

В О П Р О С Ы
Р А Д И О Э Л Е К Т Р О Н И К И

Серия

Т Е Х Н И К А Т Е Л Е В И Д Е Н И Я (Т Т)

Выпуск 3

1967

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|---|------|
| И. А. Росселевич и Я. А. Шапиро. Развитие техники телевизионного вещания в СССР | 3 |
| Б. И. Бааранов и В. С. Полоник. Применение телевидения в народном хозяйстве | 13 |
| С. П. Пивоваров и И. А. Росселевич. Телевизионные системы для метеорологических ИСЗ | 28 |
| Я. И. Лукьянченко. Основные этапы развития систем синхронизации в отечественном телевидении | 34 |
| В. Б. Иванов. Помехи от паразитной амплитудной модуляции в системе магнитной видеозаписи с частотной модуляцией | 48 |
| Г. П. Шеров-Игнатьев. Миниатюризация передающих телевизионных устройств | 60 |
| Г. Д. Тучин. Параметры источников света и оптических систем студийного оборудования телекомпаний | 72 |
| Е. М. Жуков и А. И. Мазуров. Определение порогового контраста рентгено-телевизионных устройств | 81 |
| И. А. Николаевский, Е. Н. Васильцов и В. С. Яковлев. Выбор разноса между несущими частотами радиолиний вестудийного вещания при многоканальной работе | 89 |
| М. Л. Гуревич и В. Л. Хавкин. К вопросу выбора единых норм на параметры аппаратуры широкополосной видеозаписи | 94 |
| Ю. Н. Хомяков. Системы контурного разложения (обзор) | 101 |

Научно-технический сборник
ВОПРОСЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
Серия
Техника телевидения
Выпуск 3
1967

Серия

1967

ТЕХНИКА ТЕЛЕВИДЕНИЯ

Вып. 3

УДК 621.397.611-181.4

Канд. техн. наук Г. П. Шеров-Игнатьев

МИНИАТЮРИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЮЩИХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ УСТРОЙСТВ

Дан краткий обзор отечественных и зарубежных работ по уменьшению габаритов и веса передающих телевизионных устройств. Указаны перспективы миниатюризации аппаратуры на базе техники гибридных и твердых схем.

Едва ли можно привести примеры таких телевизионных систем, в которых не было бы желательным радикальное улучшение эксплуатационно-технических характеристик путем сокращения потребляемой мощности при одновременном улучшении габаритно-весовых характеристик и повышении надежности аппаратуры. В ряде случаев улучшение габаритно-весовых характеристик — не только желательное, но и совершенно необходимое условие построения системы. Примерами таких систем являются репортажные телевизионные установки, телевизионные устройства космических кораблей, промышленные телевизионные установки, предназначенные для размещения в труднодоступных местах, и пр. Во всех этих случаях могут быть достаточно обоснованно названы предельные веса устройств или их размеры, превышение которых недопустимо для заданных условий эксплуатации.

Одновременно с миниатюризацией к телевизионным системам предъявляются все более высокие требования по комплексу выполняемых функций. Кроме сервисных задач по визуальному контролю на них возлагаются визуализация и автоматическое выполнение или учет ряда технологических, навигационных и даже логических функций. Выполнение таких задач неразрывно связано с многократным усложнением телевизионных систем и соединением их с счетно-решающими устройствами.

Рассмотрим кратко пути, по которым шло развитие техники миниатюризации телевизионных устройств, и оценим перспективы их комплексной микроминиатюризации с учетом современных достижений техники гибридных и твердых схем.

Миниатюризация на базе ламповой и транзисторной техники

На рубеже 50-х годов, т. е. к моменту зарождения полупроводниковой и транзисторной техники, предельные возможности ламповых схем при

построении портативных передающих телевизионных устройств оценивались примерно следующими показателями:

| | |
|--|--------------------------|
| минимальный вес передающего устройства (без учета веса высокочастотного тракта, радиопередатчика и антенн) . . | 40—60 кг |
| минимальный объем | 70—100 дм ³ |
| удельная плотность монтажа | 0,006 эл/см ³ |
| потребляемая мощность | 300—500 вт |
| разрешающая способность | 400—500 линий |
| освещенность на объекте | 1000 лк |

С точки зрения миниатюризации приведенные технические характеристики значительно превосходили показатели любой другой телевизионной аппаратуры. Однако создание ранцевых репортажных телевизионных устройств или других, более портативных видов аппаратуры казалось в ту пору бесперспективным. Несмотря на это, уже в 1954 г. был достигнут значительный прогресс в технике построения малогабаритных телевизионных устройств. Базой для этих достижений послужили разработанные вакуумной промышленностью новые передающие телевизионные трубы с внутренним фотоэффектом — видиконы — и новые миниатюрные пальчиковые лампы.

