажатой клавишей (от 0 до 9), включен в состав схемы номеронабирателя. В совокупности со схемой устранения дребезга он обеспечивает четкий прием набираемого кода в регистр при нажатии кнопки. Схема имеет четыре выхода для переписи информации в ОЗУ и четыре входа для ее записи из ОЗУ в собственный накопитель номеронабирателя для последующей посылки в линию. Схема работает от собственного генератора импульсов во время выдачи и приема информации, который останавливается после выдачи в линию последнего числа.

БИС управления ОЗУ К145ИК11 (рис. 2) предназначена для связи схемы К145ИК8 с ОЗУ емкостью 256 бит (К564РУ2). В режиме "запись" осуществляется запись номеров абонентов из номеронабирателя в ОЗУ при нажатии кнопки, на которой

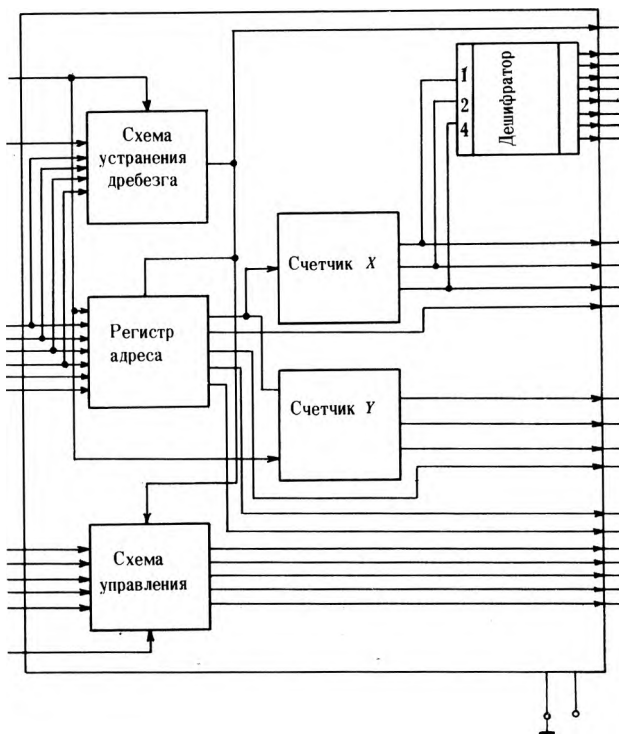


Рис. 2. Структурная схема БИС К145ИК11

указаны данные абонента. Необходимый телефонный номер вводится с помощью кнопочного номеронабирателя. В режиме "считывание" происходит передача записанных в ОЗУ номеров абонентов в номеронабиратель, а затем в линию. Эти функции выполняются в аппарате после нажатия одной из кнопок с указанием данных абонента.

Схема электронного номеронабирателя в основном предназначена для создания перспективных телефонных аппаратов на большое количество абонентов.

Комплект схем для аппаратов на 32 абонента будет включать БИС К145ИК8, К145ИК11 и четыре схемы К564РУ2.

Статья поступила 20 декабря 1977 г.

В. П. Быков, Е. Ю. Кузнецов, Л. К. Минкин

## ОДНОКРИСТАЛЬНЫЙ МИКРОПРОГРАММИРУЕМЫЙ ПРОЦЕССОР К145ИП11

Однокристалльный микропрограммируемый процессор для микрокалькулятора выполняет шесть базовых арифметических операций и две операции регистровой арифметики при небольшой потребляемой мощности и минимальном числе внешних компонентов.

УДК 681.325.5.

Любой современный микрокалькулятор основан на применении одно-, реже многокристалльных БИС с уровнем интеграции  $\sim 10^4$  элементов на кристалле. В этих схемах реализуются вычислительные, операционные и системные функции, объединяемые одним общим названием "функционально-потребительские характеристики". Работа процессора микрокалькулятора может осуществляться под управлением аппаратной "жесткой" логики. Обработка данных в этом случае выполняется на одноразрядных двоично-десятичных сумматорах-вычитателях последовательно-последовательным способом с хранением данных на динамических сдвиговых регистрах.



Использование микропроцессорной идеологии позволяет создавать однокристалльные БИС процессоры, работающие под управлением микропрограмм, записанных в управляющих ПЗУ. Обработка данных в таком случае выполняется либо на одно-разрядном двоичном сумматоре последовательно-последовательным способом и хранением данных в динамических сдвиговых регистрах, либо на 4-битном двоичном сумматоре параллельно-последовательным способом со статическим хранением данных в динамическом ЗУПВ. Применение микропроцессорной структуры позволяет создавать гибкую систему базовых кристаллов, совместимых по математическому и аппаратному обеспечению с разными информационными емкостями ПЗУ и ЗУПВ. Функциональные возможности таких кристаллов легко изменяются с помощью маскирования управляющего ПЗУ при изготовлении. Это снижает затраты на разработку и сокращает сроки изготовления микрокалькуляторов с различными функционально-потребительскими характеристиками.

Основная задача при проектировании прибора К145ИП11 состояла в том, чтобы на площади схемного кристалла в 13–15 мм<sup>2</sup> разместить все элементы – центральный процессор, микропрограммное ПЗУ, информационное ЗУПВ, интерфейс ввода-вывода, шины связей, тактовые генераторы. Ее решение позволило создать БИС для 25-клавишного однокристалльного микрокалькулятора, ориентированного на выполнение базовых арифметических операций и операций регистровой арифметики. БИС представляет собой однокристалльный микропрограммируемый процессор, выполняющий следующие функции:

- вычислительные (сложение, вычитание, деление, умножение, извлечение квадратного корня, вычисление процентов, операции с приближенными числами; операции с автоматической константой; цепные операции; регистровая арифметика  $P_+$ ,  $P_-$ );
- операционные (смена знака числа в регистре ввода-вывода; очистка регистра памяти; запись содержимого регистра памяти в регистр ввода-вывода; обмен содержимого между регистрами ввода-вывода и памяти);
- системные (автоматическая очистка всех регистров ЗУПВ при включении питания; антипереполнение; анализ переполнения, некорректных операций, занятости памяти и знака числа в регистре ввода-вывода; параллельный 4-битный ввод с десятичной клавиатуры; вывод на 9-знакоместный мультиплексный 7-сегментный плюс десятичная

точка индикатор на СИД или вакуумных катодолюминесцентных приборах).

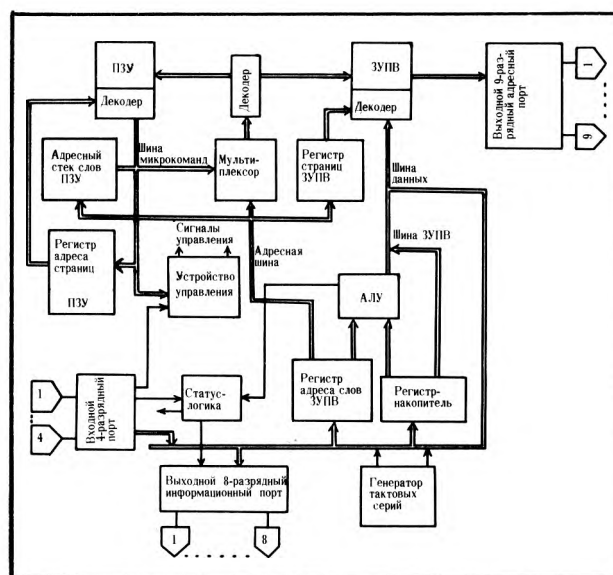
Процессор оперирует с 8-разрядными десятичными числами, представленными при вводе и выводе в форме с естественной запятой. Архитектура БИС представляет собой 4-битную 4-шинную децентрализованную структуру, в которой реализован способ поцифровой (последовательно-параллельной) обработки данных. Прибор К145ИП11 (см. рисунок) включает следующие основные элементы.

*Энергозависимое информационное динамическое ЗУПВ* для хранения данных и служебной информации емкостью 180 бит со страничной организацией (3 страницы по 15 4-битных слов на каждой);

*Микропрограммируемое ПЗУ*, в котором методом "запрограммированной маски" записаны управляющие микропрограммы, емкостью 4096 бит, со страничной организацией (8 страниц по 64-однобайтовых микрокоманд на странице). Общий объем микропрограмм составляет 512 микрокоманд.

**4-битный двоичный процессор**, состоящий из арифметико-логического устройства, регистра накопителя, двухуровневого 6-битного адресного стека ПЗУ с программным счетчиком (использован генератор псевдослучайных чисел) и двухуровневого 3-битного адресного стека страниц ПЗУ; статус-логики; 4-битного адресного регистра слов ЗУПВ; устройства управления; 2-битного адресного регистра страниц ЗУПВ.

*Трехпортовый интерфейс* (один входной параллельный 4-разрядный порт; два выходных порта: 9-разрядный адресный порт с последовательным и



Структурная схема микропрограммируемого процессора К 145ИП11

8-разрядный информационный порт с параллельным выводом информации в 7-сегментном плюс десятичная точка кода). Адресный порт используется для сканирования клавиатуры и адресации цифр индикатора.

Генератор тактовых серий (период синхронизации 12–18 мкс разделен на 6 тактов).

Прибор K145ИП11 имеет набор из 26 микрокоманд (см. таблицу), которые обладают специфическими особенностями, связанными с принципом его архитектуры: например, операции ввода-вывода, защиты от механического "дребезга" и одновременного нажатия двух или более клавиш, а также операции сложения, вычитания, преобразования кодов, сдвигов и т. д., которые реализуются по определенным микропрограммам.

Каждая микрокоманда выполняется в течение одного периода синхронизации, за исключением микрокоманд передачи управления, требующих для своего выполнения два периода. Время выполнения операции сложения-вычитания составляет 50–60 мс, умножения-деления – 150–200 мс, извлечения корня – 400–500 мс, задержки на "дребезг" – 12–14 мс.

Характерной особенностью выходных каскадов БИС является использование выходного ключа со свободным истоком и отдельного объединенного вывода стоков адресных ключей. Это обеспечивает возможность подключения различного вида индикаторных устройств.

БИС реализована на кремниевом кристалле по стандартной *p*-канальной технологии с алюминиевыми затворами. Общее число элементов на кристалле составляет 6299 (4303 транзистора и 1996 конденсаторов). Число контактных площадок – 30. Кристалл микросхемы защищен монокристаллическим корпусом с 48 выводами. Вес микросхемы не более 5 г.

Статья поступила 20 декабря 1977 г.

NN	Формат микрокоманды								Комментарии
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>	Z <sub>7</sub>	Z <sub>8</sub>	
1	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	∅	NOP
2	1	1	0	0	0	0	0	0	Проверка состояния флага ввода в статус-логике. При состоянии "1" пропуск следующей микрокоманды
3	x	x	0	0	0	0	1	0	Проверка состояния биты (адрес указан регистром адреса слов и страниц ЗУПВ и полем ХХ микрокоманды)
4	x	x	0	0	0	1	0	0	Записать в биты (адрес указан регистром адреса слов и страниц ЗУПВ и полем ХХ) ЗУПВ "1"
5	x	x	0	0	0	1	0	1	Записать в биты (адрес указан регистром адреса слов и страниц ЗУПВ и полем ХХ) ЗУПВ "0"
6	0	0	0	0	0	1	1	0	Возврат из подпрограммы
7	x	x	0	0	1	0	x	x	Записать в регистр адреса слова ЗУПВ константу, указанную полем ХХХХ
8	x	x	0	0	1	1	x	x	То же, что в микрокоманде 7
9	x	x	0	0	1	1	0	1	Записать в регистр адреса страниц ПЗУ константу, указанную полем ХХ
10	x	x	0	0	1	1	0	0	То же, что в микрокоманде 9
11	0	0	0	0	1	1	1	0	Сформировать в регистре-накопителе обратный код
12	0	1	0	0	1	1	1	0	Установить триггер переноса в АЛУ в "1"
13	1	1	0	0	1	1	1	0	Установить триггер переноса в АЛУ в "0"
14	x	x	0	1	0	0	x	x	Записать в регистр-накопитель константу, указанную полем ХХХХ. Проверить триггер переноса в АЛУ
15	x	x	0	1	0	1	0	0	Переписать содержимое слова ЗУПВ, указанное регистром адреса слов ЗУПВ и полем ХХ в регистр-накопитель
16	x	x	0	1	0	1	0	1	Обменять содержимое регистра-накопителя со словом ЗУПВ, указанным регистром адреса слов ЗУПВ и полем ХХ
17	x	x	0	1	0	1	1	0	Увеличить на 1 содержимое слова ЗУПВ, указанное регистром адреса слов ЗУПВ и полем ХХ. Проверить триггер переноса в АЛУ
18	x	x	0	1	0	1	1	1	Записать в ЗУПВ по адресу, указанному регистром адреса слов ЗУПВ и полем ХХ, содержимое регистра-накопителя
19	x	x	0	1	1	0	x	x	Содержимое регистра-накопителя сложить с константой, указанной полем ХХХХ, проверить триггер переноса в АЛУ
20	1	1	0	1	1	0	1	1	Ввести содержимое входного порта в регистр-накопитель
21	x	x	0	1	1	1	0	0	Сложить содержимое регистра-накопителя со словом ЗУПВ, указанным регистром адреса слов ЗУПВ и полем ХХ. Проверить триггер переноса в АЛУ
22	0	0	0	1	1	1	0	1	Очистить выходной 8-разрядный порт
23	1	0	0	1	1	1	0	1	Выдать на выходные порты информацию
24	0	0	0	1	1	1	1	1	Проверить содержимое слова ЗУПВ, указанное регистром адреса слов и страниц ЗУПВ. При равенстве 0 пропуск следующей микрокоманды
25	x	x	1	0	x	x	x	x	Передать управление ие подпрограмме по адресу ХХХХХХ при состоянии "программа"
26	x	x	1	1	x	x	x	x	Передать управление по адресу ХХХХХ



НОВАЯ КНИГА

ПАРАЭЛЕКТРИКИ, СВЕРХПРОВОДНИКИ  
И ПОЛУПРОВОДНИКИ В КРИОЭЛЕКТРОНИКЕ.

Алфеев В. Н.

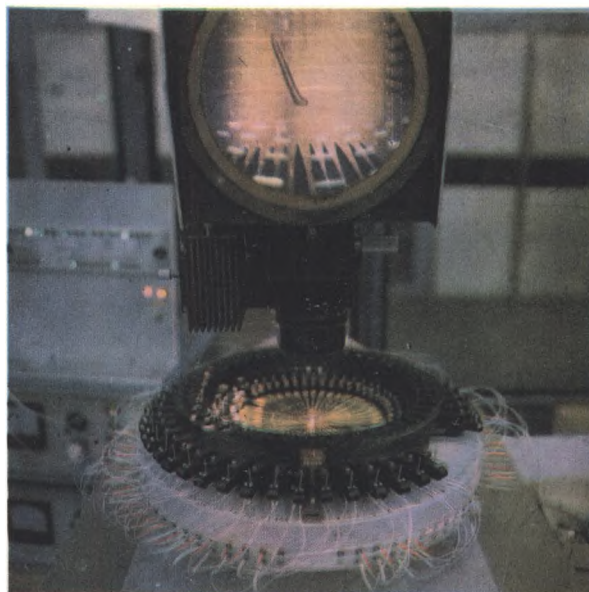
Монография посвящена проблемам создания устройств на базе сверхпроводников и М., "Советское радио", других материалов, проявляющих свои свойства преимущественно при охлаждении.

20 л., 1200 экз.

Даны описания явлений в пленочных структурах "сверхпроводник-полупроводник", в низкотемпературных параэлектриках, полупроводниках, а также физических принципов работы приборов на основе этих явлений, приведены результаты расчетов и экспериментов. Рассмотрены пути создания криоэлектронных устройств с высокой степенью интеграции функций.



# ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА



М. М. Гельман

## ПОСТРОЕНИЕ АГРЕГАТИРУЕМЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ УНИФИКАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК

*( В порядке обсуждения )*

**Обсуждается возможность построения измерительных систем широкого применения на основе различных технических средств, агрегируемых посредством типовых модулей сопряжения с расширенными диапазонами параметров.**

удк 621.317.757

Многообразие задач в области измерений обусловило появление трех (по характеру применения) видов цифровых измерительных систем: узкоспециализированных, проблемно-ориентированных и

универсальных многоцелевого назначения. Характерное для всех систем отсутствие единых типовых средств алгоритмического, программного и аппаратурного обеспечения, доступных широкому кругу пользователей, сдерживает темпы автоматизации измерений. Нередко исключается возможность включения в стандартные измерительные системы серийной, широко распространенной аппаратуры, которая разрабатывалась без учета конкретных системных требований и предназначалась в основном для автономного применения. Речь идет о многих десятках тысяч единиц оборудования — средств вычислительной техники и 800 млн. измерительных приборов и устройств (в последние годы их число превышает два миллиарда) обширной номенклатуры [1]. Изъять эту аппаратуру из обращения или ограничить ее применение значило бы существенно снизить как эффективность использования технических средств, так и эффективность соответствующих подотраслей приборостроительной промышленности.

К сказанному следует добавить, что все средства измерительной техники время от времени должны проверяться соответствующими государственными или ведомственными органами. Непрерывно увеличивающийся парк и расширяющаяся номенклатура измерительной аппаратуры требуют нового качественного подхода к организации поверочных работ, что связано, в первую очередь, с необходимостью автоматизации сбора и обра-

ботки данных. При подключении поверяемой аппаратуры к поверочной системе должны выполняться условия сопряжения. На ближайшие годы не предвидится объективных возможностей унифицировать характеристики всех измерительных устройств. Кроме того, всегда будут разрабатываться и применяться уникальные приборы. Поэтому стандартизация и унификация измерительных систем не обеспечивают должной организации единообразной аппаратной системы для проверок и аттестации различных измерительных приборов в масштабах страны, а также достаточно эффективной комплексной автоматизации поверочных работ, так как при таком подходе каждая поверочная лаборатория должна располагать набором различных систем в соответствии с номенклатурой поверяемой аппаратуры.

В настоящей статье обсуждается возможный подход к созданию развитых цифровых измерительных систем на базе серийно выпускаемой аппаратуры с различным уровнем унификации характеристик, агрегируемой специальными модулями сопряжения. Такой подход может оказаться доступным широкому потребителю.

Автоматическую цифровую измерительную систему можно представить обобщенной моделью (см. рисунок), которая содержит совокупность первичных измерительных преобразователей (ИП), подключенных к объекту измерений, централь (ядро) и средства сопряжения ИП с централью. Централью в зависимости от назначения системы и алгоритма измерений является аппаратура сбора, регистрации (запоминания) и (или) отображения данных, либо вычислительное устройство с периферийным оборудованием, обеспечивающее обработку и вывод информации в форме, удобной для ее дальнейшего использования. Чтобы передать эквиваленты измеряемых

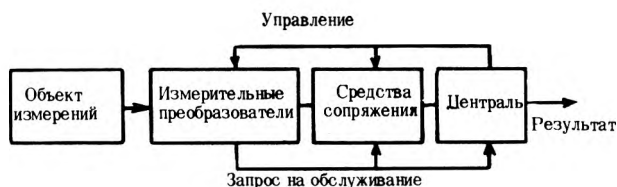
величин в централь, необходимо обеспечить сопряжение ИП с централью в соответствии с условиями совместимости ряда характеристик функциональных элементов (ФЭ)\*.

Для того, чтобы блоки модели, а в реальных системах соответствующие ФЭ, были совместимы, свойства сигналов, передаваемых блоком ИП, должны соответствовать свойствам сигналов, которые блок-централь может воспринимать в пределах, определяемых качественными и количественными критериями функционирования, указанными в нормативно-технической документации (стандартах, нормах, технических условиях и т.п.). Если эти нормативные требования не выполняются, указанные блоки оказываются несовместимыми и для их согласования используют средства сопряжения. При этом дополнительно оговариваются требования к необходимым преобразованиям сигналов. Можно выделить следующие виды совместимости, реализуемые средствами сопряжения в зависимости от организации цифровой измерительной системы, а также принципов действия, аппаратной реализации ФЭ и их характеристик: метрологическую; совместимость по широкополосности, пропускной способности и производительности; электромагнитную; программную, языковую и кодовую; пространственную и временную; совместимость по форме представления информации; электрическую; конструктивную.

**Метрологическая совместимость.** Под метрологической совместимостью ФЭ понимается согласованность метрологических характеристик ФЭ и единство их нормирования при системном использовании ФЭ.

Цифровая измерительная система в общем случае содержит аналоговые, аналого-цифровые и цифровые ФЭ.

При объединении различных ФЭ в систему их



Обобщенная модель автоматической цифровой измерительной системы

\*Под функциональным элементом понимается совокупность схемных пассивных и активных элементов, объединенных электрически и конструктивно в единое устройство, реализующее определенную функцию — измерение, преобразование сигнала, вычислительную операцию, регистрацию, запоминание данных и др.

Под совместимостью ФЭ понимается совокупность материальных связей между ФЭ, реализуемых в соответствии с требуемыми критериями функционирования как непосредственно взаимодействующих элементов, так и системы в целом.



точностные характеристики и методы нормирования этих характеристик должны быть согласованы по единым критериям [2–4].

В настоящее время частично решены общие задачи метрологического обеспечения измерительных систем [5], и в частности, задачи, связанные с внедрением стандарта ГОСТ 8.009–72. "ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений" (введен с 1 июля 1976 г.). Стандарт устанавливает номенклатуру нормируемых метрологических характеристик средств измерения, дает их определения и способы представления в нормативно-технической документации. На его основе должны быть разработаны нормативно-технические документы для конкретных технических средств, регламентирующие условия метрологической совместимости различных ФЭ при организации систем.

Одним из основных условий метрологической совместимости является баланс погрешностей системы. Предельная допустимая величина результирующей погрешности обуславливается требуемыми параметрами процесса на выходе системы.

Результирующая погрешность системы определяется как параметрами ФЭ, входящих в ее состав, так и влиянием различных внешних и внутренних факторов на характеристики и качество функционирования этих ФЭ. В настоящее время получили практическое применение методы, которые позволяют уменьшить последствия указанных воздействий [6–11].

Наряду с балансом погрешностей системы важными условиями метрологической совместимости ФЭ являются: рабочие диапазоны изменения и преобразования сигналов по уровню и частоте; чувствительность; разрешающая способность и др.

Выполнение условий метрологической совместимости тесно связано с реализацией ряда других условий. Так, например, на динамическую погрешность цифровых измерительных систем влияют широкополосность ФЭ – преобразователей информации, пропускная способность каналов передачи данных и производительность централи.

**Совместимость ФЭ по широкополосности, пропускной способности и производительности**

[12–18]. Систему в целом и ее компоненты можно рассматривать как фильтр нижних частот, если сигналы содержат частоты от нулевой до некоторой граничной  $f_{гр}$ , или как полосовой фильтр, если используется интервал частот.

Передача информации в системе должна происходить согласно условию:

$$H \leq 2 FT \log \left( 1 + \frac{C}{N} \right),$$

где  $H$  – количество информации;  $F$  – ширина полосы пропускания системы;  $T$  – продолжительность передачи;  $\frac{C}{N}$  – отношение величины сигнала к помехе [17, 18].

При сопряжении ИП с централью необходимо, чтобы количество измерительной информации, поступающей на вход централи в единицу времени, соответствовало бы ее производительности. В свою очередь, производительность централи и полосу пропускания средств сопряжения следует согласовывать с частотным спектром измеряемых процессов путем его переноса, трансформации или ограничения, накоплением и предварительной обработкой данных, выбором соответствующей частоты дискретизации процесса и др.

Если измеряемая величина задана функцией времени  $f(t)$ , то ее частотный спектр определяется преобразованием Фурье. Для спектра, ограниченного сверху частотой  $f_{гр}$ , относительная погрешность определения энергии сигнала составит:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\int_{2\pi f_{гр}}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega}{\int_0^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega},$$

где  $E$  – энергия реального сигнала;  $\Delta E = E - E_{гр}$ ;  $E_{гр}$  – энергия сигнала с ограниченным спектром.

Зная  $f_{гр}$  и используя теорему Котельникова, можно найти интервалы времени  $\Delta t$ , через которые необходимо производить отсчет измеряемой величины.

**Электромагнитная совместимость.** Это понятие означает способность ФЭ функционировать в соответствии с заданными требованиями в составе системы при воздействии полезных и (или) мешающих электромагнитных излучений с определенными амплитудными, спектральными, временными, пространственными и поляризационными характеристиками [16–21].

**Программная, языковая и кодовая совместимость.** В соответствии с пространственно-временными свойствами сигналов и сообщений ФЭ, временной диаграммой работы отдельных ФЭ, а также организацией системы в целом, реализуют условия программной совместимости ФЭ, направленные на обеспечение их согласованного взаимодействия во времени и пространстве в целях качественного функционирования системы. Для организации функционирования ФЭ применяют принципы местного, центрального или смешанного управления. При этом различают программы управления, реализуемые в функции времени (например, циклический опрос ИП, выполнение определенной машинной программы обработки данных к заданному моменту времени), и условно-управляемые программы, реализуемые при наступлении определенных событий (приоритетное обращение ФЭ, аварийное состояние измеряемого процесса, готовность ФЭ к обмену и др. [20, 22, 23]).

Особенности программного управления в унифицированных модульных системах, реализуемого в соответствии с определенным стандартом, рассмотрены в работах [24–26].

В последние годы для управления отдельными ФЭ стали использовать микропроцессоры. Помимо управления они могут выполнять также предварительную обработку данных [30].

Для программирования работы систем используют различные языки, поэтому необходимо обеспечить языковую совместимость ФЭ, а также кодовую совместимость сигналов и совместимость формата слов. Совместимость языка и кода ФЭ обеспечивается с помощью соответствующих программ-трансляторов и программных и (или) аппаратных преобразователей кодов и формата данных. Выбор кода обусловлен множеством факторов, в том числе свойствами ФЭ – источника и

приемника сообщения, обеспечения точности передачи данных и др. [6, 10–12, 27].

**Пространственная и временная совместимость.** Организацию функционирования и структуру системы во многом определяют пространственные и временные свойства сигналов и сообщений ФЭ, к которым следует отнести: число и плотность ФЭ; расстояния между ФЭ; пространственные и временные соотношения между каналами обмена данными, а также абонентами; распределение размеров и длительностей сообщений; распределение начальных и конечных моментов сообщений.

Перечисленные свойства, в свою очередь, определяют сопряжение ФЭ, например, организацией многоканальной системы с пространственным и (или) временным (частотным) разделением каналов с соответствующей программой управления.

ФЭ могут размещаться как в непосредственной близости друг от друга, например в одной конструктивной единице (стойке, шкафу), так и быть удалены на значительные расстояния, как, например, в телеметрических системах. В зависимости от схемы соединения ИП с централью различают радиальные, магистральные и смешанные структуры систем.

При невозможности организовать непрерывную работу системы в реальном масштабе времени, как, например, в спутниковой радиотелеметрической системе, в условиях, когда источник сигналов уходит из зоны радиовидимости, для пространственной и временной совместимости ФЭ используют принцип накопления данных в буферной памяти с последующей их передачей во время сеанса связи.

Временная совместимость обусловлена балансом времени системы, отражающим взаимосвязь между интервалами времени прохождения информации через все звенья системы. Указанный баланс составляют на этапе проектирования измерительной системы. Он должен оптимально удовлетворять требованиям получения результатов измерений в реальном или псевдореальном масштабе времени. В соответствии с балансом времени выбирают или задают быстродействие и широ-



копосность ФЭ и средств сопряжения. При организации системы используют различные методы, обеспечивающие требуемый баланс времени. Так, при ограниченной производительности централи – ЦВМ и пропускной способности каналов передачи информации производят сжатие данных, например путем их предварительной обработки специализированными процессорами (микропроцессорами, микро-ЭВМ, анализаторами и т.п.) [ 28–30 ].

**Совместимость по форме представления информации.** Различают две формы представления информации: аналоговую (частотные, фазовые сигналы, сигналы напряжения, тока и др.) и дискретную (цифровые сигналы с различным кодированием, импульсные сигналы, сигналы с дискретной модуляцией какого-нибудь параметра). Для сопряжения ФЭ по требуемой форме входных и выходных сигналов используют различные преобразователи сигналов типа аналог-аналог, аналого-дискретные, дискретно-аналоговые, аналого-цифровые и код-аналог [ 8, 13, 16, 31, 32 ]. Совместимость ФЭ по форме представления информации тесно связана с выполнением условий совместимости кодов (при необходимости используют кодовые преобразователи), формата данных, электрических параметров кодовых сигналов, условий метрологической совместимости (допустимая погрешность, рабочий диапазон и скорость преобразования и др.).

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) является обязательным элементом любой цифровой измерительной системы. Однако внимание разработчиков аппаратуры до последнего времени было сосредоточено главным образом на совершенствовании метрологических характеристик этих преобразователей. Между тем АЦП при относительно невысоких дополнительных затратах оборудования могут выполнять логические и элементарные вычислительные операции, что обеспечит более эффективное использование централи. К таким операциям следует отнести линейное и функциональное масштабирование, линеаризацию входных функций, простейшие вычисления, контроль заданных значений, усреднение данных измерений и некоторые другие операции статистического анализа, сжатие данных и др. В сочетании с микропроцессорами АЦП могут обеспечить реализацию условий пространственной и временной совместимости

ФЭ (многоканальные преобразователи), их программное взаимодействие и др.

**Электрическая совместимость.** Условия этого вида совместимости связаны, в первую очередь, с обеспечением требуемых параметров электрических сигналов – информационных, управляющих и служебных, а также импедансов входных и выходных цепей непосредственно взаимодействующих ФЭ. Согласование цепей с аналоговыми сигналами осуществляется через масштабные преобразователи и преобразователи импедансов. Поскольку число подобных связей между ФЭ сравнительно невелико, затраты на сопряжение оказываются невысокими.

Более сложно выполнить сопряжение цифровых ФЭ. Выходные и входные кодовые сигналы сопрягаемой аналого-цифровой и (или) цифровой аппаратуры нередко различаются между собой по уровню и полярности. Коды могут быть прямыми и обратными, а форма кодовых сигналов – импульсной или в виде потенциальных уровней. Поэтому для сопряжения цифровых регистров взаимосвязанных устройств нередко приходится использовать специальные средства, обеспечивающие приведение параметров сигналов кода ФЭ-источника в соответствие с параметрами ФЭ-приемника и наоборот.

Кроме того, электрическая совместимость зависит от сопротивления линии связи между ФЭ, способа питания ФЭ (от сети, батарей, централизованное или автономное) и параметров источника питания (величины напряжения, токовой нагрузки и допустимых отклонений от их номиналов), способов развязки потенциальных цепей и др.

**Конструктивная совместимость.** Для обеспечения конструктивной совместимости необходимо выполнить условия, при которых вся система или (и) часть ее представляла бы единое конструктивное целое. Эти условия могут распространяться на виды конструкций, предназначенных для размещения схемных элементов, ФЭ и совокупности ФЭ (например, кассету, вставные блоки или узлы, каркасы, стойки, шкафы и т.п.), а также на размеры конструктивных элементов и виды контактных электрических соединений (разъемных, штекерных и т.п.), обеспечивающих совместимость элементов различного функционального назначения.

В нормативно-технических документах на си-

стемы модульной структуры (КАМАК, Вектор и др. [ 24, 25 ] ) содержатся условия, предписывающие использование конструкции одного типа с различными размерами. При этом для значений высоты, ширины и длины конструктивных модулей устанавливается размерный ряд, исходя из шага координатной сетки, применяемой для вычерчивания монтажных схем печатных плат.

При разработке требований к конструктивной совместимости ФЭ серийных систем следует руководствоваться интересами как потребителя (удобство обслуживания и ремонта, взаимозаменяемость ФЭ, возможность расширения системы), так и изготовителя (технологичность производства при серийном выпуске аппаратуры и ее наладке, возможность автоматизации работ по аттестации аппаратуры и др.).

Очевидно, что для организации системного взаимодействия ФЭ нет смысла создавать единый конструктивный блок, а целесообразно использовать различные блоки, обеспечивающие выполнение одного или нескольких взаимосвязанных условий сопряжения. Указанные блоки, в свою очередь, следует рассматривать в качестве ФЭ, в которых преобразуется информация, а при каскадном или магистральном их соединении должны обеспечиваться условия совместимости.

В последние годы появились стандарты на интерфейс – нормативно-технические документы, регламентирующие условия унификации ФЭ и средств их сопряжения [ 24, 25, 33 ].

Под стандартным интерфейсом понимается совокупность унифицированных аппаратурных, программных и конструктивных средств, необходимых для реализации алгоритма взаимодействия ФЭ в различных автоматических системах обработки информации при условиях, предписанных стандартом и направленных на обеспечение требуемых видов совместимости указанных ФЭ.

Отечественный стандарт (в ранге отраслевого) – ОСТ 25 425–74 на интерфейс ЕИ-1, введенный в действие с декабря 1975 г. [ 34 ], распространяется на вновь разрабатываемые или модернизируемые функциональные блоки ряда агрегатных систем, выполненные на интегральных схемах серии К155 и МОП-структурах серии К172, или совместимых с ними по электрическим параметрам элементах. Так как стандарт регламентирует использование элементной базы, то внедрение в про-

изводство стандартизированных цифровых измерительных систем и их унифицированных элементов потребует прекращения выпуска или модернизации значительной части номенклатуры выпускаемой цифровой измерительной и регистрирующей аппаратуры, либо ввода в действие новых производственных мощностей для выпуска требуемых приборов и устройств. Естественно, что подобные мероприятия связаны с большими затратами.

Наличие различных схемных элементов и отсутствие единой элементной базы не могут не тормозить массового внедрения в народное хозяйство и научные исследования стандартизированных измерительных систем с унифицированными компонентами. Поэтому, по всей вероятности, унификация характеристик аппаратуры даст наибольший эффект в условиях массового использования больших интегральных схем с требуемыми функциями. К тому времени, очевидно, произойдет "естественный отбор" элементной базы (на уровне БИС) и выравнивание или ограничение диапазона значений характеристик ФЭ. В современных условиях переходить к унификации тех или иных характеристик ФЭ представляется целесообразным только в отдельных системах с узко-проблемной ориентацией.

В технических средствах массового применения для выполнения системных требований совместимости, удовлетворяющих стандарту, требуются дополнительные аппаратурные затраты, избыточные при автономном использовании этой техники, что не всегда экономически выгодно. Между тем возможности построения измерительных систем, даже простейших, агрегируемых на базе серийной аппаратуры с неунифицированными характеристиками, на сегодняшний день весьма ограничены. При этом одним из сложных является вопрос согласования параметров сигналов кода измерительной аппаратуры с устройствами регистрации и обработки данных. Существующий ГОСТ на Государственную систему приборов (ГСП ГОСТ 10939–69), регламентирующий номинальные амплитуды выходных сигналов только по напряжению в пределах от 0,6 до 220 В, в настоящее время используется и при разработке цифровой аппаратуры. Поэтому выходные сигналы кода серийных цифровых измерительных устройств характеризуются самыми различными значениями уровней и полярности, причем коды используются не только



прямые, но и обратные, а сигналы кодов — импульсной формы и в виде потенциальных уровней. Между тем, выпускаемые, например, транскрипторы для цифровой печати и перфораторов небольшой номенклатуры работают с сигналами одной полярности в узком диапазоне уровней. Отсюда повышенный спрос на измерительную аппаратуру определенных типов и неэффективное использование существующего парка приборов, которые по параметрам сигналов кода не стыкуются с имеющимися в распоряжения потребителя регистрирующими устройствами и ЦВМ.

Решением задачи повышения эффективности организации и использования измерительных систем должно, на наш взгляд, явиться создание *серийных средств для сопряжения функциональных элементов с различным уровнем унификации характеристик, выполненных в виде модулей с расширенными возможностями и обеспечивающих одно или несколько условий совместимости*. Модули должны обладать широким диапазоном уровней входных сигналов и возможностью перестройки (выбора) уровня выходных сигналов — информационных, управляющих и служебных, содержать цепи блокировки их функционирования внешними сигналами для согласования скорости работы с другими ФЭ, цепи формирования сигналов запроса на обслуживание и (или) окончания цикла действия и др. Номенклатуру модулей сопряжения по функциональной полноте целесообразно ориентировать на организацию систем, обеспечивающих решение типовых алгоритмов измерений.

Разработка модулей должна осуществляться с учетом развития систем различных поколений и на основе максимального использования серийной аппаратуры.

Предлагаемый подход к агрегатированию технических средств был опробован в системе, частично описанной в работе [35]. Для многоканальной подсистемы сбора и регистрации измерительной информации на перфоленте разработан модуль управления повышенной помехоустойчивости, обеспечивающий сопряжение цифровой измерительной аппаратуры с перфоратором по условиям программной, пространственной и временной совместимости. Для реализации условий электрической совместимости разработано многоканальное устройство считывания и передачи кодовых сигналов. Оно представляет собой отдельный мо-

дуль, предназначенный в общем случае для сопряжения цифровых регистров с различными в широком диапазоне уровнями сигналов кода, независимо от их полярности. Выходной сигнал модуля регулируется в соответствии с требуемым уровнем входного сигнала приемного регистра. Тем самым обеспечивается включение в подсистему любых цифровых измерительных приборов без дополнительных средств сопряжения электрических параметров их кодовых сигналов. В подсистеме предусмотрено расширение числа входных каналов и программирование кадра. Для ввода данных в ЦВМ, исходный формат записи или хранения которых отличен от требуемого формата входного машинного слова, разработан специальный интерфейс. Он может включаться, например, между фотосчитывающим транскриптером и ЦВМ либо использоваться для непосредственного ввода аналоговой измерительной информации через АЦП в ЦВМ по ее перфолентному каналу [36].

Для цифровых измерений и регистрации повторяющихся быстропротекающих процессов создано (с использованием вышеупомянутых модулей) устройство сопряжения серийных стробоскопических осциллографов — преобразователей спектра с цифровыми регистраторами и ЦВМ, которое позволяет использовать цифровую аппаратуру с любым быстродействием и автоматически (в цифровом виде) регистрировать форму процессов, в том числе в режиме непрерывного накопления данных в каждой точке.

Разработанные схемы однопредельных АЦП с расширенным диапазоном преобразования обеспечивают сопряжение с централью источников измерительной информации с широким диапазоном уровней выходных аналоговых сигналов. Они работают по принципу грубого (на уровне старших декад) параллельного и точного (в пределах младшей декады) параллельного или последовательного уравнивания входного сигнала, реализуемого в одном цикле действия преобразователя, образцовым сигналом. Максимальное значение уравнивающего сигнала выбирается на уровне младшей декады (или условного младшего предела) преобразуемой величины, что позволяет строить оптимальные по быстродействию, динамическому диапазону и точности АЦП, исходя из возможно достижимых метрологических характеристик источника уравнивающего сигнала.

При создании рассмотренных устройств сопряжения максимально использовалась серийная аппаратура. Так, например, модуль считывания и передачи кодовых сигналов позволил включать в систему серийные АЦП различных типов без дополнительного согласования.

АЦП с интерфейсом для перфолентного канала ввода данных в ЦВМ позволяет строить измерительные системы на универсальных машинах с развитым математическим обеспечением, в частности, на широко распространенных малых ЦВМ для инженерных расчетов. Это, в свою очередь, дает возможность использовать универсальные машины для управления экспериментом в масштабе времени, близком к реальному.

\* \* \*

**В настоящее время промышленность снабжает потребителя обширной номенклатурой средств измерений, сбора и обработки данных, обладающих однако ограниченными возможностями с точки зрения их использования в измерительных системах. Это резко снижает эффективность техники и сдерживает автоматизацию процессов измерений.**

Для создания измерительных систем на базе указанных технических средств предлагается разработать и внедрить в промышленное производство определенную номенклатуру типовых модулей, реализующих одну или совокупность взаимосвязанных функций сопряжения и обеспечивающих условия совместимости компонентов системы, независимо от уровня унификации их характеристик. При создании модулей целесообразно максимально использовать существующие средства измерительной и вычислительной техники. Характеристики модулей сопряжения должны быть расширенными в определенной степени и перестраиваемыми. На указанные модули необходимо разработать соответствующие нормативно-технические документы (стандарты, нормалы).

Номенклатура модулей сопряжения должна разрабатываться в соответствии с типовыми алгоритмами решения соответствующих задач измерений (измерения спектра, формы процессов, параметров случайных процессов, экстремальных значений сигналов, контроль медленно изменяющихся величин, измерения параметров быстропротекающих процессов и др.).

Решение обсуждаемых в данной статье вопросов позволит широким кругам пользователей создавать разнообразные по применению, разветвленные агрегатные автоматические системы сбора и обработки измерительной информации и управляющие вычислительные системы на базе серийной аппаратуры и

**универсальных ЦВМ с различным уровнем унификации их характеристик; будет способствовать повышению эффективности использования средств измерительной и вычислительной техники, в том числе благодаря автоматизации процесса измерения и уменьшению затрат на построение подобных систем; обеспечит более массовое и эффективное внедрение измерительных систем в различные области научных и инженерных исследований и отрасли народного хозяйства.**

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев В.В., Городецкий И.Г., Неверовский В.А., Сафаров Г.А. Эталонная база СССР — основа обеспечения единства и достоверности измерений в стране. — "Измерительная техника", 1976, № 3.
2. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств. Л., "Энергия", 1968.
3. Кавалеров Г.И., Мандельштам С.М. Введение в информационную теорию измерений. М., "Энергия", 1974.
4. Рабинович В.И., Папенко М.П. Информационные характеристики средств измерения и контроля. М., "Энергия", 1968.
5. Метрологическое обеспечение информационно-измерительных систем. М., Госстандарт СССР, 1975.
6. Гитис Э.И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. М., "Энергия", 1975.
7. Земельман М.А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств. М., Изд-во стандартов, 1972.
8. Гельман М.М., Шаповал Г.Г. Автоматическая коррекция систематических погрешностей в преобразователях "напряжение—код". М., "Энергия", 1974.
9. Гусев В.Г. Методы исследования точности цифровых автоматических систем. М., "Наука", 1973.
10. Хетагуров Я.А., Руднев Ю.П. Повышение надежности цифровых устройств методами избыточного кодирования. М., "Энергия", 1974.
11. Пирс У. Построение надежных вычислительных машин. М., "Мир", 1968.
12. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М., Изд-во иностранной литературы, 1963.
13. Гельман М.М., Степанов Б.М., Филинов В.Н. Дискретные преобразования моноимпульсных электрических сигналов. М., "Атомиздат", 1975.
14. Ключев Н.И. Информационные основы передачи сообщений. М., "Сов.радио", 1966.
15. Найденов А.И. Трансформация спектра наносекундных импульсов. М., "Сов.радио", 1973.
16. Электрические измерения неэлектрических величин. Под ред. П.В.Новицкого. Л., "Энергия", 1975.
17. Гойхман Э.Ш., Лосев Ю.И. Передача информации в АСУ. М., "Связь", 1976.
18. Ильин В.А. Телеконтроль и телеуправление. М., "Энергия", 1975.
19. Калашников Н.И. Основы расчета электромагнитной совместимости систем связи ИСЗ с другими радиослужбами. М., "Связь", 1970.
20. Управляющие вычислительные машины в АСУ технологическими процессами. Т.1. Под ред. Т.Харрисона. М., "Мир", 1975.
21. Волин М.Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. М., "Сов.радио", 1972.
22. Беме Г., Борн В. Программирование управляющих вычислительных систем. М., "Энергия", 1975.
23. Соучек Б. Мини-ЭВМ в системах обработки информации. М., "Мир", 1976.



24. Бауманн В. Стандартные интерфейсы для цифровых измерительных систем. М., "Мир", 1977.

25. Синаев А.Н. Современные аппаратные системы модульной структуры, используемые при создании измерительно-вычислительных комплексов (КАМАК, "Вектор"). Дубна, 1975. (ОИЯИ).

26. Панюков А.П. Устойчивость работы автоматизированных систем контроля и управления. М., "Энергия", 1976.

27. Бородин Л.Ф. Введение в теорию помехоустойчивого кодирования. М., "Сов.радио", 1968.

28. Ольховский Ю.Б. Сжатие данных при телеизмерениях. М., "Сов.радио", 1971.

29. Домарацкий А.Н. Многоцелевой статистический анализ случайных сигналов. Новосибирск, "Наука", 1975.

30. Прангишвили И.В. Современное состояние и пути развития микропроцессоров и микро-ЭВМ. — "Измерения, контроль, автоматизация", 1977, № 1, 2.

31. Гельман М.М. Преобразователи напряжения в кодированный временной интервал. М., "Энергия", 1970.

32. Кондалев А.И. Системные преобразователи формы информации. Киев, "Наукова думка", 1974.

33. Риччи, Нелсон. Стандартизация интерфейсов для измерительных приборов. — "Электроника". Пер. журн. США "Electronics", 1974, № 23.

34. Агрегатированные комплексы приборов и средств автоматизации. Интерфейс ЕИ-1. Отраслевой стандарт ОСТ 25 452-74 ГСП.

35. Алексеев С.Г., Гельман М.М., Котюк А.Ф. Система машинной обработки измерительной информации с эталонных и поверочных установок — "Измерительная техника", 1976, № 3.

36. Гельман М.М. Устройства сопряжения аналого-цифровых преобразователей с универсальными ЦВМ в системах сбора и обработки данных и вопросы их стандартизации. — В кн.: Проблемы создания преобразователей формы информации. Ч.2. Киев, "Наукова думка", 1976.

Статья поступила 7 декабря 1977 г.

Ю. В. Соколовский

## КОНТРОЛЬ КРИСТАЛЛОВ БИС ОЗУ НА УСТАНОВКЕ "ЭЛЕКОН Ф-ЗУ"

Использование установки "Электрон Ф-ЗУ" совместно с зондовыми манипуляторами обеспечивает функциональный контроль кристаллов БИС ОЗУ на МДП-структурах в условиях серийного производства.

УДК 621.3.049.771.14:681.327

Контроль электрических параметров кристаллов БИС ОЗУ на пластине является частью технологиче-

ского процесса и имеет важное значение в условиях серийного производства.

При широко используемом методе контроля БИС на пластине с помощью зондовых манипуляторов кристаллы находятся в неблагоприятных условиях по сравнению с кристаллами, заключенными в корпусе, что обусловлено некачественным контактированием зондов, взаимовлиянием цепей трансляции сигналов на манипулятор, вредным воздействием света на кристалл, наличием переходного сопротивления манипулятор-подложка. Кроме того, при последующей посадке кристалла в корпус он подвергается значительным термическим воздействиям, оказывающим влияние на его параметры.

Поэтому был выбран облегченный режим контроля кристаллов по сравнению с контролем готовых изделий. Прежде всего обрабатывается временная диаграмма с целью выявления всех функционирующих кристаллов независимо от отклонений их динамических параметров. Используются такие простые тестовые последовательности, при которых доля невыявляемых неисправностей не превышает допустимую для данного производства величину. Необходимо свести к минимуму влияние помех как по цепям питания кристалла, так и по цепям входных воздействий. С этой целью логические уровни сигналов выбираются с некоторым отклонением от номинальной величины в сторону наиболее устойчивой работы БИС с учетом помех.

По мере усовершенствования технологии и набора статистических данных к отдельным параметрам предъявляются более жесткие требования с целью сокращения до минимума числа микросхем, бракуемых на выходном контроле, и, следовательно, экономии корпусов.

Для конкретной технологии процент выхода годных при контроле кристаллов в корпусе остается довольно стабильной величиной. Резкое отклонение параметра от среднего значения ставит под сомнение достоверность проводимого контроля на пластине.