Неоспоримыми достоинствами новых передающих трубок были простота конструкции, относительно низкие питающие напряжения и малые габариты. С тех пор трубы типа видикон прочно вошли во все виды миниатюрных передающих телевизионных устройств.

Радикальному снижению габаритов аппаратуры препятствовали, однако, неблагоприятные тепловые режимы, обусловленные значительной потребляемой мощностью миниатюрных ламп. В этом отношении широкие горизонты раскрылись перед техникой миниатюризации в результате освоения нового вида выпрямительных и усилительных приборов — полупроводниковых диодов и транзисторов.

Первые разработки транзисторных схем телевизионной аппаратуры были начаты в СССР еще в 1953 г. Основные усилия были направлены на разработку делителей частоты 625 : 1, схем формирования импульсов синхронизации, схем разверток, предварительных видеоусилителей.

К началу 1958 г. была изготовлена первая отечественная ранцевая репортажная телевизионная установка (РТУ) с автономным питанием [1], в которой кроме полупроводниковой техники были широко использованы все новейшие достижения вакуумной техники, аккумуляторостроения и миниатюризации навесных пассивных элементов. Технические характеристики отечественной РТУ по большинству параметров были либо равнозначны, либо несколько превосходили показатели аналогичной французской установки СР103 [2]. Несомненным достоинством отечественной установки являлось наличие электронного видоискателя. Сравнительно низкая потребляемая мощность РТУ была достигнута благодаря широкому

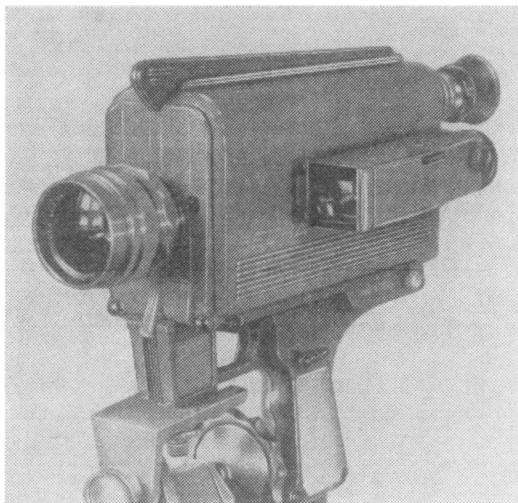


Рис. 1. Передающая камера «Весна»

применению полупроводниковых приборов. Только 8% общего числа каскадов этой установки было выполнено на лампах, в то время как во французской установке на лампах было выполнено 40% каскадов.

Внешний вид передающей камеры «Весна», входящей в комплект отечественной РТУ, показан на рис. 1.

Ни одна из этих репортажных установок, однако, не нашла широкого практического применения. Требовалось дальнейшее улучшение габаритно-весовых характеристик аппаратуры.

Следующие успехи миниатюризации были достигнуты в результате развития микромодульной техники.

Микромодульная техника миниатюризации

Все возрастающее усложнение радиоэлектронной аппаратуры выдвинуло необходимость решения двух труднейших проблем:

— многократное повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры,

— изыскание путей сокращения размеров этой аппаратуры.

Таким образом, чтобы выйти из создавшегося тупика, препятствовавшего дальнейшему развитию радиоэлектронной техники, необходимо было решить задачу, получившую название «проблема микроминиатюризации».