Выпускаемая промышленностью установка функционального контроля (УФК) "Электрон Ф-ЗУ"\* выполнена в виде настольного тестера. Программирование может осуществляться вручную либо посредством ЭВМ, к которой тестер подключается в качестве рабочего поста. "Электрон Ф-ЗУ" формирует тестовую последовательность контроля (запись, считывание, регенерацию, сравнение инфор-

\*Данилин Н.Н., Попель Л.М. Установка функционального контроля БИС ОЗУ "Электрон Ф-ЗУ" — "Электронная промышленность", 1977, вып. 2.

мации), частоту контроля, выборку адреса, разбровку и др.

Временная диаграмма работы в каждом цикле — периоде обращения к одной ячейке — формируется на сменной плате. Наличие сменной платы расширяет возможности установки. Формирователи временной диаграммы выполнены на основе двух ждущих мультивибраторов, включенных последовательно. Первый из них осуществляет задержку начала импульса относительно начала цикла, второй — длительности импульса.

Рабочее место контроля МДП БИС приведено на рис. 1.

Особое внимание следует уделять согласованию сменной платы с зондами. При совмещенном контроле (статических параметров и на функционирование) к кристаллу подключаются поочередно система контроля статических параметров и УФК. В случае отсутствия зондовых манипуляторов, имеющих собственные формирователи сигналов для каждого зонда, осуществление такой коммутации на обычных манипуляторах затруднительно. При организации коммутатора за пределами манипулятора возрастают требования к формирователям входных воздействий, поскольку передача заданных сигналов по тем же цепям, по которым измеряются статические параметры, должна осуществляться без искажений. Задача несколько облегчается тем, что испытуемое изделие имеет высокоомные входные цепи. Это позволяет с помощью сравнительно простой схемы (рис. 2) формировать импульсы с крутыми фронтами (10–15 нс при применении транзисторов КТ342 и КТ345), одинаковыми логическими уровнями по всем цепям и путем согласования с измерительной линией посредством сопротивления  $Z_c$  транслировать их на зонды без искажений.

Для питания контролируемой микросхемы в установке "Электрон Ф-3У" предусмотрены три

источника. Включение их осуществляется по программе. На входы источников питания со сменной платы подается напряжение, которое увеличивается в минус десять раз и снимается с их выходов.

Требуемое напряжение на сменной плате устанавливается с помощью резистивных делителей. Переключать напряжение питания при необходимости можно коммутацией делителей, которая, как и коммутация каналов, может осуществляться вручную либо по программе с применением регистра.

При анализе работы испытуемого ОЗУ используется видеоконтрольное устройство, которое может быть легко реализовано на сменной плате. Принцип действия его заключается в следующем. На плате устанавливаются два цифроаналоговых преобразователя (ЦАП), преобразующих адресное слово в два аналоговых сигнала, подаваемые в каналы X и Y осциллографа. При работе УФК луч на экране осциллографа вычерчивает массив ОЗУ. Так как сигнал на выходе ЦАП ступенчатый, рисунок, полученный на экране, представляет собой квадрат, состоящий из множества упорядоченных точек, каждая из которых соответствует определенной ячейке ОЗУ. Программа составляется так, чтобы УФК не останавливалась по сигналу "Брак", а переходила бы к команде пользователя и затем продолжала контроль ОЗУ. В этом случае сигнал команды пользователя подается на вход осциллографа и осуществляет модуляцию луча по яркости. Пример алгоритма выполнения одной из стандартных программ "Запись-считывание с восстановлением вперед-назад" приведен на рис. 3. Таким образом, на экране можно наблюдать картину состояния испытуемой ИС.

Критерием качества контроля микросхем на пластине, как и при других видах контроля, является



Рис. 1. Рабочее место контроля МДП БИС

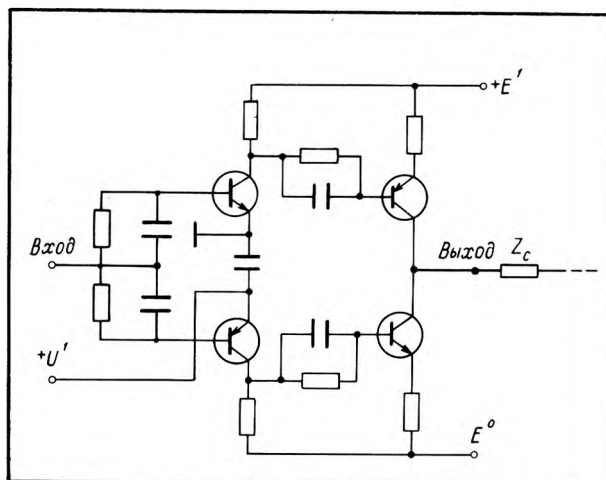


Рис. 2. Схема формирователя импульсов



ся идентичность результатов, получаемых на разных рабочих местах.

Одной из причин расхождения измеренных величин является некачественное контактирование, что происходит в тех случаях, когда зонд оставляет на контактных площадках след после касания, чаще всего в результате обгорания игл и образования на их концах прочного наплава. Это явление наиболее характерно для цепей питания, поэтому целесообразно применять электронную защиту этих цепей от коротких замыканий, возникающих в неисправных кристаллах. Если проводится совмещенный контроль статических параметров кристаллов и на функционирование, то на первом этапе проверяется качество контактирования. Для этого используется прямая проводимость защитных диодов, включенных на входных выводах структуры БИС, либо проводимость подложки при подаче положительного потенциала на общий вывод схемы или на подложку. Необходимо также осуществлять регулярный визуальный контроль положения зондов.

На пластине могут встречаться кристаллы с различными свойствами, поэтому даже при входных воздействиях, установленных с некоторым откло-

нением от номинального значения, могут наблюдаться расхождения в показаниях при неидентичности этих воздействий. Отсюда еще раз необходимо подчеркнуть высокие требования к входным воздействиям: минимальный разброс значений логических уровней, длительности перепадов, отсутствие или сведение к минимуму помех по всем цепям; идентичность временной диаграммы; отсутствие искажений сигналов.

При переходе от одного кристалла к другому функциональный контроль можно начинать только после полного прекращения переходных процессов в механической системе и по цепям питания БИС (особенно после замера кристаллов с коротким замыканием).

При достижении высокой точности установки напряжений питания кристаллов на разных рабочих местах невозможно достигнуть одинаковой их помехозащищенности. Особое внимание необходимо уделять подавлению помех во время действия тактовых сигналов кристалла.

Зондовые манипуляторы целесообразно снабжать специальными светозащитными устройствами.

Даже при соблюдении всех условий некоторые кристаллы при первом контроле бракуются, а при многократном входе в рабочий режим, то есть функционируют как годные. Поэтому целесообразно применять многократный контроль при одном контактировании или электротренировку с последующим контролем.

Проверку исправности работы установки перед контролем каждой партии пластин необходимо проводить с помощью таких тестовых последовательностей, которые позволяют выявлять характерные неисправности системы контроля и контролируемой БИС.

Микросхема ОЗУ может быть признана годной в случае, если для контроля используется одна из тестовых последовательностей, заложенных в ПЗУ "Электрон Ф-3У", а в контролируемой памяти предусмотрена трансляция входа на выход. Для предотвращения этого необходимо доработать программу УФК таким образом, чтобы в момент считывания информации на входе ИС присутствовал сигнал, инверсный ожидаемому с выхода, либо на сменной плате организовать схему, отключающую регистр данных от входа ИС в момент считывания.

Установка "Электрон Ф-3У" хорошо себя зарекомендовала при контроле на пластине динамических и статических ЗУ с произвольной выборкой емкостью до 4096 бит.

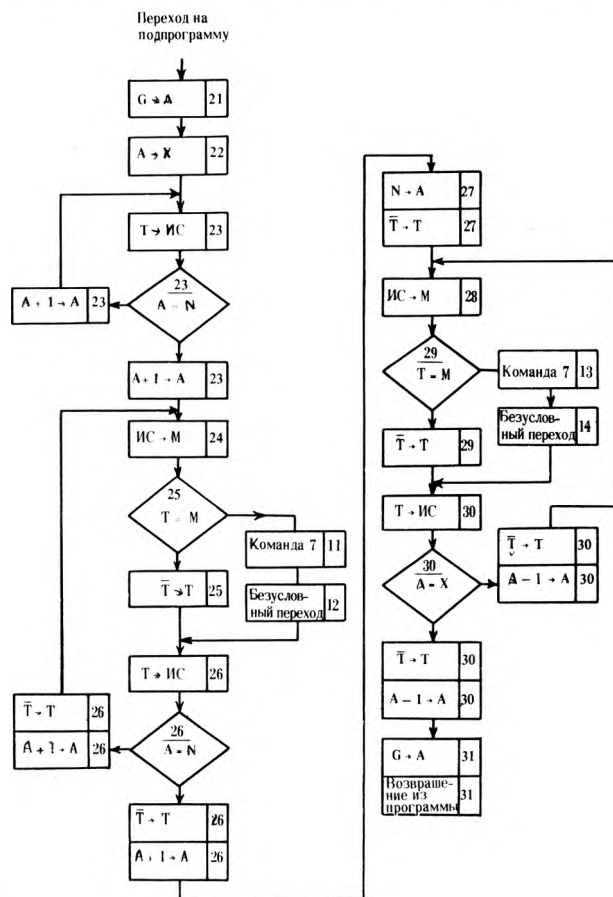
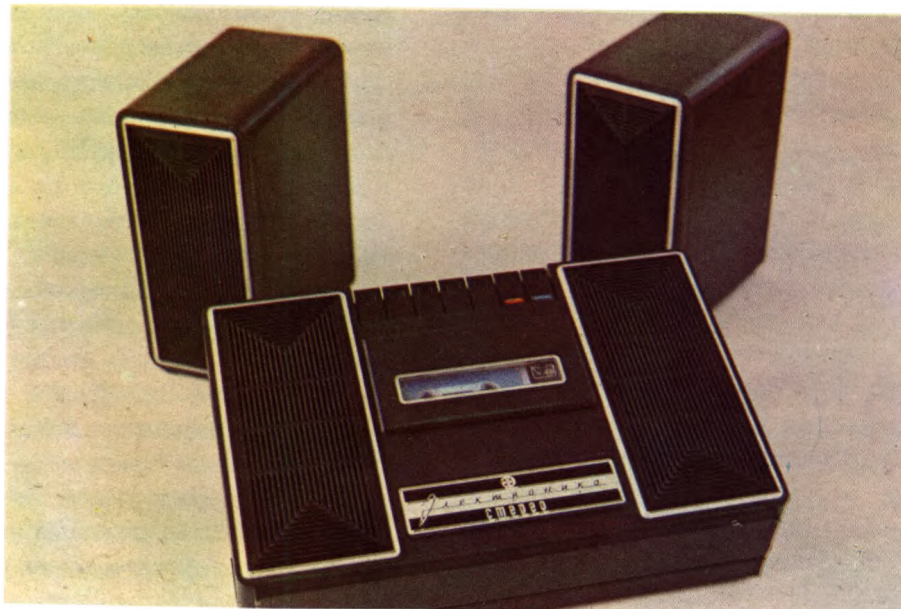


Рис. 3. Алгоритм контроля "Запись-считывание с восстановлением вперед-назад", позволяющий наблюдать состояние ОЗУ на экране видеоконтрольного устройства

# КАССЕТНЫЙ МАГНИТОФОН "ЭЛЕКТРОНИКА-311-СТЕРЕО"



ПЕРЕНОСНОЙ, ОДНОСКОРОСТНОЙ, ЧЕТЫРЕХДОРОЖЕЧНЫЙ МАГНИТОФОН ПРЕДНАЗНАЧЕН  
ДЛЯ ЗАПИСИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ И МОНОФОНИЧЕСКИХ ПРОГРАММ.  
КОМПЛЕКТУЕТСЯ ДВУМЯ ВЫНОСНЫМИ АКУСТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ IACII

Диапазон частот, Гц . . . . .	.80—10000
Номинальная выходная мощность, Вт . . . . .	.2x2
Питание	
от 7 сухих элементов типа 373	
от сети, В . . . . .	127/220 через выносной блок питания типа БП12/5
от автомобильного аккумулятора, В . . . . .	12
Габариты, мм . . . . .	.350x247x90
Масса, кг . . . . .	4,5



## КАССЕТНЫЙ МАГНИТОФОН "ЭЛЕКТРОНИКА-302"



ОБЛАДАЕТ ВЫСОКИМ КАЧЕСТВОМ ЗВУЧАНИЯ И ШИРОКИМ ДИАПАЗОНОМ РАБОЧИХ ЧАСТОТ ПРИ НИЗКОМ УРОВНЕ СОБСТВЕННЫХ ШУМОВ.  
ОБЕСПЕЧЕНЫ

ВЫСОКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРИ ЗАПИСИ С МИКРОФОНА  
НЕЗАВИСИМАЯ РЕГУЛИРОВКА ГРОМКОСТИ И УРОВНЯ ЗАПИСИ  
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ  
(ТИПА 343, 373 И А343)  
ВОЗМОЖНОСТЬ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ГОЛОВНЫХ ТЕЛЕФОНОВ С ЛЮБЫМ ВНУТРЕННИМ  
СОПРОТИВЛЕНИЕМ  
ВОЗМОЖНОСТЬ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ.

Полоса записываемых и воспроизводимых частот, Гц . . . . .	.63—10000
Уровень помех в канале воспроизведения, дБ . . . . .	44
Максимальная выходная мощность при работе на внешнюю акустическую систему, ВА . . . . .	1,5
Продолжительность работы от одного комплекта элементов питания, ч . . . . .	не более 10
Масса, кг . . . . .	3,5

И. Я. Браверман

## ЗАПОМИНАЮЩИЙ ОСЦИЛЛОГРАФ С ЭЛЕКТРОЛЮМИ- НЕСЦЕНТНЫМ МАТРИЧНЫМ ЭКРАНОМ

Применение электролюминесцентных матричных экранов позволяет значительно уменьшить габариты осциллографов, широко использовать цифровые методы обработки исследуемого сигнала, обеспечивает высокую точность измерения его параметров.

УДК 621.317.755.084

Электролюминесцентные (ЭЛ) устройства, работающие в матричном режиме, имеют небольшую яркость и контрастность изображения [1]. Поэтому наиболее целесообразно применять их в осциллографических приборах, где требования к яркости и контрастности хорошо согласуются с яркостью и контрастностью, полученными на ЭЛ матричных экранах [1, 2]. Информация о координатах светящихся точек элементов осциллограммы поступает в аналоговом виде. Выбор же соответствующих строк и столбцов матричного экрана осуществляется аналого-цифровым преобразователем (АЦП).

Простейшая функциональная схема универсального осциллографа (XY-осциллографа) с матричным экраном включает два АЦП со схемами адресации (рис. 1). Однако у осциллографов с мат-

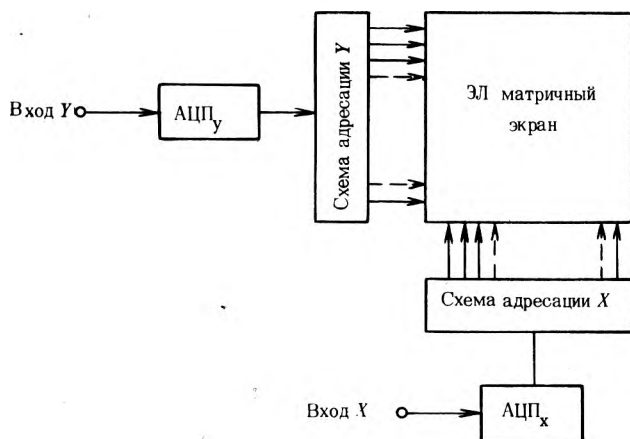


Рис. 1. Функциональная схема осциллографа с матричным экраном

ричным экраном линейную развертку удобнее осуществлять при помощи электронного коммутатора (рис. 2). Основными преимуществами такой конструкции являются наличие только одного АЦП, одной схемы адресации и отсутствие генератора линейно-изменяющегося напряжения, а также идеальная линейность развертки и возможность легко и в широких пределах изменять ее скорость путем изменения тактовой частоты электронного коммутатора.

Длительность сканирования столбца матричного экрана в таком осциллографе  $\tau_C = \frac{\tau_P}{P}$ , где  $\tau_P$  — длительность развертки ЭЛ экрана,  $P$  — количество столбцов экрана. Длительность возбуждения элемента матричного экрана  $\tau_B \leq \tau_C$ . Если на

каждом столбце экрана воспроизводится не более одного элемента осциллограммы, то  $\tau_B = \tau_C$ . Период возбуждения элемента определяется периодом развертки осциллографа. Низкочастотные осциллографы имеют минимальную длительность развертки 10 мкс и при  $P = 100$  и  $\tau_C = 0,1$  мкс длительность возбуждения элемента у них не более 0,1 мкс. Однако яркость ЭЛ экрана при таких коротких временах возбуждения недостаточна для нормального восприятия изображения.

Кроме того, низкая выходная яркость осциллографа с линейной разверткой матричного экрана накладывает ограничение и на период развертки, так как, согласно закону Тальбота, средняя яркость будет уменьшаться пропорционально увеличению этого периода.

Таким образом, рассмотренные схемы осциллографов могут применяться только для отображения сравнительно медленно изменяющихся и иду-

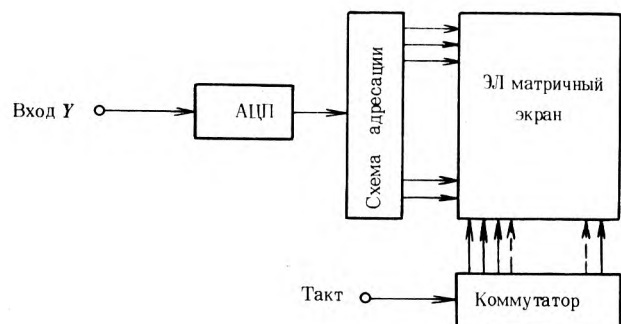


Рис. 2. Функциональная схема осциллографа с линейной разверткой матричного экрана



ших с малой скважностью процессов. Поэтому для увеличения яркости изображения при воспроизведении быстроизменяющихся процессов и процессов, идущих с большой скважностью, необходимо применение внешней памяти – буферного запоминающего устройства (БЗУ), благодаря которому осциллограф становится запоминающим и может быть использован для исследования как периодически повторяющихся, так и однократных процессов.

Функциональная схема запоминающего осциллографа с матричным экраном и БЗУ приведена на рис. 3. Схема переходит в режим записи с приходом входного исследуемого или синхронизирующего сигнала. На вход коммутатора подаются тактовые импульсы развертки, и он начинает последовательно сканировать адресные столбцы БЗУ с длительностью, равной периоду поступающих тактовых импульсов.

Код с выхода АЦПУ, в каждый момент соответствующий входному сигналу, поступает на схему адресации, где осуществляется выбор адресных строк БЗУ. В результате этого в ячейку памяти БЗУ, лежащую в пересечении выбранных адресных шин (строки и сканирующего в этот момент времени адресного столбца), записывается "1". Так, последовательно, информация о сигнале записывается в матрицу БЗУ.

По окончании записи в последний столбец БЗУ сигнал, поступающий с последнего выхода коммутатора, переводит схему в режим воспроизведения информации. В этом состоянии на все горизонтальные адресные строки БЗУ одновременно подается сигнал выборки, а адресные столбцы БЗУ сканируются последовательно и синхронно со столбцами матричного экрана. Сигналы от лежащих на сканируемом столбце БЗУ ячеек памяти, в которых была записана "1", после усиления поступают по выходным шинам на строки ЭЛ матричного экрана.

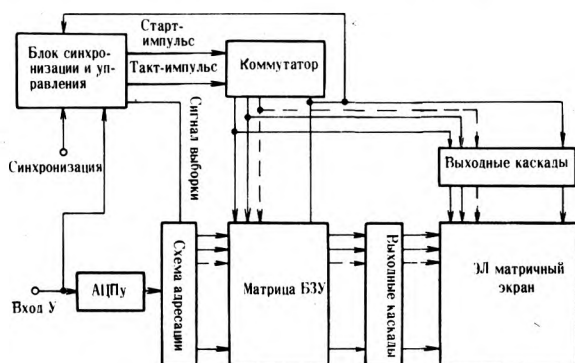


Рис. 3. Функциональная схема осциллографа с ЭЛ матричным экраном и БЗУ

Использование в БЗУ элементов памяти с неразрушаемой при считывании информацией позволяет неограниченно продлевать режим воспроизведения, непрерывно регенерируя на ЭЛ матричном экране изображение однократно записанного сигнала. Поскольку режим воспроизведения этого сигнала не зависит от временных параметров исследуемого сигнала, длительности и периода развертки, можно выбрать такой период поступающих на коммутатор тактовых импульсов, который обеспечит оптимальный режим сканирования ЭЛ матричного экрана с целью получения необходимой яркости и контрастности изображения, а также увеличения долговечности экрана.

Все элементы изображения, записанные в одном адресном столбце БЗУ, воспроизводятся на соответствующем столбце матричного экрана одновременно, т.е. обеспечивается постолбцевой режим сканирования матричного экрана. Длительность возбуждения элемента матричного экрана  $\tau_B$  в этом режиме равна длительности сканирования столбца матричного экрана в режиме воспроизведения.

Средняя яркость изображения на ЭЛ матричном экране в режиме непрерывной регенерации изображения составляет

$$V_{\text{ср}} = \frac{\tau_B B_{\text{ср. имп}}}{T_B} = \frac{B_{\text{ср. имп}}}{Q},$$

где  $Q = \frac{T_B}{\tau_B}$  – скважность возбуждения;  $T_B$  – период возбуждения.

Величина  $B_{\text{ср. имп}}$  мало зависит от скважности  $Q$ . Поэтому одним из возможных способов повышения яркости ЭЛ матричного экрана является уменьшение скважности возбуждения, т.е. количества последовательно коммутируемых столбцов матричного экрана, так как при последовательной коммутации всех столбцов экрана  $Q = P$ . Однако уменьшение общего количества столбцов недопустимо, поскольку количество столбцов матричного экрана обуславливается необходимой точностью воспроизведения исследуемого сигнала, и поэтому для увеличения средней яркости необходимо уменьшать количество последовательно коммутируемых столбцов матричного экрана, сохраняя их общее число неизменным.

Функциональная схема запоминающего осциллографа с ЭЛ матричным экраном, в котором число последовательно коммутируемых столбцов вдвое меньше общего числа столбцов, определяющего разрешающую способность и точность осциллографа, т.е.  $Q = P/2$ , показана на рис. 4. ЭЛ матричный экран этого осциллографа состоит из двух элементарных экранов, так как горизонтальные электроды у него разорваны посередине между столбцами  $P/2$  и  $(P/2) + 1$ , а столбцы попарно запараллелены. Выходные шины БЗУ также разорваны посередине и выведены на соответствующие выходные каскады.

Режим записи этой функциональной схемы не отличается от режима записи ранее рассмотренной функциональной схемы (см. рис. 3). В режиме

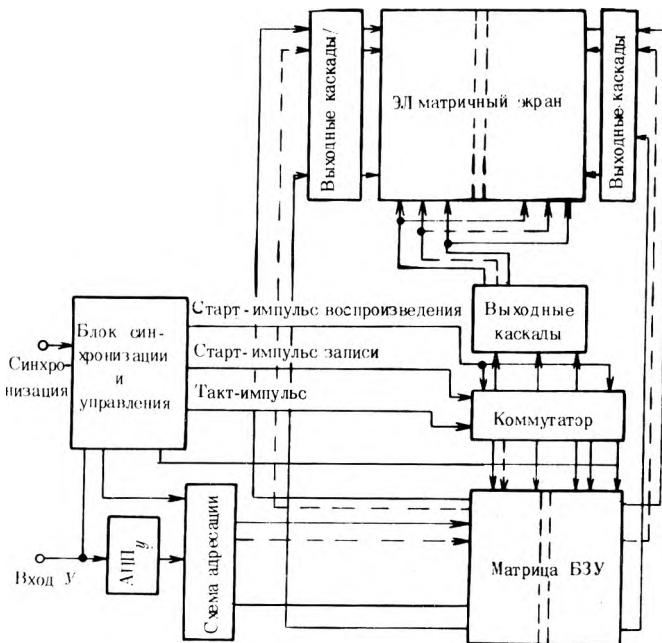


Рис. 4. Функциональная схема осциллографа с ЭЛ матричным экраном, разделенным на две части

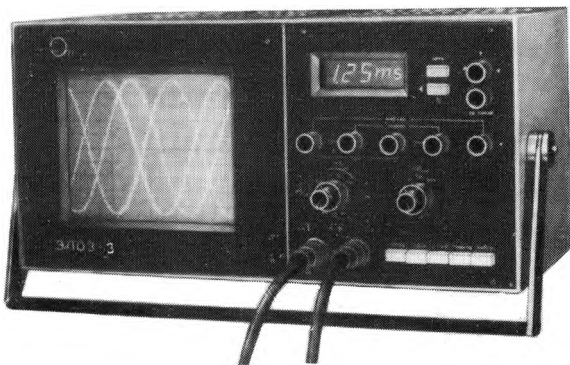


Рис. 5. Внешний вид запоминающего осциллографа 3Л03-3

воспроизведения матрица БЗУ, как и экран, разделена на две части — "полуматрицы", и сигнал выборки при сканировании в режиме считывания подается одновременно на две вертикальные адресные шины матрицы БЗУ, отличающиеся по номеру на  $P/2$ . Сигналы с выходных шин полуматриц БЗУ поступают на соответствующие выходные каскады, а после усиления — на экран.

Таким образом, незначительно усложнив схему коммутации БЗУ и ЭЛ экрана, можно в два раза повысить среднюю яркость изображения без ухудшения разрешающей способности и точности осциллографа. Цифровые методы обработки сигнала, применяемые в осциллографах с матричными экранами, позволяют осуществить с малыми аппаратными затратами полуавтоматическое измерение различных характеристик исследуемого сигнала, например амплитуды и длительности временных интервалов [4].

Малогабаритный запоминающий осциллограф с электролюминесцентным матричным экраном (рис. 5), разработанный на основе функциональной схемы, приведенной на рис. 4, снабжен устройством для полуавтоматического измерения длительности любых участков однократных и периодических процессов с непосредственным цифровым отсчетом измеряемого временного интервала и характеризуется следующими основными параметрами:

Число элементов разложения ЭЛ экрана	104 × 128
Рабочее поле экрана	104 × 128 мм
Яркость изображения	25 кд/м <sup>2</sup>
Контрастность изображения	3:1
Максимальная скорость записи	2 км/с
Погрешность измерения амплитуды сигнала	±1%
Погрешность измерения временных интервалов	±0,8%
Диапазон разверток	от 1 мкс/см до 50 с/см
Максимальная чувствительность	1 мВ/лин
Габариты	350 × 180 × 180 мм
Масса	7 кг

Поскольку скорость записи запоминающего осциллографа с ЭЛ экраном зависит только от быстродействия АЦП и БЗУ, с применением более современных АЦП и БЗУ она может быть значительно повышена. В разработанном приборе использовано БЗУ на основе больших МДП интегральных схем с максимальной скоростью записи 500 нс. При применении ТТЛ и ЭСЛ БЗУ с более высоким быстродействием время записи одной точки может достигать 100 и 10 нс, т.е. скорость записи составит 10 км/с и 100 км/с соответственно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Браверман И.Я., Корнева Р.В., Лямичев И.Я. Устройство отображения информации на матричном экране и пути



повышения контраста экрана. — В кн.: Материалы V Всесоюзного совещания по электролюминесценции. Ставрополь, 1974. (ВНИИ люминофоров).

2. Браверман И.Я., Лямичев И.Я. Воспроизведение графической информации на электролюминесцентных экранах. — В кн.: Телевизионные методы отображения информации. Под ред. М.И. Кривошеева, М., "Сов. радио", 1975.

3. Мясоедов А.Г., Соколов А.Ф. Отображение информации. М., Воениздат, 1971.

4. Браверман И.Я. Осциллограф с матричным экраном. Авт. свидетельство № 508743. — "БИ", 1976, № 12.

Статья поступила 30 марта 1977 г.

Ю.И. Антонов, В.М. Дубовис,  
Ю.Н. Чернышов

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ АНАЛОГОВЫХ МИКРОСХЕМ

Разработанное устройство позволяет повысить быстродействие и эффективность контроля таких параметров линейных микросхем, как напряжение смещения нуля, входные токи смещения и разность входных токов смещения операционных и дифференциальных усилителей.

УДК 621.317.799:621.3.049.77

В настоящее время для контроля ряда параметров операционных и дифференциальных усилителей в интегральном исполнении (входных токов смещения  $I_{см1}$  и  $I_{см2}$ , разности входных токов смещения  $\Delta I_{см}$ , напряжения смещения нуля  $U_{см}$ ) применяются устройства, выполненные по однотипной функциональной схеме (рис.1) [1,2]. На

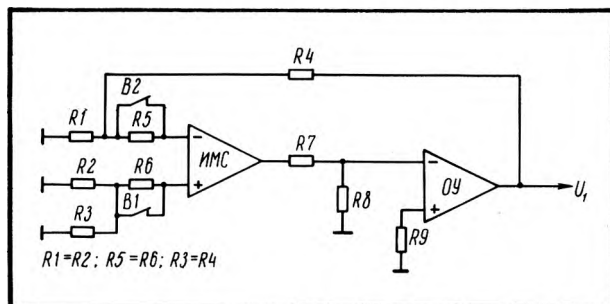


Рис. 1. Функциональная схема устройства для контроля параметров аналоговых микросхем

базе этой схемы при помощи последовательного переключения переключателей В1 и В2 собираются тестовые схемы для измерения указанных параметров.

Они используются при контроле линейных микросхем в условиях серийного производства совместно с автоматическим измерительным оборудованием.

Режим испытываемой микросхемы устанавливается вспомогательным усилителем, на выходе которого при замкнутых переключателях В1 и В2 действует напряжение  $U_1'$ . Напряжение смещения нуля определяют как  $U_{см} = kU_1'$ , где  $k = \frac{R2}{R2+R4}$  —

вспомогательный коэффициент.

При разомкнутом переключателе В1 и замкнутом В2 на выходе вспомогательного усилителя действует напряжение  $U_1''$ , а при замкнутом переключателе В1 и разомкнутом В2 — напряжение  $U_1'''$ .

Входные токи  $I_{см1}$  и  $I_{см2}$  определяют по формулам:

$$I_{см1} = k \frac{U_1'' - U_1'}{R5}; \quad I_{см2} = k \frac{U_1''' - U_1'}{R6},$$

где  $U_1'$ ,  $U_1''$ ,  $U_1'''$  — алгебраические значения напряжений.

При разомкнутых переключателях В1 и В2 получают на выходе вспомогательного усилителя напряжение  $U_1^{IV}$ .

Разность входных токов

$$\Delta I_{см} = k \frac{U_1^{IV} - U_1'}{R5}.$$

При измерении разности входных токов смещения методом, предложенным ГОСТом [1], возникает дополнительная погрешность, зависящая от коэффициента подавления синфазного сигнала испытываемого дифференциального усилителя.

Быстродействие устройства (см. рис.1) ограничено из-за коммутации входных цепей испытываемой микросхемы. Временной интервал между двумя последовательными измерениями на постоянном токе одного изделия должен быть сведен к минимуму, чтобы исключить влияние, например, окружающей температуры. Кроме того, в состав автоматизированного измерительного оборудования входит дорогостоящее электронно-вычислительное устройство для запоминания и вычисления результатов измерения.

В зависимости от положения переключателей В1 и В2 производится последовательное измере-

ние параметров микросхемы, причем длительность каждого испытательного теста определяется по формуле:

$$t = t_K + t_{уст} + t_{и},$$

где  $t_K$  — время переключения контактов переключателей;

$t_{уст}$  — время установления режимов микросхемы после коммутации В1 и В2;

$t_{и}$  — время измерения постоянного напряжения.

Время измерения четырех параметров:  $U_{см}$ ,

$I_{см1}$ ,  $I_{см2}$ ,  $\Delta I_{см}$  равно сумме  $t_{сум1} = \sum_{i=1}^n 4(t_{уст} + t_K + t_{и})$ .

Повысить быстродействие контроля параметров микросхем позволяет устройство, структурная схема которого представлена на рис. 2 [3]. Оно содержит вспомогательный усилитель (Ус), обеспечивающий режим испытуемого дифференциального усилителя. Входные токи сбалансированной микросхемы поступают соответственно на входы операционных усилителей, включенных в режиме измерителей тока, выходные напряжения которых равны  $U_1 = -I_{см1} R5$  и  $U_2 = -I_{см2} R6$  и поступают на входы вычитающего устройства. Так как  $R5 = R6$ , то  $U_1 \equiv I_{см1}$ ,  $U_2 \equiv I_{см2}$ .

Выходное напряжение вычитающего усилителя равно разности входных напряжений, т.е. пропорционально разности входных токов смещения. В случае согласованной работы операционных усилителей, используемых в качестве измерителей тока, напряжение смещения нуля этих усилителей не оказывает влияния на напряжение смещения нуля испытуемой микросхемы.

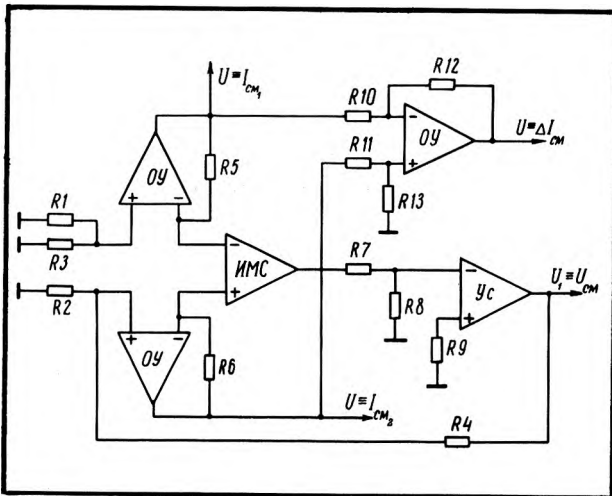


Рис. 2. Функциональная схема устройства с повышенным быстродействием для контроля параметров аналоговых микросхем

Разработанное устройство обеспечивает минимальную погрешность измерения при условии, что собственные входные токи операционных усилителей, используемых в качестве измерителей тока, значительно меньше, чем у испытуемой ИМС. Это условие легко выполняется при использовании операционных усилителей с полевыми транзисторами на входе.

При контроле параметров схемы (напряжения смещения нуля  $U_{см}$ , входных токов смещения  $I_{см1}$ ,  $I_{см2}$  и разности входных токов) время измерения определяется по формуле

$$t_{сум2} = t_{уст} + 4t_K + 4t_{и},$$

где  $t_{уст}$  — время установления режима по постоянному току;

$t_K$  — время переключения контактов;

$t_{и}$  — время измерения измерителя постоянного напряжения.

Обычно  $t_{уст} = 100$  мс,  $t_K = 5$  мс,  $t_{и} = 20$  мс,

Тогда  $t_{сум1} = 500$  мс, а  $t_{сум2} = 200$  мс.

Следовательно, устройство для контроля параметров ИМС, выполненное по схеме, показанной на рис. 2, имеет в 2,5 раза большее быстродействие и может быть применено с достаточно простым автоматизированным оборудованием, не имеющим в своем составе дорогостоящей аппаратуры для запоминания и обработки результатов измерений.

Предлагаемое устройство наиболее эффективно при использовании в качестве измерителей тока операционных усилителей, входные токи которых на два порядка меньше входных токов испытуемой микросхемы.

Повышение производительности контроля микросхем приводит к снижению себестоимости их изготовления при серийном производстве и дает большой экономический эффект.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Микросхемы интегральные аналоговые. Методы измерения электрических параметров и определения характеристик. ГОСТ 19799-74.
2. Материалы международной электротехнической комиссии (МЭК). Интегральные схемы. Пер. с англ. Л., 1971.
3. Дубовис В. М., Антонов Ю. И., Чернышов Ю. Н. Тестовый модуль для контроля параметров интегральных микросхем. Авт. свид. № 570856. — "БИ", 1977, № 32.



А. С. Бондаревский, Ю. А. Вертышев,  
А. А. Остапенко, Е. Г. Секацкий

## МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР КОДОВЫХ КОМБИНАЦИЙ

**Генератор предназначен для использования в качестве задающего устройства в установках контроля динамических параметров цифровых интегральных схем ЭСЛ- и ТТЛ-типов, а также в установках контроля схем на функционирование.**

УДК 621.317.799:621.3.049.77

### Технические характеристики

Число каналов	
генератора .....	8
калибровки .....	1
синхронизации .....	1
Тактовая частота, МГц .....	10, 20, 50
Кодовая комбинация, бит .....	8
Максимальная скважность импульса .....	32
Длительность импульса, нс .....	5–800
Амплитуда импульсов, В .....	$\pm(0,05–3,5)$
Погрешность установки амплитуды, В .....	$0,05 U_K^*$
Дискретность установки амплитуды, мВ .....	10
Длительность фронта и среза импульса, нс .....	1, 2, 5, 10
Смещение базовой линии, В .....	$\pm(0–2)$
Погрешность установки смещения, В .....	$\pm(U_K + 1) 2 \cdot 10^{-3}$
Дискретность установки смещения, мВ .....	2
Мгновенная нестабильность между синхроимпульсом и кодовой комбинацией, пс .....	70

\* $U_K$  – задаваемое кодом напряжение (в вольтах)

Генератор обладает рядом особенностей, обуславливающих широкие функциональные возможности и удобство использования в контрольно-измерительной аппаратуре.

Так, возможность задания кодовых комбинаций импульсов наряду с периодически задаваемыми отдельными тестовыми импульсами существенно расширяет диапазон измерения временных параметров импульсов (частоты, скважности, задержки), позволяет проверять не только динамические параметры ИС, но и контролировать эти схемы на функционирование.

Многоканальность генератора позволяет осуществлять проверку логических ИС, а также триггерных схем и схем памяти.

Высокая частотность тактовых импульсов дает возможность проверять ИС на частотах, близких к максимальным рабочим, а кварце-

вая стабилизация задаваемых частот обеспечивает стабильность частот тестовых импульсов во времени и позволяет использовать их для калибровки.

Для разработанного генератора характерно программное изменение параметров тестовых импульсов, осуществляемое автоматически от ЭВМ. При этом возможность поддержания с высокой точностью задаваемых при программировании значений смещения базовой линии тестового импульса способствует повышению точности операций измерения и контроля\*.

Номенклатура проверяемых ИС при использовании данного генератора значительно расширена благодаря возможности изменения длительностей фронтов тестовых импульсов. Задание по специальному каналу последовательности калибровочных импульсов с программируемыми параметрами позволяет существенно повысить точность контрольно-измерительной аппаратуры путем калибровки по времени ее измерительных устройств, а задание последовательности импульсов синхронизации — определять временные параметры проверяемой микросхемы на любом временном участке тестовых импульсов в измерительном устройстве осциллографического типа, а также обеспечивает хорошую мгновенную стабильность тестового импульса относительно импульса синхронизации.

Функциональная схема многоканального генератора представлена на рис.1. Задающий генератор, предназначенный для тактирования работы многоканального генератора калиброванной частотой 10, 20, 50 МГц (переключение частот программное), состоит из трех автономно работающих кварцевых генераторов, высокочастотного коммутатора 3x1 и усилителя мощности. Кварцевые генераторы выполнены по схеме Батлера, высокочастотный коммутатор — на герконах КЭМ-2А. Трехкаскадный усилитель мощности собран по схеме переключения тока. Нагрузкой усилителя служат одиннадцать 50-омных кабелей. Амплитуда сигнала на нагрузке составляет 1,6 В, длительность фронта — 3 нс.

Управляющий счетчик формирует сигналы «Пуск» и «Стоп» разной полярности (рис.2). Сигнал «Пуск» разрешает прохождение тактовых импульсов в высокочастотный регистр, сигнал «Стоп» запрещает. Пауза между ними составляет четыре периода тактовой частоты, которая необходима для формирования сигнала перезаписи информации в регистр. Управляющие сигналы, поступающие в канал синхронизации, на 200 нс опережают сигналы, поступающие в остальные каналы генератора, обеспечивая за это время задержку тестовых импульсов относительно импульса синхронизации.

\*Гришаков Г.И., Чунаев В.С. Некоторые особенности измерения динамических параметров больших интегральных схем. — «Вопросы радиоэлектроники. Серия РТ», 1972, вып. 3.

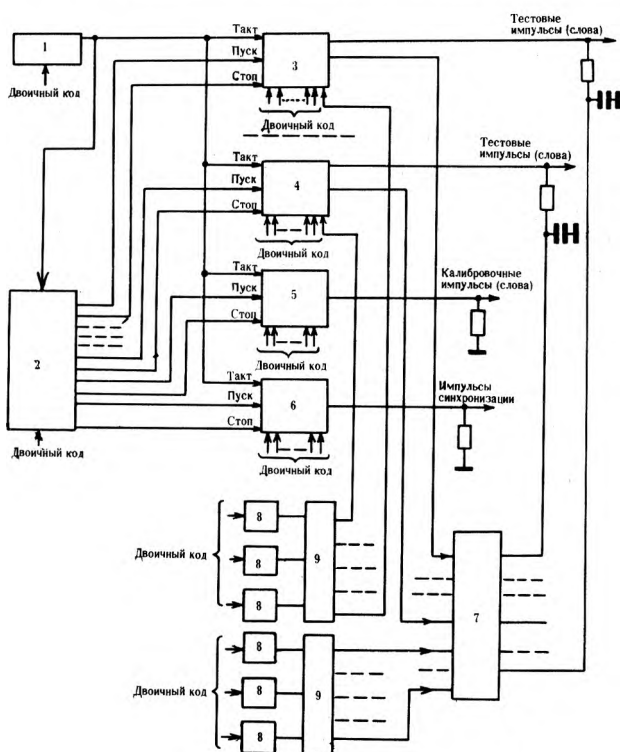


Рис. 1. Функциональная схема многоканального генератора тестовых импульсов: 1 – задающий генератор; 2 – управляющий счетчик; 3 – первый канал генератора тестовых импульсов; 4 – восьмой канал генератора тестовых импульсов; 5 – канал калибровки; 6 – канал синхронизации; 7 – устройство смещения; 8 – программный источник напряжения; 9 – коммутатор

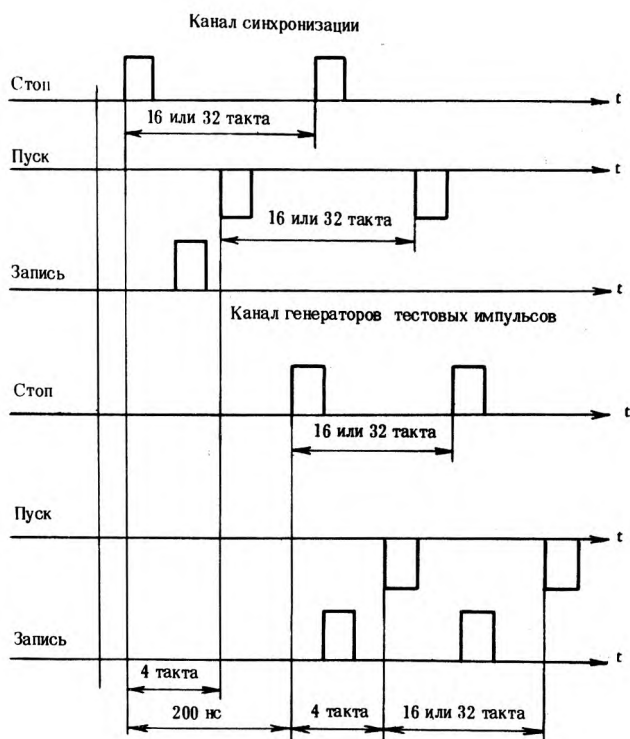


Рис. 2. Временная диаграмма работы управляющего счетчика генератора

ции. Период повторения сигналов «Пуск» и «Стоп» программируется и соответственно составляет 16 и 32 такта.

Счетчик с последовательным (сквозным) переносом, собранный на микросхемах серий К229 и К138, нагружен десятью 50-омными кабелями и на выходе имеет два мощных четырехкаскадных высокочастотных усилителя, выполненных по схеме переключения тока.

Канал генератора, функциональная схема которого представлена на рис.3, состоит из генератора кодовых комбинаций, линии задержки, устройства формирования длительности и полярности, выходного усилителя, аттенюатора. Генератор кодовых комбинаций, представляющий собой высокочастотный сдвиговый регистр, выполненный на микросхемах серии К138, формирует восьмиразрядное слово. В паузе между сигналами «Стоп» и «Пуск» формируется сигнал перезаписи, восстанавливающий заданную информацию в регистре. Линия задержки, работающая в диапазоне 0,5–100 нс с дискретностью 0,5 нс, изготовлена с применением герконов КЭМ-20 и кабеля РК-50-2-II.

Устройство формирования длительности обеспечивает длительность импульса 5, 10, 15, 20 нс. Полярность импульса изменяется в результате коммутации коллекторов токового ключа в предварительном усилителе. Выходной усилитель формирует импульс заданной амплитуды с фронтом и спадом 1 нс, неравномерностью вершины  $\leq 10\%$  и выбросом  $< 7\%$ . Диапазон регулирования амплитуды импульса выходным усилителем составляет 0,5–3,5 В. Генератор имеет емкостной выход.

Аттенюатор генератора рассчитан на четыре диапазона переключения с коэффициентами ослабления 1:1; 1:2,5; 1:5; 1:10. Применение набора аттенюаторов позволило расширить диапазон регулирования амплитуды.

Ячейка смещения преобразует напряжение, равное сумме напряжения смещения, задавае-

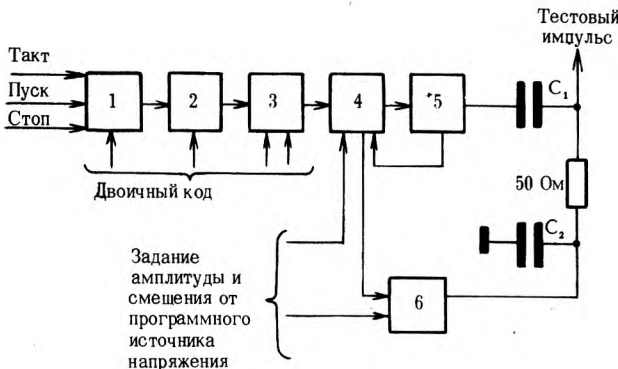


Рис. 3. Функциональная схема канала генератора: 1 – генератор кодовых комбинаций; 2 – линия задержки; 3 – устройство формирования длительности и полярности; 4 – выходной усилитель; 5 – аттенюатор; 6 – ячейка смещения



мого программируемым источником напряжения, и напряжения, снимаемого со схемы, компенсирующей заряд емкости, в значение силы тока, который, протекая через нагрузку, обеспечивает заданное смещение с большой точностью.

Все параметры генератора, кроме коэффициента ослабления аттенюатора и длительностей фронтов тестовых импульсов, задаются от ЭВМ. Линия задержки и устройство формирования длительности установлены на двух каналах генератора. Параметры канала калибровки соответствуют требованиям к калибровке временных параметров измерительного комплекса, что обусловило некоторые его отличия от остальных каналов генератора (фиксированная амплитуда импульсов, набор фиксированных и точно измеренных задержек 5, 10, 15 нс, фронт импульсов 0,9 нс). Канал синхронизации имеет импульс амплитуды 3,5 В и набор задержек, величина которых определяется разверткой стробоскопического измерителя.

Тестовые импульсы поступают на проверяемую микросхему по кабелю длиной 8 м и через высокочастотные коммутаторы.

В результате применения схемы коррекции тестового импульса, искаженного неоднородностями высокочастотной линии передачи, удалось достичь длительности фронта 1 нс и равномерности вершины менее 10%.

*Статья поступила 16 сентября 1977 г.*

В. А. Бунин, М. В. Ковецкий

## ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЯ НАСЫЩЕНИЯ И СТАТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ТОКА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Широкий диапазон значений измеряемых параметров и режимов позволяет производить измерение биполярных транзисторов большой номенклатуры при входном контроле и производстве.

УДК 621.317.799:621.382.33

Измерители, предназначенные для измерения напряжения насыщения ( $U_{sat}$ ) и статического

коэффициента передачи тока ( $h_{21E}$ ) биполярных транзисторов (рис. 1), могут работать как автономно, так и в составе классификаторов. В измерителях используются регулируемые и программируемые источники задания режимов  $I_B, I_C, I_E, U_C$ . Имеется выход измеряемых параметров на ЦПМ в коде 1-2-4-8.

Отсчет значений параметров  $U_{sat}, h_{21E}$  и контроль режимов — прямой цифровой на 3 и 5 разрядах.

Питание осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В ± 10%. Габариты измерителей — 500 × 500 × 160 мм. Масса — не более 10 кг.

Структурная схема измерителя  $U_{sat}$  представлена на рис. 2.

Измеряемое напряжение насыщения . . . . .	±(0,005±10)В
Амплитуда импульса . . . . .	
тока базы . . . . .	1 мА-20А
тока коллектора . . . . .	1 мА-99А
Длительность импульса . . . . .	
тока базы . . . . .	1,5-2 мс
тока коллектора . . . . .	1,2-1,5 мс
Время измерения . . . . .	≤ 20 мс

Измерение напряжения насыщения производится в соответствии с ГОСТ 13852-68. В базу и коллектор измеряемого транзистора подаются одиночные импульсы тока, регулируемые и программируемые по амплитуде. Программирование может осуществляться как с помощью переключателей, расположенных на передней панели, так и с помощью внешних сигналов. Применение дифференциального входного усилителя устраняет влияние синфазной помехи [1].

Напряжение с выхода усилителя подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) время-импульсного типа с линейно-изменяющимся опор-

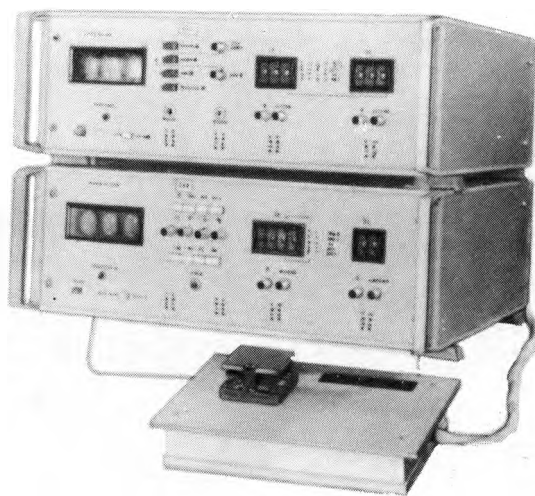


Рис. 1. Цифровые измерители напряжения насыщения и статического коэффициента передачи тока транзистора

ным напряжением. Нелинейность АЦП в диапазоне измеряемых входных напряжений не превышает 0,5%. Счетные импульсы с выхода АЦП поступают на счетчик [2].

Структурная схема измерителя  $h_{21E}$  приведена на рис. 3.

Измеряемый статический коэффициент передачи тока	5-90000
Амплитуда импульса тока эмиттера	1,5 мА-100 А
напряжения коллектора	1-20 В
Длительность импульса тока эмиттера	1,2-2,2 мс
напряжения коллектора	3-5,5 мс
Время измерения	≤ 30 мс

Измеритель осуществляет измерение и цифровую индикацию значения  $h_{21E}$ , соответствующе-

$$h_{21E} = \frac{I_E}{I_B + I_{CBO}} - 1.$$

го выражению  $h_{21E}$  входят регулируемые и программируемые стабилизаторы  $I_E, U_C$ , уси-

литель с цифровым резистором в цепи обратной связи. С помощью цифрового резистора производится изменение коэффициента усиления базового усилителя при регулировании или программировании тока  $I_E$ . Схема фиксации уровня осуществляет учет и добавление к току  $I_B$  тока  $I_{CBO}$  [3].

АЦП работает в двух режимах: в режиме измерения  $h_{21E}$  осуществляется операция аналогового деления (с помощью интегратора); в режиме контроля измеряется напряжение (см. АЦП на рис. 1).

При поступлении сигнала "Пуск" на измеряемый транзистор поступает по два одиночных импульса  $I_E$  и  $U_C$ , во время действия которых измеряется  $h_{21E}$ .

ЛИТЕРАТУРА

1. Шило В. Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. М., "Сов. радио", 1974.
2. Хлистунов В. Н. Основы цифровой электроизмерительной техники и цифровые преобразователи. М., "Энергия", 1966.
3. Бунин В. А. Цифровое устройство для измерения статического коэффициента передачи тока транзисторов. Авт. свид. №548814.- "БИ", №8, 1977.

Статья поступила 8 февраля 1978 г.

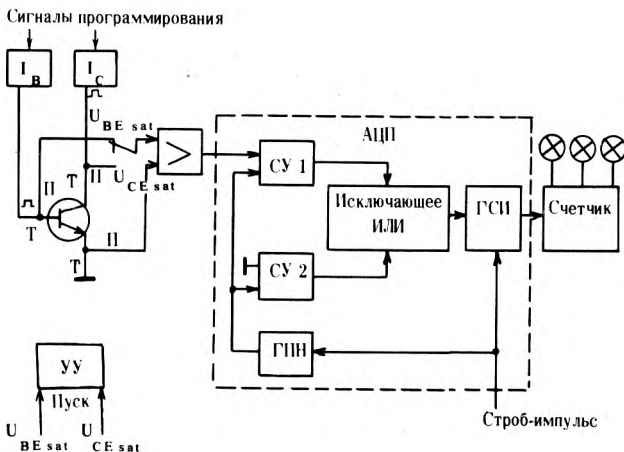


Рис. 2. Структурная схема измерителя  $U_{sat}$

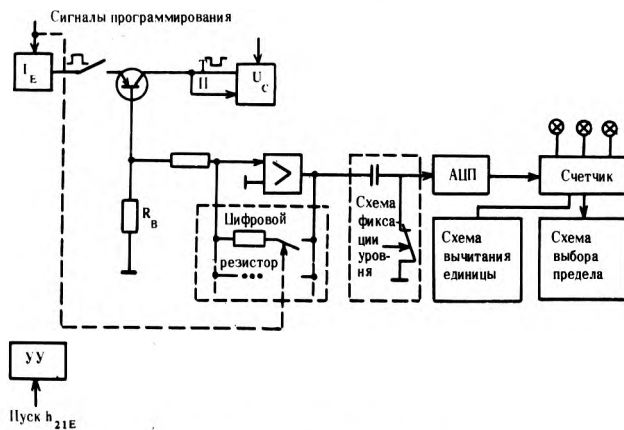
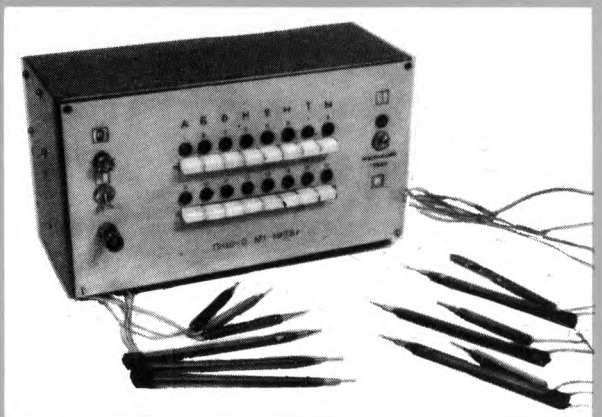


Рис. 3. Структурная схема измерителя  $h_{21E}$

РЕКЛАМА ЭП РЕКЛАМА

ПРИБОР КОНТРОЛЯ ШИН ПКШ-2



Предназначен для прозвонки жгутов и длинных шин печатного монтажа.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Число одновременно подключаемых к прибору абонентов	16
Ток прозвонки, мА	10
Напряжение питания, В	220 (50 Гц)
Потребляемая мощность, Вт	1
Габариты, мм	270x155x190
Масса, кг	1,5



# АВТОМОБИЛЬНЫЙ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ МАГНИТОФОННЫЙ ПРОИГРЫВАТЕЛЬ "ЭЛЕКТРОН-301"



ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ РЕЧИ И МУЗЫКИ, ЗАПИСАННОЙ НА МАГНИТНОЙ ЛЕНТЕ, УСТАНОВЛЕННОЙ В КОМПАКТ-КАССЕТУ, И РАССЧИТАН НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ В ЛЕГКО-ВЫХ АВТОМОБИЛЯХ ВСЕХ МАРОК.

Скорость движения ленты, см/с	4,76
Номинальная выходная мощность, Вт	2,5x2,5
Диапазон частот воспроизведения, Гц	100—6300
Габариты, мм	
устройства воспроизведения	210x150x155
акустической системы	170x170x170

## ЭЛЕКТРОННЫЕ ФОТОВСПЫШКИ



МОЩНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА МНОГОКРАТНОГО ДЕЙСТВИЯ. СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЗВОЛЯЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ИХ КАК ДЛЯ ЧЕРНО-БЕЛОЙ, ТАК И ДЛЯ ЦВЕТНОЙ ФОТОГРАФИИ. МОГУТ РАБОТАТЬ СО ВСЕМИ ФОТОАППАРАТАМИ, ИМЕЮЩИМИ ГНЕЗДО СИНХРОКОНТАКТА ИЛИ ОБОЙМУ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ КОНТАКТОМ.

	СЭФ-3	"ФОТОН"	"ЛУЧ-М1"	"ЭЛЕКТРОНИКА Л5-01"	"ДАНКО-50"
ЭНЕРГИЯ ВСПЫШКИ, Дж	36	36	36,68,104	20,28,40	70,140,210
УГОЛ РАССЕЙВАНИЯ СВЕ- ТОВОГО ПУЧКА, град	60	40	60	45	60
ПИТАНИЕ, В	220 (50 Гц); автономный источник	220 (50Гц);	220 (50Гц);	220 (50Гц); элементы А316	220 (50 Гц) автономный источник
ГАБАРИТЫ, мм	142x65x45	95x85x60	227x138x115	50x82x100	145x75x80
МАССА, г	350	350	1000	520	450



# ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

С.А. Зверев

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ИС

Приводятся методы расчета параметров распределенной эквивалентной схемы транзистора и сопротивлений многополюсных диффузионных резисторов с неоднородной проводимостью, основанные на данных о распределении потенциала.

УДК 621.3.049.77.001.24

По мере увеличения функциональной сложности и степени интеграции ИС усложняются задачи проектировщиков и разработчиков в создании схем с достаточной гарантией работоспособности. Эти проблемы не удается решить методами, основанными только на опыте и интуиции разработчика. Возникает необходимость создания математического обеспечения процесса проектирования ИС.

Полный цикл машинного проектирования ИС [1] включает проектирование активных и пассивных элементов, анализ статического и динамического режимов работы, оптимизацию функциональных параметров режимов работы, статистический анализ и оптимизацию ИС по параметрам элементов и нормам отбраковки, разработку топологии, выпуск конструкторской документации.

● Для прогнозирования гамма-процентного ресурса ИЭТ в качестве наиболее предпочтительных выбраны методы ускоренной оценки показателей надежности, основанные на статистической обработке результатов длительных испытаний в нормальных режимах на долговечность, а также на проведении испытаний в форсированных режимах. На основе анализа механизмов отказов оксидно-полупроводниковых конденсаторов предложена физическая модель долговечности и определена область форсированных режимов испытаний.

● При разработке укрупненных нормативов затрат на стадии подготовки и освоения производства полупроводниковых транзисторов предлагается использовать метод экспертных оценок, который в сочетании с расчетно-аналитическим методом дает возможность отобрать важнейшие факторы, влияющие в наибольшей степени на трудоемкость освоения транзисторов, упростить расчет нормативных зависимостей, а также ускорить расчет нормативов.

Состав библиотеки программ автоматизированной системы проектирования элементов АСПЭ [2] приведен на рис. 1.

В статье обсуждаются алгоритмы и программы расчета резисторов и транзисторов с учетом их топологии (технологический маршрут IV), реализованные на ЭВМ БЭСМ-6.

Наиболее перспективным способом учета влияния топологии транзисторных структур на их параметры являются двумерные распределенные модели [3-5]. Полупроводниковая структура в таких моделях представляется в виде совокупности элементарных транзисторных структур, соединенных по эмиттеру, базе и коллектору омическими сопротивлениями (рис. 2). Каждая структура считается "идеальной" и одномерной, и для расчета ее параметров может быть использована модель Эберса-Молла.

В качестве элементарных структур [3] предлагается использовать объемы, заключенные между соседними парами линий равного потенциала, что позволяет получить достаточно простую эквивалентную схему транзисторной структуры, учитывая ее топологию. Распределенную электрическую модель планарной транзисторной структуры, учитывающую характер растекания токов основных носителей, можно построить, используя систему уравнений, описывающую распределения потенциала, создаваемые токами основных носителей. В связи с тем, что линейные размеры интегрального транзистора значительно больше глубины залегания  $p-n$  переходов, предлагается [4,5] в качестве элементарных структур использовать цилиндри-

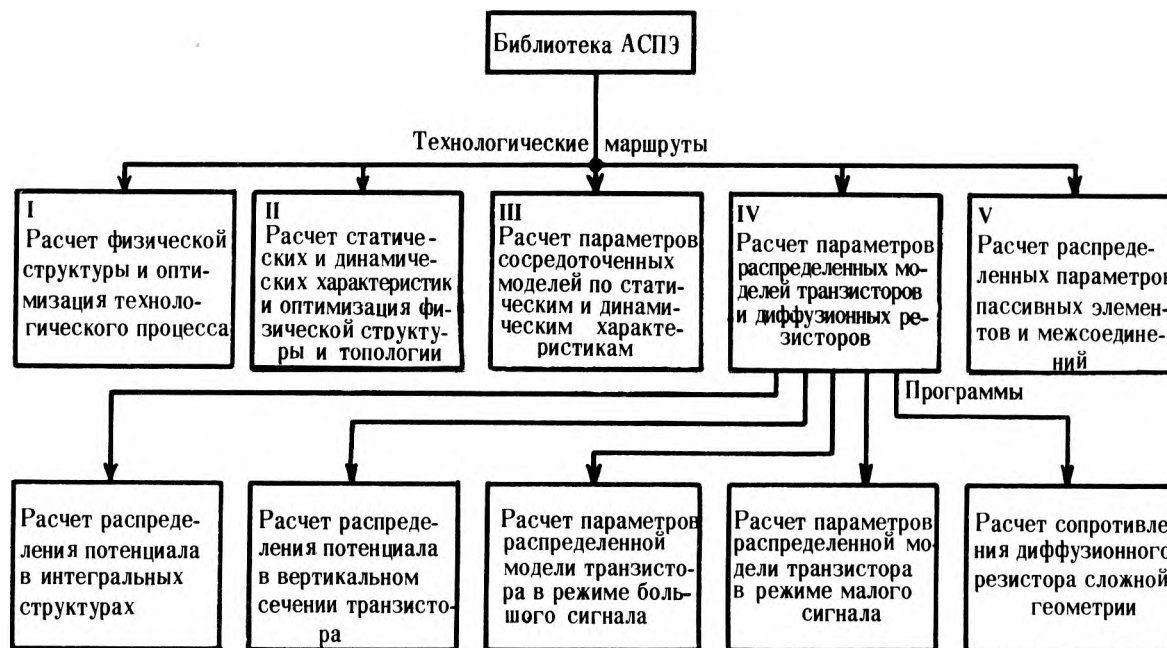


Рис. 1. Состав библиотеки программ АСПЗ

ческие объемы, основаниями которых служат криволинейные области, образованные двумя соседними линиями равного потенциала и двумя линиями тока. Каждую элементарную структуру и примыкающие к ней участки  $p-n$  переходов можно представить электрическими эквивалентными схемами, которые затем объединяются в полную эквивалентную схему транзисторной структуры с помощью постоянных резисторов. А так как составляющая тока, тангенциальная линии равного потенциала, равна нулю, эквивалентные схемы тех элементарных объемов, которые заключены между каждой парой соседних эквипотенциальных линий, могут быть объединены.

Такой метод выбора и группировки элементарных структур позволяет получить многоэлементную

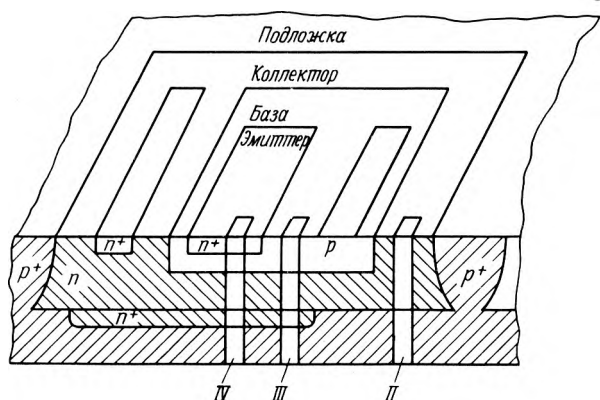


Рис. 2. Планарный транзистор: II, III, IV – двух-, трех- и четырехслойные элементарные транзисторные структуры

эквивалентную схему транзисторной структуры с числом ячеек, равным выбранному количеству эквипотенциальных линий. Следовательно, оно по желанию разработчика может быть не слишком велико. Значительно упрощает расчет полной эквивалентной схемы транзистора и то, что все ячейки соединены друг с другом последовательно.

Таким образом, для расчета параметров транзисторов в первую очередь необходимо рассчитать распределение потенциала в различных областях транзисторной структуры.

В базовой области транзистора распределение потенциала описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных:

в базовой области под эмиттером

$$\frac{1}{\rho'} \Delta U = -J;$$

в пассивной части базовой области

$$\frac{1}{\rho''} \Delta U = 0;$$

в области базового контакта

$$U = 0;$$

на границе активной и пассивной частей базовой области

$$\frac{1}{\rho'} \frac{\partial U}{\partial \tilde{n}} \Big|_{\Gamma^+} = - \frac{1}{\rho''} \frac{\partial U}{\partial \tilde{n}} \Big|_{\Gamma^-};$$



на внешней границе базовой области

$$\frac{\partial U}{\partial \vec{n}} = 0.$$

Здесь  $\rho'$  и  $\rho''$  – удельные поверхностные сопротивления активной и пассивной частей базы;  $U$  – потенциал поля в базовой области относительно базового контакта;  $J$  – плотность тока основных носителей, втекающих в базовую область через проекцию эмиттера;  $\vec{n}$  – внешняя нормаль к рассматриваемой области.

Для коллекторной области задача расчета распределения потенциала может быть сформулирована аналогичным образом. Плотность тока, инжектируемого эмиттерным  $p$ - $n$  переходом, можно записать в виде

$$J(x, y) = j_{\text{Э0}}(1 - \alpha_N) [\exp \{ (U_{\text{Эб}} - U(x, y)) / \gamma_T \} - 1],$$

где  $j_{\text{Э0}}$  – плотность начального тока эмиттерного  $p$ - $n$  перехода;  $U_{\text{Эб}}$  – разность потенциалов между эмиттерным и базовым контактами;  $\alpha_N$  – коэффициент передачи тока в коллектор в нормальном активном транзисторном режиме;  $U(x, y)$  – распределение потенциала в активной области базы под эмиттером;  $\gamma_T = kT/q \approx 0,026$  В. В этом случае задача расчета распределения потенциала становится квазилинейной.

Усложнение топологии транзисторных структур выдвинуло задачу разработки универсального способа задания исходной информации и создания некоторой обобщенной геометрической модели для достаточно широкого класса транзисторов. Будем считать, что транзисторная структура представляет собой совокупность следующих элементов: коллекторная область  $T$ , базовая область  $B$ , эмиттерная область  $E$ , коллекторный контакт  $CC$ , базовый контакт  $BC$ , область скрытого слоя  $S$ , область  $V$ , область  $W$  [6].

Область скрытого слоя  $S$  учитывается при расчете полей потенциалов в коллекторной, а области  $V$  и  $W$  – в базовой области транзистора ( $V$  и  $W$  представляют собой области с различными сопротивлениями, отличающимися от сопротивления базовой области).

Взаимное расположение элементов транзисторной структуры должно удовлетворять следующим условиям (рис. 3):

$$\left. \begin{aligned} E \subset B \subset T; CC \subset T \setminus B; BC \subset B \setminus E; \\ V \subset B \setminus E; W \subset B \setminus E; V \cap W = \emptyset; S \subset T. \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

что не ограничивает общности модели и соответствует планарной технологии производства ИС.

Перечисленные области транзистора могут представлять собой многоугольники произвольной конфигурации со сторонами, параллельными осям некоторой выбранной прямоугольной системы координат. Каждый из этих многоугольников заменяется такой совокупностью конечного числа прямоугольников, что любая внутренняя точка многоугольника будет внутренней точкой по крайней мере одного прямоугольника. Тогда информацию о топологии можно задавать координатами левого нижнего и правого верхнего углов прямоугольников разбиения.

Такой способ описания топологии транзисторных структур можно использовать для весьма широкого класса компонентов ИС, и, кроме того, он может быть распространен на более сложные структуры путем введения дополнительных подобластей в условие (1).

Наличие такой геометрической модели транзистора позволяет сформулировать задачу распределения потенциала более компактно:

во всей области, кроме контакта:

$$\operatorname{div} \left( \frac{1}{\rho(x, y)} \operatorname{grad} U(x, y) \right) = -J(x, y); \quad (2)$$

на контакте к рассматриваемой области

$$U(x, y) = 0.$$

Здесь  $\rho(x, y)$  и  $J(x, y)$  – разрывные функции координат, принимающие различные значения в зависимости от принадлежности точки  $(x, y)$  некоторой подобласти транзисторной структуры и определенные в точках разрыва стандартным образом.

Численные эксперименты [7, 8] показали, что наиболее целесообразно для аппроксимации данной краевой задачи использовать девятиточечный раз-

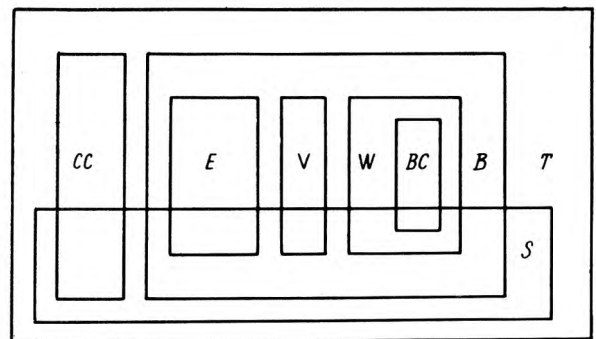


Рис. 3. Обобщенная геометрическая модель транзистора

ностный шаблон, который для уравнения Пуассона (2) с переменными коэффициентами  $\sigma(x, y) = 1/\rho(x, y)$  и  $J(x, y)$  на квадратной сетке имеет следующий вид [9]:

$$(6h^2)^{-1} \cdot \left\{ \sigma_I U_{m+1, n+1} + \sigma_{II} U_{m-1, n+1} + \sigma_{III} U_{m-1, n-1} + \sigma_{IV} U_{m+1, n-1} + 2[(\sigma_I + \sigma_{II}) U_{m, n+1} + (\sigma_{II} + \sigma_{III}) U_{m-1, n} + (\sigma_{III} + \sigma_{IV}) U_{m, n-1} + (\sigma_{IV} + \sigma_I) U_{m+1, n}] - 5(\sigma_I + \sigma_{II} + \sigma_{III} + \sigma_{IV}) U_{m, n} \right\} = -\frac{1}{4}(J_I + J_{II} + J_{III} + J_{IV}), \quad (3)$$

где  $\sigma_i, J_i, (i = \overline{I, IV})$  – проводимости и плотности тока в ячейках разностной сетки, прилежащих к узлу  $(m, n)$ ;  $h$  – шаг сетки (рис. 4). Разностный шаблон (3) обеспечивает более высокий порядок аппроксимации  $O(h^6)$  в случае постоянной правой части и не хуже  $O(h^2)$  для нелинейной задачи, а также повышенную скорость сходимости при решении алгебраической системы итерационным методом по сравнению с пятиточечным разностным шаблоном [7].

Записывая уравнение (3) для каждого узла  $(m, n)$  разностной сетки и выражая из него  $U_{m, n}$ , получаем систему алгебраических уравнений, коэффициенты которых определяются топологией транзисторной структуры. Чтобы не определять коэффициенты на каждом шаге итерационного процесса и тем самым сократить время счета, каждому узлу  $(m, n)$  разностной сетки поставим в соответствие некоторое число  $IM(m, n)$ , содержащее информацию о проводимостях ячеек сетки, прилежащих к данному узлу, и о плотности тока в данном узле сетки. Совокупность этих чисел будем называть индексной матрицей [8].

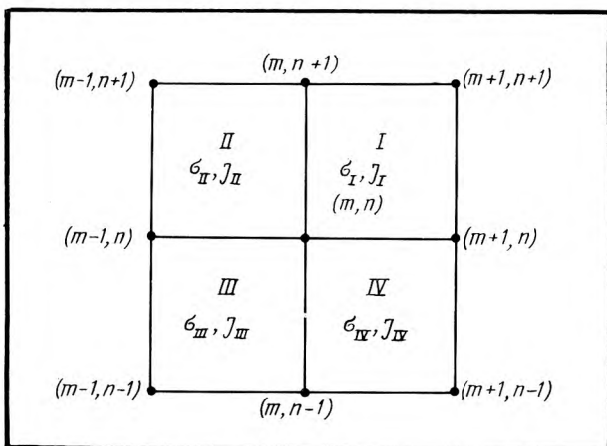


Рис. 4. Девятиточечный разностный шаблон

Уравнение (3) и индексная матрица коэффициентов полностью описывает систему алгебраических уравнений разностного подхода к задаче расчета распределения потенциалов в интегральных транзисторных структурах.

Для решения систем алгебраических уравнений использован один из итерационных методов – метод последовательной релаксации [10], применение которого для решения данной задачи, а также результаты расчетов рассмотрены в работе [11].

### Расчет параметров активных элементов ИС.

Характеристики структур, состоящих из функционально-интегрированных элементов с неразличимыми компонентами, можно оценить лишь на основе информации, учитывающей их топологию. Наиболее исчерпывающей информацией такого рода является картина распределения потенциала (рис. 5), позволяющая оценить сопротивления между отдельными элементами структуры и токи при различных режимах работы  $p-n$  переходов.

Программа расчета распределения потенциала дает возможность разработчику проанализировать на этапе проектирования большое количество вариантов топологии, построить кривые зависимости наиболее важных параметров схемы от топологии структуры и выбрать решение, оптимальное с точки зрения электрических и конструкторских характеристик конкретной интегральной схемы [12].

Разработанный алгоритм расчета распределения потенциала в двумерных областях с неоднородной проводимостью нашел широкое применение при расчетах полей потенциалов в коллекторной области транзистора.

В работах [13, 14] подробно описан алгоритм расчета распределения потенциала в вертикальном сечении коллекторной области транзистора при следующих допущениях (рис. 6):

- 1) распределение примесей одинаково для всех

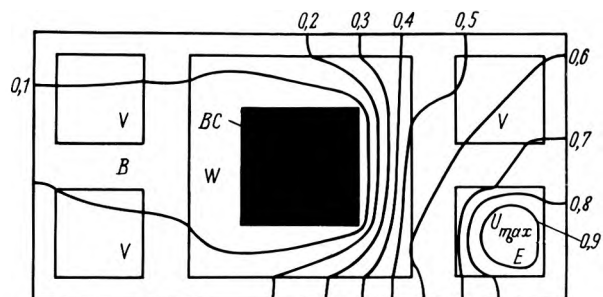


Рис. 5. Распределение потенциала в сложной транзисторной структуре



вертикальных сечений, т.е. коллекторная область имеет полосковую геометрию;

2) ток втекает в коллекторную область через участок коллекторного  $p-n$  перехода, ограниченный проекцией эмиттера;

3) скрытый слой разбивается на несколько слоев, внутри каждого из которых концентрация примеси считается постоянной;

4) конфигурация областей вертикального сечения транзисторной структуры представляет собой совокупность многоугольников со сторонами, параллельными осям выбранной системы координат.

Ограничение 1 дает возможность считать задачу двумерной, а ограничения 3 и 4 позволяют ввести обобщенную геометрическую модель, аналогичную (1). Тогда математическая формулировка задачи совпадает с задачей (2), где поверхностное сопротивление определяется отношением удельного объемного сопротивления к протяженности коллекторной области.

Специфической особенностью этой задачи является то, что размеры коллекторной области вдоль плоскости кристалла намного больше ее глубины. В связи с этим для уменьшения времени счета при аппроксимации уравнений использована не квадратная, а прямоугольная разностная сетка, девятиточечный разностный шаблон на которой для уравнения с разрывными коэффициентами описан в работе [14]. Кроме того, существенное уменьшение времени счета было достигнуто благодаря специальному способу перебора узлов сетки, хорошему начальному приближению, получаемому путем предварительного грубого расчета, а также оценке величины параметра сходимости метода последовательной верной релаксации.

Все области приложения разработанных в [8, 11, 14] алгоритмов широко используются в практике проектирования элементов ИС. Однако

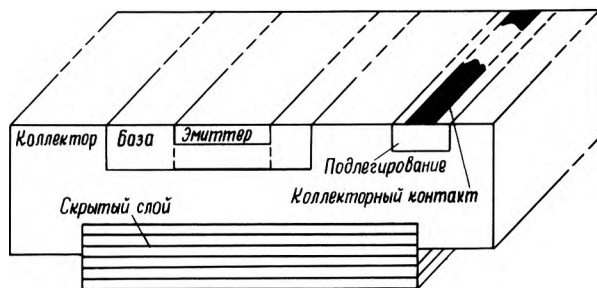


Рис. 6. Коллекторная область транзистора

такой режим эксплуатации программ, предполагает взаимодействие человека с машиной.

Для создания единого цикла машинного проектирования необходимо, чтобы результатом этапа проектирования элементов были параметры некоторой эквивалентной схемы транзисторной структуры. Для этой цели в работе [14] предлагается использовать распределенную модель активных элементов ИС сложной геометрии с учетом двумерного характера растекания токов основных носителей [5].

Интегральные транзисторные структуры, работающие в режиме большого сигнала, удобно моделировать нелинейной распределенной эквивалентной схемой (рис. 7) [5], которая характеризуется следующей системой параметров: начальными токами эмиттерного, а также активной и пассивной частей коллекторного  $p-n$  переходов; нормальном и инверсном коэффициентами передачи тока через активную и пассивную части коллекторной области; резисторами базовой и коллекторной цепей ( $r_{\delta}^1, r_{\delta\delta}^1, r_{\delta\kappa}^1, r_{\kappa}^1, r_{\kappa\kappa}^1$ ).

Первые две группы параметров – начальные токи и коэффициенты передачи – определяются физической структурой интегральной схемы. Методы их расчета подробно описаны в литературе [15].

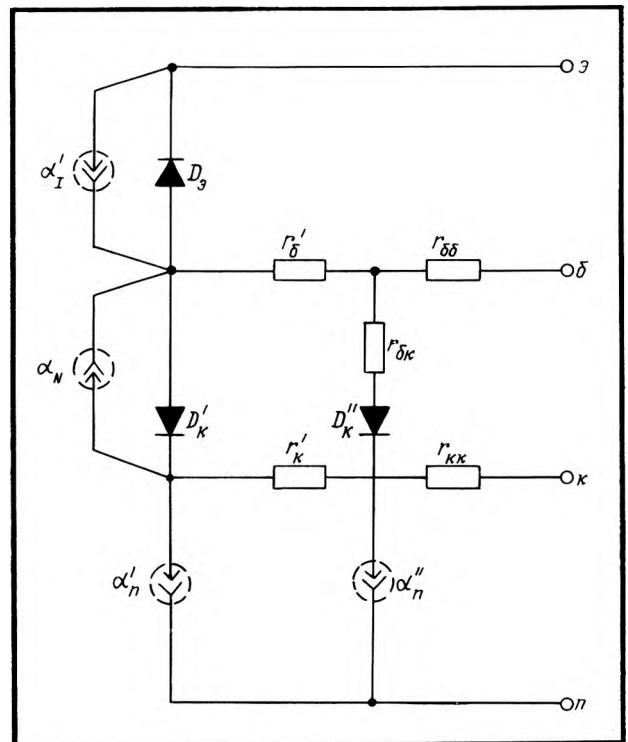


Рис. 7. Эквивалентная схема транзистора

Методика расчета на ЭВМ третьей группы параметров модели, определяемых главным образом топологией транзисторных структур, приведена в работе [6].

Для расчета резисторов эквивалентной схемы, получаемой после суммирования элементарных транзисторных структур, используются формулы [5]:

$$r = \sum_{i=1}^{N-1} \left[ \frac{S_i}{S_{\Pi}} \sum_{j=1}^i (R_j \sum_{k=j}^{N-1} \frac{S_k}{S_a}) \right],$$

где  $S_a$  и  $S_{\Pi}$  — площади активных или пассивных частей  $p-n$  переходов;  $S_k$  и  $S_i$  — части этих площадей, заключенные между последовательными парами эквипотенциалов электрических полей, рассчитанных для нормального или инверсного режимов работы транзистора;  $R_j$  — сопротивления между парами эквипотенциалов соответствующего поля;  $N$  — число эквипотенциалов.

Таким образом, для расчета резисторов эквивалентной схемы транзистора необходимо рассчитать распределения потенциалов в базовой и коллекторной областях, и вычислить площади и сопротивления между эквипотенциальными кривыми. Использование самих эквипотенциальных кривых в качестве исходной информации для вычисления площадей между ними нецелесообразно из-за весьма сложной картины распределения потенциала. Поэтому был предложен иной алгоритм вычисления площадей [5]:

- каждая ячейка исходной сетки делится на  $p^2$  вспомогательных ячеек, и путем квадратичной интерполяции определяются потенциалы узлов вспомогательной сетки через потенциалы узлов исходной сетки;

- каждой ячейке вспомогательной сетки ставится в соответствие некоторое эффективное значение потенциала, которое определяется как среднее арифметическое потенциалов образующих ее узлов, и считается, что этот потенциал полностью характеризует данную ячейку;

- путем перебора ячеек исходной и вспомогательной сеток области и последовательных пар потенциалов эквипотенциальных кривых подсчитывается число ячеек, эффективные значения потенциалов которых заключены между исходными значениями потенциалов. Это число для каждой пары эквипотенциальных кривых и будет искомым площадью.

После вычисления площадей между эквипотен-

циальными кривыми расчет резисторов эквивалентной схемы уже не представляет трудностей.

Знание удельных поверхностных сопротивлений, определяемых технологией изготовления ИС, и топологии транзисторной структуры дает возможность рассчитать резисторы базовой и коллекторной цепей распределенной эквивалентной схемы. В процессе разработки новой транзисторной структуры целесообразно использовать имеющуюся базовую технологию, если она обеспечивает параметры транзисторной структуры, удовлетворяющие поставленным требованиям. При наличии такой технологии основой для выбора оптимальных номиналов резисторов эквивалентной схемы служит топология транзисторной структуры

Предложенная методика позволяет эффективно использовать ЭВМ для выбора оптимальной геометрии и взаимного расположения элементов транзисторной структуры.

Для определения параметров модели транзистора, работающего в режиме малого сигнала, также может быть использована распределенная эквивалентная схема [4]. Элементы этой схемы составляют сопротивления, емкости и проводимости транзисторных структур, для расчета которых необходимо на основе распределения потенциалов в базовой и коллекторной областях вычислить площади и части периметров областей  $p-n$  переходов, заключенных между парами эквипотенциальных линий, а также "перекрестные" площади и периметры, получаемые путем наложения сеток эквипотенциалов в базовой и коллекторной областях.

Алгоритм расчета периметров строится аналогично алгоритму расчета площадей с той лишь разницей, что просматриваются основные и вспомогательные отрезки (стороны ячеек), принадлежащие рассматриваемой границе, и эффективные значения потенциалов этих отрезков вычисляются как полусумма потенциалов образующих их узлов. Перекрестные площади и периметры вычисляются по приведенным выше алгоритмам.

Из-за отсутствия компактной эквивалентной схемы после определения параметров распределенной эквивалентной схемы  $Y$ -параметры транзистора и его частотные характеристики рассчитываются по одной из известных программ расчета электронных схем [16, 17].

Все приведенные алгоритмы реализованы на ЭВМ для обобщенной геометрической модели транзистора и включены в библиотеку автоматизированной системы проектирования элементов [2].



**Расчет диффузионных резисторов.** Увеличение степени интеграции ИС привело к усложнению топологии как активных, так и пассивных компонентов, в том числе и диффузионных резисторов. Для современных разработок характерно использование резисторов с неоднородной проводимостью, причем в ряде случаев резистивные компоненты схемы объединяются в многополюсные монокристаллические диффузионные слои совмещением общих контактных площадок (рис. 8).

Традиционные методы, такие как использование номограмм [18] для резисторов стандартных конфигураций или эмпирических формул с многочисленными поправочными коэффициентами [19] непригодны для расчета резисторов сложной структуры. В работах [20, 21] предложена методика, по которой на основе программ расчета распределения потенциала определяется разность потенциалов на контактных площадках при заданной величине протекающего между ними тока, после чего сопротивление резистора вычисляется по закону Ома.

Для создания универсального алгоритма, учитывающего топологию резистора, разработана и предложена обобщенная геометрическая модель резистора [22]. Постановка и метод решения задачи расчета поля аналогичны вышеизложенным. Следует отметить, что при расчете резисторов скорость сходимости итерационного процесса зна-

чительно ниже из-за большого (на 2–3 порядка) перепада удельных поверхностных сопротивлений в различных областях резистивной структуры, а также при наличии электростатической экранировки отдельных топологических участков резистора. Традиционным критерием окончания итерационного процесса служит следующее условие:

$$|\vec{U}^{(k)} - \vec{U}^{(k-1)}| / |\vec{U}^{(k-1)}| < \epsilon, \quad (4)$$

где  $\vec{U}^{(k)}$  – значение вектора решения  $\vec{U} = \{U_{m,n}\}$  на  $k$ -й итерации;  $\epsilon$  – заданная относительная погрешность.

В зависимости от начального приближения в процессе итераций приближение к решению возможно либо сверху, либо снизу. Следовательно, условие (4) может обеспечить либо верхнюю, либо нижнюю границы области существования решения.

Норма  $H^{(k)}$  рассматриваемого вектора  $\vec{U}$  с неотрицательными компонентами, определяемая как

$$H^{(k)} = \max_{m,n} \{ U_{m,n}^{(k)} \},$$

в процессе последовательной верхней релаксации изменяется монотонно по  $k$ , приближаясь при  $k \rightarrow \infty$  к искомому значению сопротивления сверху или снизу.

Если в двух указанных случаях итерационный процесс оканчивается по критерию (4) и дает два значения сопротивления  $H_1$  и  $H_2$ , то можно утверждать, что решение  $Z = \frac{1}{2}(H_1 + H_2)$  найдено с относительной точностью

$$\delta = 2 \left| \frac{H_1 - H_2}{H_1 + H_2} \right|. \quad (5)$$

Однако критерий (4) дает неудовлетворительные результаты в случае малой скорости сходимости итерационного процесса, так как требует недопустимо большого числа итераций. Кроме того, получаемая точность (5) решения в ряде случаев недостаточна для инженерных расчетов.

Для уменьшения числа итераций и увеличения точности результатов расчета можно пользоваться эвристическими методами, наиболее перспективным из которых представляется метод прогноза с коррекцией [21]. Этот метод основан на том, что после нескольких начальных итераций все компоненты решения  $\vec{U}^{(k)}$  с ростом  $k$  меняются пропор-

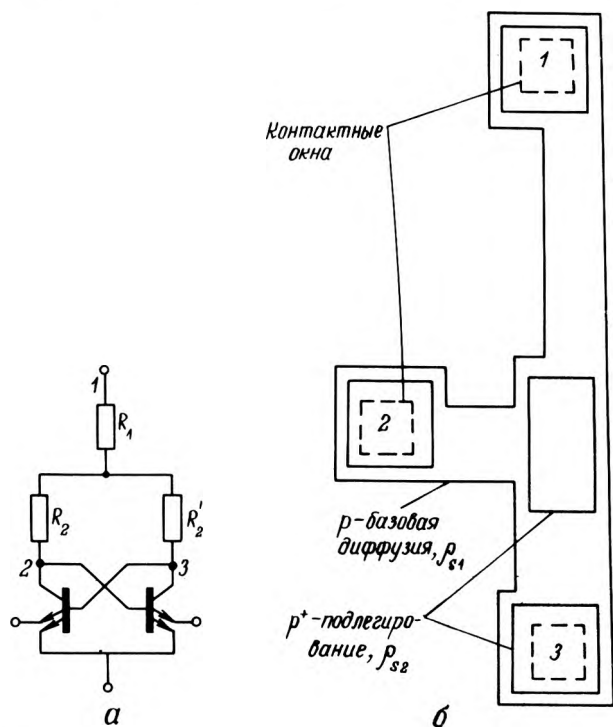


Рис. 8. Электрическая схема триггера (а) и топологическая реализация его резистивной нагрузки (б)

ционально изменению нормы  $\vec{H}^{(k)}$ . Из-за медленной сходимости процесса кривая на рис. 9, а может быть представлена кусочно-линейной зависимостью. Отсюда следует, что информация, получаемая после нескольких первых итераций вблизи очередной точки излома, достаточна, чтобы уверенно прогнозировать величину  $H$  (а следовательно, и весь вектор  $\vec{U}$ ) в следующей точке излома.

Применение метода прогноза с коррекцией проиллюстрировано на примере расчета резистивной структуры с сильной неоднородностью удельных поверхностных сопротивлений (см. рис. 9). Расчет сопротивления этой структуры методом последовательной верхней релаксации требует нескольких десятков тысяч итераций даже при малой итоговой точности (рис. 9, а). Использование метода прогноза с коррекцией (рис. 9, б) позволило сократить число итераций до 200 с одновременным уменьшением относительной ошибки расчета до долей процента.

\* \* \*

Таким образом, разработка сложных функционально-интегрированных элементов БИС приводит

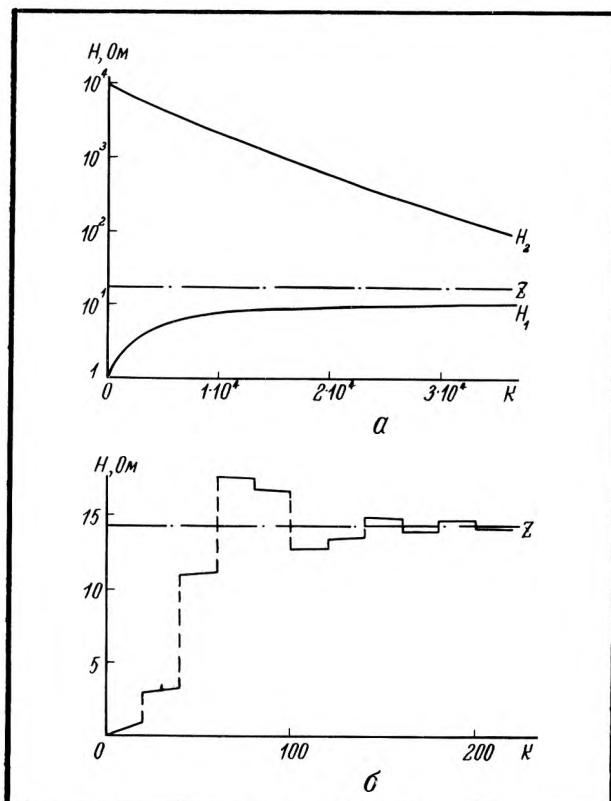


Рис. 9. Кривые сходимости, рассчитанные методом последовательной верхней релаксации (а) и методом прогноза с коррекцией (б)

к необходимости учета топологии этих элементов при расчете их параметров. Основой методики учета топологии является расчет распределения потенциала в различных областях рассматриваемых структур. Задача расчета распределения потенциалов в структурах ИС может быть сформулирована как краевая задача для уравнения Пуассона с разрывными коэффициентами в двумерной многосвязной области и решена методом конечных разностей в сочетании с методами последовательной верхней релаксации для постоянной плотности тока (линейная задача) и последовательной нижней релаксации при учете эффекта вытеснения тока к периферии эмиттера (нелинейная задача).

Использование компактной формулировки краевой задачи в сочетании с индексной матрицей хранения коэффициентов уравнений позволило эффективно использовать девятиточечный разностный шаблон для аппроксимации уравнения Пуассона и значительно сократить время счета.

Разработан универсальный способ задания информации о топологии транзисторных и резистивных структур ИС с помощью предложенной обобщенной геометрической модели, а также алгоритм и программа расчета распределения потенциала в вертикальном сечении коллекторной области транзисторной структуры с учетом скрытого слоя. Описаны методы и оценки влияния топологии и взаимного расположения элементов транзисторной структуры на ее электрические параметры и расчет сопротивлений многополюсных диффузионных резисторов сложной геометрии с неоднородной проводимостью, основанные на расчете распределения потенциала в резистивной области, описываемой обобщенной геометрической моделью.

Для разработанных на основе задачи расчета распределения потенциала программ расчета параметров распределенной эквивалентной схемы транзистора, работающего в режимах большого либо малого сигналов, созданы универсальные с точки зрения топологии алгоритмы вычисления площадей и периметров между эквипотенциальными кривыми.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Казеннов Г.Г., Баталов Б.В., Беяков Ю.Н., Соколов А.Г., Шемелин В.М. Машинное проектирование интегральных полупроводниковых схем. — "Обзоры по электронной технике", 1972, вып. 5, (ЦНИИ "Электроника").
2. Казеннов Г.Г., Авдеев Е.В. Библиотека программ автоматизированного проектирования элементов ИС. — В кн.: Материалы семинара "Машинные методы проектирования электронных схем". М., 1975. (МДНТП).



3. Pritchard R. Two dimensional current flow in junction transistors of high frequencies. — "PIRE", 1958, vol.66, N 6.
4. Валиев К.А., Голубев А.П., Кремлев В.Я., Малышев И.В. Распределенная эквивалентная схема интегрального транзистора. — "Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника", 1969, т. 12, № 4.
5. Голубев А.П., Кремлев В.Я. Нелинейные модели планарного транзистора, учитывающие двумерный характер растекания тока в базовой области. — "Изв. вузов СССР. Радиоэлектроника", 1971, т. 14, № 2.
6. Баталов Б.В., Зверев С.А., Кремлев В.Я. Определение параметров распределенной модели интегральных транзисторных структур. — В кн.: Микроэлектроника. Вып. 8. Под ред. А.А. Васенкова, М., "Сов. радио", 1975.
7. Баталов Б.В., Зверев С.А., Казеннов Г.Г., Ремарова Т.Л. Расчет электрических полей на ЭВМ при проектировании интегральных полупроводниковых схем. — "Электронная техника. Сер. 6. Микроэлектроника", 1971, вып. 8.
8. Баталов Б.В., Зверев С.А. Расчет электрических полей в транзисторных структурах произвольной конфигурации. — "Электронная техника. Сер. 6. Микроэлектроника", 1974, вып. 5.
9. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. М., "Наука", 1971.
10. Вазов В., Форсайт Дж. Разностные методы решения дифференциальных уравнений в частных производных. М., "ИЛ", 1963.
11. Авдеев Е.В., Баталов Б.В., Зверев С.А. Влияние  $p-n$  перехода на распределение потенциала в транзисторных структурах ИС. — "Электронная пром-сть", 1975, вып. 8.
12. Зверев С.А., Кремлев В.Я., Марков А.П., Чутуев Д.О. Проектирование топологии сложных полупроводниковых структур с применением ЭВМ. — "Электронная пром-сть", 1974, вып. 6(30).
13. Зверев С.А., Зубов А.Г., Кремлев В.Я., Орликовский А.А., Сергеев А.В. Расчет электрических полей в интегральных транзисторных структурах. — "Микроэлектроника", 1974, т. 3, № 1, изд-во АН СССР.
14. Баталов Б.В., Зверев С.А., Кремлев В.Я., Овчинников В.С. Расчет на ЭВМ электрического поля в вертикальном сечении интегральных транзисторных структур. — "Микроэлектроника", 1974, т. 3, № 2, изд-во АН СССР.
15. Баринов В.В., Мошкин В.И., Орликовский А.А. Методы машинного расчета биполярных транзисторов. — "Зарубежная электронная техника", 1973, № 16.
16. Белов Б.И., Норенков И.П. Расчет электронных схем на ЭЦВМ. М., "Машиностроение", 1971.
17. Петросянц К.О. Моделирование полупроводниковых приборов и компонентов интегральных схем с помощью автоматизированных программ анализа электрических цепей. — "Микроэлектроника", 1974, т. 3, № 2, изд-во АН СССР.
18. Голубев А.П., Кремлев В.Я. Номограммы для расчета диффузионных резисторов полупроводниковых микросхем. — "Электронная техника. Сер. 6. Микроэлектроника", 1969, вып. 3.
19. Chawla B.R., Gummel H.K. A boundary technique for calculation of distributed resistance. — "IEEE Transaction on Electron Devices", 1970, vol. ED-17, N 10.
20. Зверев С.А., Чутуев Д.О. Машинный расчет резистивных цепей сложной конфигурации для полупроводниковых ИС. — "Электронная пром-сть", 1974, вып. 12(36).
21. Авдеев Е.В., Зверев С.А., Яламов М.Ф. Расчет диффузионных резисторов с неоднородной проводимостью. — В кн.: Микроэлектроника. Вып. 9. Под ред. А.А. Васенкова, М., "Сов. радио", 1975.

**И.П. Булгакова, Л.Л. Кристалинский,  
В.П. Курицын, И.Т. Розин, Л.А. Столов**

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

**Применение разработанных методик прогнозирования гамма-процентного ресурса позволило за короткий срок получить оценки ресурса 99 типов конденсаторов и резисторов.**

УДК 621.38.019.3

В настоящее время к долговечности изделий электронной техники (ИЭТ) предъявляются повышенные требования, обусловленные особенностями их применения в аппаратуре дальней связи, межпланетных станций, подводных кабелей и т.п. Разработчикам аппаратуры необходимо иметь своевременную и достоверную информацию об ожидаемом ресурсе ИЭТ.

Наработку, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ -процентов, называют гамма-процентным ресурсом [1]. Иначе говоря, гамма-процентный ресурс — это  $\gamma$ -процентная точка ( $1 - \gamma/100$  — квантиль) распределения случайной величины наработки на отказ. Для ИЭТ величина  $\gamma$  обычно принимается равной 90 или 95 %.

В отличие от других видов испытаний изделий электронной техники на надежность при ресурсных испытаниях задается не их продолжительность, а число отказов, необходимое для завершения испытаний. Поскольку большинство современных типов ИЭТ обладает достаточно высокой надежностью, следует ожидать, что продолжительность испытаний для определения гамма-процентного ресурса и их стоимость окажутся весьма значительными. Поэтому разработка методов прогнозирования гамма-процентного ресурса ИЭТ является актуальной задачей.

На основании анализа отечественной и зарубежной литературы, а также опыта ранее проведенных авторами исследований методов ускоренной оценки показателей надежности можно выделить три направления прогнозирования гамма-процентного ресурса ИЭТ:

— статистическая обработка и анализ результа-

тов длительных испытаний ИЭТ в нормальных режимах, в частности испытаний на долговечность;

– проведение испытаний в форсированных режимах;

– использование характеристических параметров ИЭТ.

Из перечисленных направлений положительные результаты получены для первых двух. Прогнозирование гамма-процентного ресурса, основанное на использовании характеристических параметров, представляет безусловный интерес, но имеющиеся в настоящее время результаты теоретических и экспериментальных исследований в этом направлении недостаточны для разработки инженерных методик.

### Прогнозирование гамма-процентного ресурса по результатам длительных испытаний в нормальных режимах

Отказы изделий электронной техники разделяют на внезапные, приводящие к полной потере работоспособности, и постепенные, связанные с выходом одного или нескольких параметров – критериев годности (ПКГ) за пределы, оговоренные в нормативно-технической документации. Если число отказов, наблюдаемых за время испытаний, достаточно хотя бы для приближенной оценки параметров распределения наработки на отказ, то можно получить оценку гамма-процентного ресурса. Если отказов не наблюдалось или их число очень мало, то следует проанализировать зависимости ПКГ от времени испытаний и рассчитать вероятности превышения заданных критериев отказа.

*Оценка гамма-процентного ресурса по распределению наработки на отказ.* Учитывая, что большинство ИЭТ не подлежит ремонту, для оценки гамма-процентного ресурса необходимо и достаточно знать функцию распределения наработки на отказ. Обычно выдвигается некоторая гипотеза о виде функции распределения, затем выравниваются эмпирические данные и проверяется их соответствие выдвинутой гипотезе с помощью критериев согласия. Однако в данном случае корректная проверка выдвинутой гипотезы невозможна, так как мы располагаем сведениями лишь о "хвосте" распределения наработки на отказ, составляющем менее 5% общего объема выборки (при большей доле отказов не потребовалось бы прогноза). Поэтому функцию распределения наработки приходится устанавливать из априорных соображений без надлежащей проверки.

Часто в качестве статистической модели рас-

пределения наработки используется экспоненциальное распределение. Однако оно сравнительно хорошо описывает экспериментальные данные лишь тогда, когда преобладают внезапные отказы, нет периода приработки и не начался период износа. В общем случае экспоненциальное распределение не описывает адекватно экспериментальные данные.

Отказы ИЭТ нередко бывают обусловлены скрытыми дефектами и происходят в месте расположения самого крупного из них (модель слабейшего звена). В этих случаях наиболее важно знать распределение минимального значения времени пробоя дефектных мест. Если объем выборки достаточно велик, то предельной (асимптотической) моделью для распределения минимальных значений  $n$  случайных величин, имеющих различные исходные распределения, ограниченные слева, при  $n \rightarrow \infty$  является распределение Вейбулла [2]. Именно поэтому оно получило в последнее время большое распространение в качестве статистической модели для распределения наработки до отказа [3–6].

В зависимости от величины параметра формы  $\beta$  распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное ( $\beta = 1$ ), может быть почти идентично нормальному ( $\beta = 3,25$ ) или распределению Релея ( $\beta = 2$ ).

Интенсивность отказов изделия с большим числом скрытых дефектов, но не стареющего в течение длительного времени резко повышена вначале, а потом быстро падает. Для такого изделия следует ожидать значения  $\beta < 1$ . Если же у изделия мало скрытых дефектов, но оно быстро стареет, то интенсивность отказов монотонно растет и  $\beta > 1$ .

Оценки параметров формы распределения Вейбулла, использованного для аппроксимации распределений наработки на отказ некоторых типов конденсаторов и резисторов, следующие: 0,4; 0,46; 0,65; 0,85; 1,0; 1,25; 2,06; 3,1; 3,85.

Параметр формы принимает значения от 0,4 до 3,85, т.е. распределения наработки для различных типов изделий значительно отличаются друг от друга и попытка описания их менее общим законом (см. таблицу), например экспоненциальным, приводит к значительной погрешности.

Ошибки расчета при использовании экспоненциального распределения и распределения Вейбулла

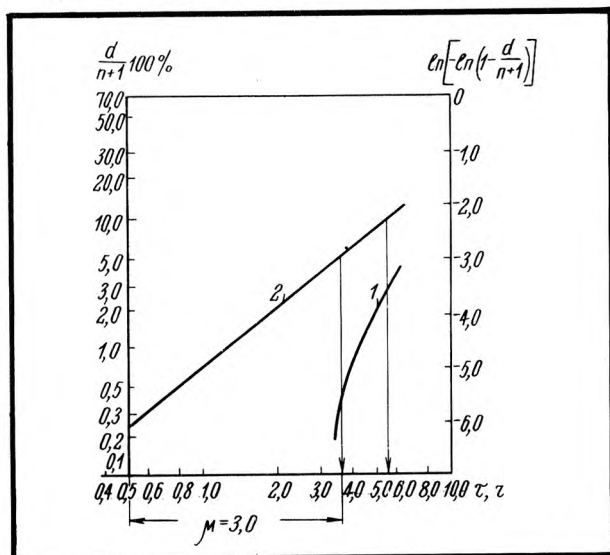
Порядковый номер типов ИЭТ	Погрешность расчета, %	
	по экспоненциальному распределению	по распределению Вейбулла
1	+7,3	-13,6
2	+4,0	+13,3
3	0	0
4	-45,0	+8,3
5	+38,0	-11,8
6	-40,0	+9,1
7	-68,0	-3,1

Из таблицы видно, что, хотя для некоторых типов конденсаторов экспоненциальное распределение дает хорошее приближение, для других оно приводит к значительным ошибкам, в то время как аппроксимация распределением Вейбулла дает для всех типов ошибки, не превышающие  $\pm 15\%$ , что вполне приемлемо для практических целей.

Оценка параметров распределения Вейбулла по результатам испытаний связана с большим объемом вычислений на ЭВМ. Однако для практических целей можно использовать графический метод оценки параметров с помощью так называемой "бумаги Вейбулла" [2], на которой зависимость функции распределения от времени изображается прямой линией (см. рисунок).

Нередко помимо точечной оценки гамма-процентного ресурса требуется найти и доверительные границы, которые можно рассчитать с помощью неполной бета-функции, протабулированной для объемов выборок  $n \leq 60$  [7]. Выборки большего объема обрабатываются специальной программой на ЭВМ.

Оценка гамма-процентного ресурса по изменениям параметров-критериев годности. Если преобладающими для данного типа ИЭТ являются не внезапные, а постепенные отказы, причем их число за время испытаний недостаточно для использования методики, основанной на распределении Вейбулла, то вероятность отказа на каждый момент контроля можно оценить с помощью функции распределения ПКГ. Для оценки гамма-процентного ресурса может быть использован подход, основан-



Определение 95-и 90-процентного ресурса конденсаторов с помощью вероятностной бумаги Вейбулла:

1 - экспериментальная функция распределения наработки; 2 - вымышленная для оценки 95-и 90-процентного ресурса функция распределения наработки при  $\mu = 3$  тыс. ч ( $\mu$  - параметр масштаба)

ный на изучении траектории ПКГ, т.е. на изучении случайного процесса и определении момента встречи заданной доли его реализаций с допуском на ПКГ. Эта оценка будет тем точнее, чем ближе модель к аппроксимируемой зависимости ПКГ от времени испытаний.

В случае невозможности построения физической модели из-за недостатка имеющихся сведений о механизмах процессов, протекающих при старении ИЭТ, можно воспользоваться регрессионными моделями, к которым сводятся многие зависимости, встречающиеся при испытаниях ИЭТ.

Способы оценки гамма-процентного ресурса с помощью регрессионных моделей подробно рассмотрены в работе [8]. При распределении ПКГ, близком к нормальному или приводящемся к нормальному с помощью некоторой преобразующей функции, для неизвестной теоретической линии регрессии можно построить толерантные границы - односторонние, если ПКГ ограничен только с одной стороны, и двусторонние, если ПКГ ограничен с двух сторон. Получаемую систему уравнений можно решить методом последовательных приближений. Процедура расчета в этом случае оказывается достаточно сложной и трудоемкой, особенно если выборочную дисперсию нельзя считать постоянной.

Для практических расчетов рекомендуется более простая процедура, которую можно использовать и тогда, когда распределение ПКГ отлично от нормального. В этом случае рассматривается траектория не среднего значения, а квантили порядка  $\frac{\gamma}{100}$  или  $1 - \frac{\gamma}{100}$  для верхнего или нижнего одностороннего ограничения, причем, как и в предыдущем случае, она сводится к прямой линии, а дисперсия модели предполагается постоянной и оценивается остаточной дисперсией.

При расчете по траекториям квантилей используются следующие формулы:

$$x_p = \bar{x} + \frac{(y_{H,B} - \bar{y}) b_1}{\xi} \pm \sqrt{\frac{(y_{H,B} - \bar{y})^2 b_1^2}{\xi^2} + \frac{1}{\xi} \left[ \frac{t_1^2 S_M^2}{N} - (y_{H,B} - \bar{y})^2 \right]}, \quad (1)$$

$$y_{1,2} = \bar{y} + b_1 (x_p - \bar{x}) \pm t_2 S_N \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(x_p - \bar{x})^2}{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}} \quad (2)$$

$$P_2 - P_1 = \frac{\gamma}{100},$$



где  $x = \Psi(\tau)$ ,  $y = \phi(\rho)$  – монотонные функции времени и ПКГ соответственно, с помощью которых зависимость  $y = f(x)$  удовлетворительно аппроксимируется прямой линией;  $y_{H,B} = \phi(\rho_{H,B})$ ;  $y_{1,2} = \phi(\rho_{1,2})$ ;  $\rho_{H,B}$ ,  $\rho_{1,2}$  – нижняя и верхняя границы одностороннего и двустороннего допуска;  $S_M^2$  – остаточная дисперсия с  $f_M$  степенями

свободы;  $\xi = \delta_1^2 - \frac{t_1^2 S_M^2}{N}$ ;  $t_1 - P_1^*$  – кван-

тиль распределения Стьюдента с  $f_M$  степенями свободы;  $P_1^*$  – доверительная вероятность, используемая для получения оценки ресурса по данному ПКГ;  $t_2 - \sqrt{P_1^*}$  – квантиль распределения Стьюдента с  $f_M$  степенями свободы;  $j = \overline{1, N}$  – моменты контроля ПКГ;  $P_1, P_2$  – порядок нижней и верхней квантилей, траектории которых должны рассматриваться при оценке ресурса, причем

$$\frac{\gamma}{100} \leq P_2 \leq \frac{100+\gamma}{200}; \quad \frac{100-\gamma}{200} \leq P_1 \leq \frac{100-\gamma}{100}.$$

Формула (1) применяется при одностороннем ограничении ПКГ, выражения (2) – при двустороннем. В последнем случае оценить ресурс несколько сложнее. Проще всего эта задача решается тогда, когда двусторонний допуск на ПКГ установлен симметрично относительно 0 и траектории доверительных границ также симметричны. В общем случае вначале рассчитывают оценку ресурса по той квантили, которая является более "опасной", затем эту оценку уточняют, выбирая среднюю из двух полученных, и считают ее окончательной по данному ПКГ.

В большинстве случаев поведение ИЭТ в условиях эксплуатации оценивается не одним, а несколькими ПКГ. В качестве оценки гамма-процентного ресурса выбирается оценка по наиболее критичному ПКГ, которому соответствует более высокая вероятность отказа. Для уточнения оценки необходимо учесть вероятность отказов и по другим ПКГ, а также вероятность внезапных отказов.

Внезапные отказы при испытаниях можно учесть как еще один (фиктивный) ПКГ [8]. Оценку гамма-процентного ресурса по внезапным отказам  $\tau_{p,v}$  можно рассчитывать, исходя из экспоненциального закона распределения наработки:

$$\tau_{p,v} = - \frac{2T}{\chi^2} \ln \frac{\gamma}{100},$$

где  $T$  – суммарная наработка образцов испытываемой

выборки за время испытаний  $\tau_{И}$ ;  $\chi^2 = (1 - P_1^*)$  – процентная точка  $\chi^2$  – распределения с  $2d + 2$  степенями свободы ( $d$  – суммарное число внезапных отказов за время  $\tau_{И}$ ).

Затем из всех полученных оценок гамма-процентного ресурса строится вариационный ряд

$$\tau_p^{(1)}(\gamma) \leq \tau_p^{(2)}(\gamma) \leq \dots \leq \tau_p^{(k)}(\gamma). \text{ Если от-}$$

$$\text{ношение } m = \frac{\tau_p^{(2)}(\gamma)}{\tau_p^{(1)}(\gamma)} \geq 10, \text{ то для практичес-}$$

ких целей можно ограничиться только оценкой  $\tau_p^{(1)}$ .

В противном случае находят величину  $m_1 = \frac{\tau_p^{(3)}(\gamma)}{\tau_p^{(2)}(\gamma)}$

и рассчитывают  $\gamma_1 = \gamma + \frac{100-\gamma}{m+1}$ ,  $\gamma_2 = \gamma_1 + \frac{100-\gamma}{m_1+1}$ .

При  $m_1 \geq 10$  за оценку гамма-процентного ресурса принимается первый член вариационного ряда оценок  $\gamma_1$  – процентного ресурса по всем ПКГ, а при  $m_1 < 10$  – первый член вариационного ряда оценок  $\gamma_2$  – процентного ресурса по всем ПКГ.

### Прогнозирование гамма-процентного ресурса методом испытаний в форсированных режимах

При проведении испытаний ИЭТ в форсированных режимах должно выполняться условие сохранения механизмов старения (автомодельность). Область форсированных испытаний, удовлетворяющую условию автоматодельности, можно установить, исходя из физических исследований процессов старения.

Недостаточная изученность физики отказов ИЭТ и отсутствие физических моделей, адекватно описывающих процессы старения, послужили одной из причин того, что форсированные испытания на надежность пока не нашли широкого применения при разработке и производстве ИЭТ, несмотря на их очевидные преимущества. Существуют и другие причины, затрудняющие разработку и внедрение форсированных испытаний. Во-первых, доля отказов массовых типов современных ИЭТ не должна превышать 0,1–0,001%, что требует высочайшей точности модели или значительных объемов выборок. Во-вторых, вследствие нестабильности производственного процесса испытываемая продукция неоднородна и среди основной массы годных изделий имеются изделия со скрытыми или даже явны-

ми дефектами, которые имеют совершенно другие механизмы отказов.

При прогнозировании гамма-процентного ресурса по результатам испытаний в форсированных режимах указанные выше трудности становятся менее существенными, так как заданная доля отказов составляет 5–10%, и приработочные отказы, связанные с наличием в продукции явно дефектных изделий, не играют решающей роли.

В качестве положительного примера остановимся на разработке методики оценки гамма-процентного ресурса по результатам испытаний в форсированных режимах оксидно-полупроводниковых танталовых конденсаторов.

Основной вид их отказов – отказы из-за превышения норм по току утечки. Повышение тока утечки вызвано наличием в конденсаторах таких дефектов, как сквозные поры и трещины в оксидном слое, являющемся диэлектриком, его утоньшение в местах примесных включений, недостаточная толщина или пористость слоя полупроводника, в качестве которого применена двуокись марганца  $MnO_2$ .

Специфической особенностью этих конденсаторов является способность к самовосстановлению, которая объясняется тем, что под действием локальных перегревов в дефектных участках  $MnO_2$  восстанавливается до окислов  $Mn_2O_3$  или даже  $Mn_3O_4$ , имеющих значительно большее сопротивление ( $\rho_{MnO_2} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ,  $\rho_{Mn_2O_3} = 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ,  $\rho_{Mn_3O_4} = 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ). Образующаяся "пробка" как бы закупоривает дефект, резко уменьшая ток утечки, а выделяющийся свободный кислород заполняет имеющиеся в оксидном слое кислородные вакансии, улучшая его диэлектрические свойства [9]. Однако если ток утечки в дефектных местах превышает 20 мА, то самовосстановления конденсатора не происходит, так как при этом даже в случае закупоривания дефектного места происходит разрушение прилегающих участков оксидной пленки. Поэтому за критерий отказа конденсаторов во всех режимах испытания принималось значение тока утечки свыше 20 мА.

Эксперименты проводились на специальной установке, позволяющей одновременно испытывать 200 конденсаторов и фиксировать время отказа с точностью до 1 мин. В качестве ускоряющих факторов использовались температура и электрическая нагрузка.

План эксперимента представлял собой полный факторный эксперимент при двух переменных и двух уровнях для каждой из них. В каждой точке

испытывалось по 100 конденсаторов. В связи с высокой надежностью конденсаторов прогнозировался не 90 или 95-процентный, а 99-процентный ресурс. Так, при  $U = 1,75 U_{\text{ном}}$   $T = 1,2 T_{\text{ном}}$ ,  $\tau_{99} = 0,1 \text{ ч}$ ; при  $U = 1,75 U_{\text{ном}}$   $T = T_{\text{ном}}$ ,  $\tau_{99} = 0,75 \text{ ч}$ ; при  $U = 1,25 U_{\text{ном}}$   $T = 1,2 T_{\text{ном}}$ ,  $\tau_{99} = 17,5 \text{ ч}$ ; при  $U = 1,25 U_{\text{ном}}$ ,  $T = T_{\text{ном}}$ ,  $\tau_{99} = 222 \text{ ч}$ .

Для проверки автомодельности процессов, приводящих к отказам в различных режимах, исследовались отказавшие образцы с помощью рентгенотелевизионной установки, микрорентгеноструктурного анализа и других методов, в результате чего установлено, что механизмы отказов при форсированных и нормальных испытаниях идентичны.

Зависимость гамма-процентного ресурса от температуры и напряжения хорошо описывается моделью, аналогичной модели описания долговечности кристаллов и полимеров при механических нагрузках в соответствии с термофлуктуационной теорией механической прочности С.Н. Журкова

$$\tau(T, U) = \tau_0 \exp\left(-\frac{W - \alpha U}{kT}\right),$$

где  $\tau_0$ ,  $W$ ,  $\alpha$  – параметры, определяемые из эксперимента;  $T$  – температура окружающей среды, К;  $U$  – приложенное напряжение, В;  $k$  – постоянная Больцмана.

Физически параметр  $W$  соответствует ширине запрещенной зоны, а  $\alpha U$  – энергия активации. Логарифмирование выражения приводит к линейной модели, и для вычисления параметров  $\tau_0$ ,  $W$ ,  $\alpha$  можно использовать методы линейного регрессионного анализа.

Значения оценок рассчитываемых параметров:  $\tau_0 = (3,0-3,4) \cdot 10^{-13} \text{ с}$ ,  $W = 1,8 \pm 0,1 \text{ эВ}$ ,  $\alpha U_{\text{ном}} = 0,40 \pm 0,04 \text{ эВ}$ .

Полученные значения  $W$  и  $\alpha U_{\text{ном}}$  хорошо согласуются с известными из литературы данными о величинах этих коэффициентов применительно к модели прохождения тока через диэлектрик в системе  $Ta-Ta_2O_5-MnO_2$ .

Расчетные данные проверены при испытании новой выборки конденсаторов в режиме  $T = T_{\text{ном}}$ ,  $U = 1,1 U_{\text{ном}}$ . Ошибка составила 10%, что статистически незначимо.

Расчетное значение 99-процентного ресурса в режиме  $T = T_{\text{ном}}$ ,  $U = U_{\text{ном}}$  составляет  $1,05 \times 10^5 \text{ ч}$ , а его нижняя доверительная граница при

доверительной вероятности 0,9 равна 38000 ч.

На основании проведенных исследований разработаны методики прогнозирования гамма-процентного ресурса с помощью распределения Вейбулла по траекториям квантилей распределения ПКГ и по результатам форсированных испытаний. В настоящее время на основе этих методик составляется проект отраслевого стандарта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Надежность в технике. Термины и определения. ГОСТ 13377-75.
2. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. М., "Мир", 1969.
3. Ванев В.Н., Камышев В.В. Обработка статистических данных о надежности изделий при усеченных выборках. — "Надежность и контроль качества", 1973, № 4.
4. P a v e n i s I.V. Estimating Weibull distribution parameters. — "Electrotechnology", 1964, N 3.
5. K a o N.K. Summary of some new techniques on failure analysis. — In: Ann. of 6-th Nat. Symp. of reliability. San Francisco, 1960.
6. Справочник по надежности. Т. 1. М., "Мир", 1969.
7. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. М., "Наука", 1965.
8. Курцын В.П. Способ прогнозирования гамма-процентного ресурса радиодеталей. — "Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством и стандартизация", 1976, вып. 7.
9. Закейм Л.Н., Яковлева Р.М., Коныхин В.Е., Столов Л.А. Влияние термообработки на электрические свойства оксидированного тантала. — "Электронная техника. Сер. 5. Радиодетали", 1972, вып. 2.

Статья поступила 10 августа 1977 г.

Н.Л. Гладкова, Т.С. Попова, О.Г. Туровец

## ЭКСПЕРТНЫЕ МЕТОДЫ В НОРМИРОВАНИИ ЗАТРАТ НА ПОДГОТОВКУ К ОСВОЕНИЮ СЕРИЙНОГО ВЫПУСКА ТРАНЗИСТОРОВ

**Сочетание метода экспертных оценок с расчетно-аналитическим обеспечивает высокое качество отбора факторов, влияющих на трудоемкость освоения транзисторов, упрощает вид нормативных многофакторных зависимостей, ускоряет расчет нормативов.**

УДК 621.382.3:658.53

Решающим условием повышения эффективности общественного производства является сокращение сроков освоения и внедрения в производство результатов научных исследований.

Особенно остро ставится эта задача в электронной промышленности. Способность к непрерывному техническому обновлению, свойственная ей в гораздо большей степени, чем другим отраслям народного хозяйства, требует существенного сокращения сроков освоения новых изделий. В связи с этим важнейшее значение приобретает нормирование затрат на освоение новой продукции.

В "Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 гг."\* подчеркивается необходимость улучшить нормирование труда особенно на повременно оплачиваемых работах, расширить нормирование труда инженерно-технических работников и служащих. Внедрение в производство нормативов не только обеспечивает условия для наиболее эффективного взаимодействия людей и техники, но и ведет к улучшению использования рабочего времени, совершенствованию организации процесса подготовки и освоения производства новых изделий, сокращению его календарной продолжительности.

Однако, несмотря на актуальность, вопросы нормирования на стадии подготовки и освоения производства полупроводниковых изделий в на-

\* Материалы XXV съезда КПСС. М., Изд-во политической литературы, 1976, с. 168.



НОВАЯ КНИГА

**СРЕДНИЕ ВЕЛИЧИНЫ В СТАТИСТИКЕ.**

Пасхавер И. С.  
М., "Статистика".  
13 л., 10000 экз.

Монография представляет собой глубокое теоретическое исследование, вносящее значительный вклад в дальнейшее развитие теории статистических средних. В ней рассматриваются природа и сущность средних, вопросы выбора формы средней и весов, конкретизируются условия их правильного применения. Приводится методика расчета различных средних величин применительно к имеющимся данным.



стоящее время не нашли еще достаточного методического развития. В первую очередь это следует отнести к нормированию дополнительных затрат на освоение новых изделий после составления акта приемки установочной серии, представляющих значительную часть общих затрат.

Целесообразно рассмотреть некоторые методические рекомендации, нашедшие свое практическое применение при разработке укрупненных нормативов затрат на стадии подготовки и освоения производства полупроводниковых транзисторов. В основу разработки нормативов положен расчетно-аналитический метод нормирования, заключающийся в определении влияния изменений технических параметров транзисторов на трудоемкость их освоения [1]. При построении экономико-математических моделей зависимостей между трудоемкостью и техническими параметрами использовали теорию многофакторного корреляционного анализа. [1–3]. Определяя нормативы длительности, учитывали средние и оптимальные показатели времени освоения новых изделий.

Эффективность использования расчетно-аналитического метода в значительной степени определяется качеством выбора факторов (технических параметров), а именно необходимостью отбора тех из них, которые наиболее сильно влияют на трудоемкость освоения транзисторов. Использование второстепенных факторов приводит к значительным погрешностям нормативных данных. Поэтому необходим тщательный, многоступенчатый отбор технических параметров.

Сначала в процессе сбора исходных данных намечается широкий круг факторов (10–15), влияющих на трудоемкость освоения. Затем по результатам экспертных оценок этот круг сужается до 6–7 факторов. Определение парных коэффициентов корреляции и тесноты связи между каждым из оставшихся факторов и трудоемкостью сокращает их число до 3–4. Это значительно упрощает вид нормативных многофакторных зависимостей и расчет нормативов. В первоначально намеченный круг факторов зачастую включаются случайные, взаимозависимые, слабо или совершенно не влияющие на трудоемкость факторы. Применение одного лишь математического отбора, как показывает опыт, нередко приводит к неудовлетворительным результатам. Опыт, знания и интуиция высококвалифицированных специалистов, участвующих в экспертизе, в значительной мере гарантируют высокое качество выбора факторов, позволяют углубить анализ количественных и качественных аспектов данной проблемы.

Рассмотрим применение экспертного метода на примере выбора важнейших факторов, влияющих на трудоемкость процессов изготовления и испытания установочной серии (опытной партии) эпитаксиально-планарных транзисторов с диффузионным внедрением примесей.

Экспертная оценка значимости (интенсивности влияния) факторов осуществлялась в несколько этапов.

На первом этапе определялись цели и разрабатывалась процедура опроса.

На втором этапе формировалась рабочая группа специалистов-аналитиков, в задачи которой входили подбор экспертов, составление анкет опроса, проведение опроса и обработка полученной информации. В состав рабочей группы включались квалифицированные работники, обладающие знаниями в области технологии производства транзисторов, характера и содержания работ, выполняемых на стадии подготовки и освоения производства транзисторов, методологии нормирования и экспертной оценки.

На третьем этапе для каждой разновидности технологии производства транзисторов, охватываемых нормированием, формировались группы экспертов. Для этого предварительно определялся перечень вопросов, глубоким знанием которых должен обладать эксперт. Составлялся список лиц, компетентных в этих областях. Компетентность экспертов определялась с помощью анкет самооценки знаний (табл.1) по пятибалльной или

АНКЕТА САМООЦЕНКИ (СВОДНАЯ)

Таблица 1

Фамилия, имя, отчество опрашиваемого	Должность, место работы, стаж									
Вопросы	Балл самооценки знаний экспертов									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технология и особенности производства транзисторов										
сплавных	1	3	1	1	1	4	6	1	7	8
сплавно-диффузионных мезапланарных с диффузионным внедрением примесей	2	3	1	3	6	4	1	6	7	1
мезапланарных с ионным внедрением примесей	3	3	2	4	6	5	1	7	6	6
планарных с диффузионным внедрением примесей	3	3	4	4	6	5	1	2	4	0
планарных с ионным внедрением примесей	6	7	4	6	8	7	7	7	7	8
эпитаксиально-планарных с диффузионным внедрением примесей	6	6	7	6	8	6	3	5	4	6
эпитаксиально-планарных с ионным внедрением примесей	8	8	8	7	8	7	8	8	7	8
эпитаксиально-планарных с ионным внедрением примесей	8	7	7	7	8	6	5	5	4	4

десятибалльной системе, в зависимости от числа вопросов в анкете, в результате чего была отобрана группа из десяти специалистов, имеющих стаж работы в полупроводниковом производстве от 5 до 10 лет.

Таблица 2

АНКЕТА  
оценки значимости факторов, влияющих на трудоемкость подготовки и освоения производства транзисторов

Вид технологии производства транзисторов		Направление нормируемых работ		Фамилия, имя, отчество эксперта		Дата и подпись эксперта					
Эпитаксиально-планарная с диффузионным внедрением примесей		Изготовление и испытание установочной серии (опытной партии)									
Наименование факторов											
Вид корпуса	Коэффициент стандартизации технологического процесса	Размер кристалла	Число технологических обработок	Число фотолитографических обработок	Число высокотемпературных процессов напыления	Число процессов выплавки	Число процессов эпитаксии	Число процессов монного легирования	Число эмиттеров для многосмиттерных транзисторов		
Номер фактора											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значимость фактора (по десятибалльной шкале)											
4	7	5	6	8	8	3	0	0	2	4	

Таблица 3

Эксперт	Вес факторов										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,33	0,89	1,11	1,56	1,78	0,67	0,89	0	0	0	1,78
2	0,81	1,08	2,16	0,81	0,81	0,81	1,08	0	0	0,54	1,89
3	1,36	1,14	1,14	0,68	1,82	2,05	0,68	0	0	0,23	0,91
4	1,03	1,03	1,03	0,77	2,56	1,28	0,51	0	0	0,26	1,54
5	1,02	1,84	1,02	1,63	1,63	2,04	0,61	0	0	0	0,2
6	0,46	2,05	1,36	0,68	0,68	1,82	2,27	0	0	0,46	0,23
7	1,03	1,02	0	2,05	2,56	1,03	0,51	0	0	0	1,76
8	1,18	1,118	1,96	1,37	1,18	0,59	1,96	0	0	0	0,59
9	1,16	1,63	1,16	1,63	1,86	1,86	0,47	0	0	0	0,23
10	1,27	0,63	0,48	1,59	2,22	0,95	0,95	0	0	0	1,09
	1,06	1,25	1,142	1,27	1,71	1,31	0,99	0	0	0,149	1,106
	0,106	0,125	0,114	0,128	0,171	0,131	0,099	0	0	0,015	0,111

Таблица 4

Показатели	Показатели согласованности мнений экспертов	Значения показателей по факторам										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Статистические	Лиснерсия	0,065	0,222	0,222	0,179	0,39	0,303	0,357	-	-	0,039	0,502
	Среднеквадратическое отклонение	0,256	0,471	0,471	0,423	0,624	0,55	0,598	-	-	0,199	0,709
	Вариация (коэффициент изменчивости), %	23,9	36,7	41,3	33,8	36,5	41,9	60,4	-	-	132,7	63,9
Эвристические	Среднеарифметическое значение суммы рангов	-	-	-	-	40,9	-	-	-	-	-	-
	Отклонение от среднеарифметического значения	10,6	3,9	8,1	8,1	6,6	8,1	0,4	-	-	36,9	0,4
	Показатель связанных рангов	0	12	0	-	6	0	6	-	-	0	6

Следующим важным этапом является проведение опроса. Для рассматриваемых условий наиболее целесообразна форма письменного опроса: эксперты вместе с членами рабочей группы заполняют заранее разработанную анкету опроса (табл. 2), пользуясь десятибалльной системой. Против каждого фактора проставляется балл, соответствующий, по мнению эксперта, интенсивности влияния этого фактора на трудоемкость, т.е. его значимости. При внесении в анкеты наименований факторов необходимо оставить две-три графы свободными, дав возможность экспертам внести в них наименования факторов, не учтенных в анкете и оказывающих, по их мнению, существенное влияние на трудоемкость освоения транзисторов.

В процессе анализа и обработки информации, полученной от экспертов (табл. 3), определялся вес каждого фактора в оценке каждого эксперта ( $\phi_{ij}$ ) и средний вес по всем экспертам

$$(\bar{\phi}_i)_{\text{ср}} = \frac{\sum_{j=1}^m \phi_{ij}}{m},$$

где  $\phi_{ij}$  — вес значимости  $i$ -го фактора в оценке  $j$ -го эксперта при условии, что  $i$  изменяется от 1 до  $n$ , а  $j$  изменяется от 1 до  $m$ .

По среднему весу определялся относительный средний вес значимости для каждого фактора

$$\bar{\phi}(i)_{\text{отн}} = \frac{\bar{\phi}(i)_{\text{ср}}}{\sum_{i=1}^n \bar{\phi}(i)_{\text{ср}}}.$$

Исходя из полученных в результате расчета значений  $\bar{\phi}(i)_{\text{отн}}$  был сделан вывод о том, что наибольшее влияние на трудоемкость выполнения работ по изготовлению и испытанию установочной серии эпитаксиально-планарных транзисторов оказывают факторы 2—6.

Однако представленные экспертами оценки и полученные после обработки результаты можно считать достоверными лишь при условии неслучайной согласованности оценок опрашиваемых экспертов, наличие которой необходимо установить, определяя статистические и эвристические показатели, представленные в табл. 4.

Как видно из этой таблицы, согласованность мнений экспертов колеблется в широких пределах. Значительные коэффициенты изменчивости

мнений экспертов могли бы послужить основанием для организации повторных туров опросов.

Но окончательные выводы следует делать после определения величин эвристических показателей согласованности во всей совокупности факторов. В соответствии с полученными данными коэффициент согласованности равен 0,3, т.е. он располагается в области положительных значений, отличных от 0, что дает некоторую уверенность в наличии неслучайной согласованности мнений экспертов. Показатели согласованности рассчитываются по формулам, приведенным в работах [4–7].

Задавшись уровнем значимости в 5% при числе степеней свободы  $n-1 = 8$ , находим значение критерия Пирсона и сопоставляем его с фактическим. Существенное превышение фактического значения (23,17) над табличным (2,78) позволяет окончательно убедиться в достаточной согласованности мнений экспертов по всей совокупности факторов. Коэффициент активности экспертов, равный 1, свидетельствует о том, что все эксперты высказывались по всем без исключения факторам.

Таким образом, применение рассмотренных выше методических рекомендаций при нормировании, обеспечивающих очень тщательный и всесторонний подход к выбору факторов, на наш взгляд, существенно повышает качество нормативных материалов и эффективность их использования на практике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. З в я г и н А.А. Нормирование инженерных работ. М., "Экономика", 1975.
2. М и у с к о в а Р.П. Оптимизация трудовых процессов с использованием математических методов и ЭВМ. М., "Экономика", 1975.
3. Нормирование труда ИТР и служащих. Методические указания. М., 1969. (НИИ труда).
4. Б е ш е л е в С.Д., Г у р в и ч Ф.Г. Экспертные оценки. М., "Наука", 1973.
5. Б е ш е л е в С.Д., Г у р в и ч Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М., "Статистика", 1974.
6. Г м о ш и н с к и й В.Г., Ф л и о р е н т Г.И. Теоретические основы инженерного прогнозирования. М., "Статистика", 1973.
7. Ч у е в Ю.В., М и х а й л о в Ю.Б., К у з ь м и н В.И. Прогнозирование качественных характеристик процессов. М., "Сов.радио", 1975.

Статья поступила 6 июня 1977 г.

ИЗ ЦК  
ПРОФСОЮЗА  
СООБЩАЮТ

На состоявшемся 8 августа 1978 г. V Пленуме ЦК профсоюза рабочих радиоэлектронной промышленности были обсуждены задачи профсоюзных организаций, вытекающие из решений июльского (1978 г.) Пленума ЦК КПСС, доклада Генерального секретаря ЦК КПСС товарища Л.И.Брежнева на этом Пленуме и постановления VI Пленума ВЦСПС.

В работе Пленума ЦК профсоюза приняли участие ответственные работники ЦК КПСС, ВЦСПС, сотрудники аппарата министерств электронной промышленности, радиопромышленности, промышленности средств связи, партийный, профсоюзный, хозяйственный активы предприятий и организаций этих министерств, передовики и новаторы производства.

Выступивший с докладом председатель ЦК профсоюза В.И.Иванов подчеркнул, что в документах Пленума ЦК КПСС дан всесторонний, глубоко научный анализ деятельности партии и народа по развитию сельского хозяйства за время, прошедшее после мартовского (1965 г.) Пленума ЦК КПСС который положил начало современной аграрной политике нашей партии, определены основные пути и конкретные меры, направленные на дальнейший подъем сельского хозяйства и отраслей, обеспечивающих его индустриализацию и научно-технический прогресс.

Комплексное решение вопросов развития сельского хозяйства способствовало достижению значительных успехов в этой отрасли. Среднегодовой объем валовой продукции за последние семь лет достиг 116 млрд.руб. против 81,4 млрд.руб. в годы, предшествовавшие мартовскому (1965 г.) Пленуму ЦК КПСС. Заметно выросли урожайность и производство всех продуктов земледелия, обшественное поголовье скота и его продуктивность.

Все это убедительно свидетельствует о научной обоснованности и жизненной силе ленинской аграрной политики КПСС,



правильности курса, намеченного мартовским (1965 г.) Пленумом ЦК КПСС и развитого на последующих пленумах и съездах нашей партии.

Тем не менее общий уровень сельского хозяйства еще не отвечает быстрорастущим потребностям общества. В частности, слаба производственная база сельского строительства, несовершенны проекты животноводческих ферм и комплексов. Сельские стройки недостаточно обеспечиваются оборудованием и материалами.

Состоявшийся 14 июля 1978 г. Пленум ВЦСПС определил задачи профсоюзных организаций страны по претворению в жизнь решений июльского (1978 г.) Пленума ЦК КПСС. Наряду с выполнением главной задачи — мобилизации трудящихся на борьбу за повышение эффективности всех отраслей агропромышленного комплекса, необходимо решительно добиваться безусловного выполнения планов ввода жилья, детских учреждений и других объектов, связанных с улучшением бытового, медицинского и культурного обслуживания сельских жителей.

Докладчик и выступившие в прениях отмечали, что достойный вклад в осуществление комплексной программы развития сельского хозяйства вносят трудовые коллективы объединений, предприятий и организаций отраслей промышленности, объединяемые нашим профсоюзом. Предприятия и организации поставляют труженикам села радиоэлектронную аппаратуру и оборудование более чем по 340 наименованиям. Подавляющее большинство предприятий и организаций, изготавливающих технику для сельского хозяйства, успешно выполняют установленные задания и принятые социалистические обязательства. В 1978 г. колхозам и совхозам страны будет поставлено радиоэлектронной аппаратуры, оборудования и запасных частей к сельскохозяйственным машинам

на сумму свыше 200 млн.руб.

Коллективы предприятий и организаций проводят значительную работу по проектированию и строительству животноводческих помещений, кормоцехов, тепличных комбинатов, производству для нужд села недостающих механизмов, запасных частей, по оказанию помощи в строительстве жилья, культурно-бытовых объектов, подготовке кадров сельских механизаторов. Осуществляется шефство над сельскими культурно-просветительными учреждениями.

Подшефные совхозы и колхозы получают от трудовых коллективов отраслей промышленности большую помощь в проведении посевной и уборочной кампании.

На Пленуме отмечалось, что из года в год возрастает вклад в сельское хозяйство страны предприятий электронной промышленности СССР. Если в 1970 г. было поставлено продукции на 24 млн.руб., то в 1977 г. эта цифра достигла 97 млн.руб., а в текущем, 1978 г., предполагается дать сельскому хозяйству страны продукции более чем на 100 млн.руб.

Вместе с тем, отмечали участники Пленума ЦК профсоюза, некоторые хозяйственные руководители и профсоюзные комитеты предприятий не уделяют должного внимания выполнению заказов для сельского хозяйства, не проявляют инициативы в этой работе. На ряде заводов недостаточно изыскиваются и приводятся в действие внутренние резервы по усилению помощи сельскому хозяйству. Есть предприятия, которые уменьшили в текущей пятилетке поставки сельскому хозяйству ряда нужных изделий. Сельскохозяйственная техника и запасные части к ней отгружаются порой неритмично, большая часть их поставляется в конце года.

В Пленум ЦК профсоюза постановил целиком и полностью одобрить решения июльского (1978 г.) Пленума ЦК КПСС, положения и выводы доклада Генерального сек-

ретаря ЦК КПСС товарища Л.И.Брежнева, постановление VI Пленума ВЦСПС и принять их к неуклонному руководству и исполнению.

Республиканским, краевому, областным и городским комитетам профсоюза, профсоюзным комитетам объединений, предприятий и организаций предложено принять активное участие в разъяснении широких массам трудящихся указанных документов, совместно с хозяйственными руководителями мобилизовать коллективы на изыскание внутренних резервов и возможностей по усилению помощи сельскому хозяйству, развивать сложившиеся и создавать новые формы шефства, углублять их содержание, оказывать практическую помощь трудовым коллективам на селе в совершенствовании социалистического соревнования, идейно-политическом, трудовом и нравственном воспитании тружеников села, улучшении их культурного обслуживания, широко развернуть социалистическое соревнование за выполнение и перевыполнение заданий текущего года и десятой пятилетки в целом по производству и поставкам сельскому хозяйству радиоэлектронной аппаратуры, оборудования, запасных частей к сельскохозяйственным машинам. При подведении итогов социалистического соревнования одним из важнейших показателей следует считать выполнение планов производства и поставок продукции для нужд сельского хозяйства.

Пленум ЦК профсоюза заверил Центральный Комитет КПСС, ВЦСПС в том, что коллективы объединений, предприятий и организаций отраслей промышленности, руководствуясь решениями июльского (1978 г.) Пленума ЦК КПСС, положениями и выводами доклада Генерального секретаря ЦК КПСС товарища Л.И.Брежнева, преумножат свой вклад во всенародное дело подъема сельского хозяйства.

*НИКАНОРОВ А.В.*





ЗАНГЕР Г.

**ЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ.  
ТЕОРИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ**

Пер. с англ., 22 л., 15000 экз.

Содержание книги отражает развитие технологии в радиоэлектронной промышленности США за последние 10 лет и отличается новым подходом к изложению вопросов теории и конструирования электронных систем — от простейших операционных усилителей до сложных автоматизированных устройств. Насыщенность современной аппаратуры разнообразными функциональными блоками в интегральном исполнении делает неизбежным перенос акцента в методике проектирования на умение так подбирать и сочетать унифицированные узлы, чтобы полученные характеристики системы в целом отвечали заданным. Помочь выработать такое умение — одна из главных задач книги, удачно решенная автором.

Расчитана как на специалистов, так и на студентов вузов.

**ДОСТИЖЕНИЯ В ТЕХНИКЕ  
ПЕРЕДАЧИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Т. 2. Пер. с англ. 17 л., 8000 экз.

Второй том (т. 1 выпускается в 1978 г.) посвящен рассмотрению принципов построения цветного лазерного телевизора. Дано описание телевизора с разложением изображения на 1125 строк. Анализируются характеристики некоторых типов *PLZT*-керамики и рассматриваются возможности ее применения для записи и воспроизведения изображений. Обсуждаются вопросы разработки цветных однотрубных передающих телевизионных систем с пространственным оптическим кодированием изображения в оптическом узле камеры и электрическим декодированием видеосигналов на выходе камеры.

Предназначена для разработчиков электронно-оптических приборов и устройств обработки и отображения информации.

В 1979 г. в изд-ве "МИР" выйдут новые книги

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ  
ПРИБОРЫ В СХЕМАХ СВЧ**Под ред. М. Хауэса, Д. Моргана.  
Пер. с англ. 27 л., 7000 экз.

Монография отражает прогресс твердотельной электроники СВЧ в быстро развивающейся области конструирования усилителей и генераторов СВЧ. Авторами являются видные ученые, исследования которых охватывают все основные разделы этой области. В книге впервые подробно рассматриваются принципы действия, схемные реализации и особенности применения дрейфовых и полевых транзисторов СВЧ, лавинно-инжекционно-пролетных диодов, диодов с переносом электронов (диодов Ганна), усилителей и генераторов на их основе.

Монография полезна как специалистам в области твердотельной электроники СВЧ, так и приступающим к освоению и применению твердотельных приборов и устройств СВЧ.

**ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ  
И ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ**

Под ред. Т. С. Хуанга. 20 л., 5000 экз.

Коллективная монография, вышедшая за рубежом в серии "Проблемы прикладной физики" (том 6). Авторы — крупнейшие американские специалисты — рассматривают в основном проблемы восстановления и улучшения изображений (телевизионных изображений; аэрофотоснимков; сейсмических данных; рентгенограмм; изображений, полученных с помощью радио- и звуколокаторов и электронных микроскопов).

Предназначена для специалистов, работающих над проблемами обработки изображений (улучшение качества, эффективное кодирование, распознавание образов, машинное отображение). Книгой могут пользоваться студенты и молодые специалисты.

Ответственные за выпуск *Е. А. Засядько, В. М. Дмитриев*  
Художник *В. А. Чернецов* Технический редактор *Г. М. Корнеева*  
Цветные фото *Б. В. Борисевича, А. П. Бабина*  
Корректоры *А. В. Смирнова, Н. С. Русецкая*



Подписано в печать 29.VIII.78 г.  
Т-13266 Формат 60x90/8 Объем 8 п. л.  
Уч.-изд. л. 7,5 Индекс 3833 17 статей, 7 реф.  
Заказ 550 Тираж 3550 Цена 2 руб. 90 коп.