Первым серьезным шагом явилась разработка микромодульного принципа конструирования аппаратуры. За рубежом работы в этом направлении были начаты фирмой RCA в 1958 г. [3, 4]. В основу микромодульного метода был положен принцип размещения миниатюрных деталей на стандартных керамических платах с последующей компоновкой их в функциональные узлы, изготавливаемые в виде модулей этажерочного типа. Внедрение этого метода обеспечило снижение габаритов и весов аппаратуры в 3—5 раз по сравнению с транзисторными схемами с навесным монтажом. Аналогичное направление было выбрано в отечественных разработках радиоэлектронных устройств.

Первые работы по освоению микромодульной техники миниатюризации телевизионных устройств были начаты осенью 1960 г. К весне 1961 г. были созданы первые действующие макеты миниатюрной передающей телевизионной установки [5]. Весь миниатюрный «телецентр» был выполнен в одной упаковке — камере весом 2 кг. Объем этой камеры составлял 2,2 дм³, потребляемая мощность 8 вт. Все блоки камеры, кроме блока питания передающей трубки, были выполнены на микромодулях.

Конструктивно камера расчленена на три отсека (рис. 2). В верхнем отсеке расположены передающая трубка (миниатюрный видикон диаметром 12,5 мм), ФОС, блоки строчной и кадровой разверток, схема гашения обратного хода луча передающей трубки, фильтры цепей питания передающей трубки, видеоскатель с определением границ передаваемого объекта методом интерференционных колец и турель с двумя объективами, рассчитанными на передачу изображений крупным и средним планом. Видеоусилитель и синхрогенератор размещены в среднем отсеке камеры. Сигнал с выхода видеоусилителя размахом 1 в подается на радиопередатчик или на вход видеоусилителя контрольного телевизора. Синхрогенератор с двумя автономными задающими генераторами строк и кадров обеспечивает совместную работу камеры с типовыми телевизионными приемниками. В нижнем отсеке камеры размещены высоковольтный блок питания передающей трубки и аккумуляторная батарея питания всех блоков камеры, за исключением передающей трубки и цепей фокусировки ФОС.

Источники питания для этих цепей выполнены в виде двух небольших самостоятельных блоков. Общий ресурс питания миниатюрного передающего устройства рассчитан на 4 ч автономной работы. Четкость передаваемого изображения — 350 телевизионных линий. Полный вес всей установки (с радиопередатчиком и аккумуляторами на 4 ч автономной работы) составил около 6 кг.

Очевидный успех в создании микромодульного макета миниатюрного телевизионного устройства пробудил интерес к новой технике миниатюризации. Начались скрупулезные исследования и детальная отработка импульсных микромодулей, рассчитанных на построение широкого класса схем синхрогенераторов. Повышение плотности монтажа в этих микромодулях было достигнуто путем использования полиэлементных конструкций микроплат. С целью повышения надежности микромодулей проектирование схем производилось с учетом разброса и возможных изменений параметров элементов из-за влияния температурных условий эксплуатации и старения.

В результате была создана гамма телевизионных импульсных микромодулей для построения синхрогенераторов, включающая насыщенные и ненасыщенные ключевые каскады, усилители импульсов, блокинг-генераторы и другие импульсные схемы. В число микромодулей телевизионных видеоусилителей вошли универсальный усилительный каскад, двухкаскадный видеоусилитель, эмиттерный повторитель, трехкаскадный видеоусилитель и др.

Как показала практика проектирования телевизионных устройств, применение микромодулей дало снижение габаритов и весов микромодульных блоков примерно в 1,5—2 раза, но техника микроминиатюризации требовала уже к этому времени изыскания новых, более эффективных путей улучшения габаритно-весовых характеристик радиоэлектронных устройств при одновременном снижении стоимости их производства.

Тонкопленочная техника, техника твердых схем и гибридная техника микроминиатюризации

Из всех предложенных методов микроминиатюризации наибольшее признание получили пленочная техника и техника твердых схем, а также комбинация этих двух методов — так называемые гибридные методы микроминиатюризации.

Пленочные методы основаны на изготовлении различных схемных элементов путем нанесения на общую изоляционную подложку тонких слоев различных материалов. Варьируя соответствующим образом топологию, конфигурацию и материалы наносимых слоев, можно изготовить требуемые схемные элементы и их комбинации. Метод пленочной технологии наиболее широко используется для изготовления резисторов,

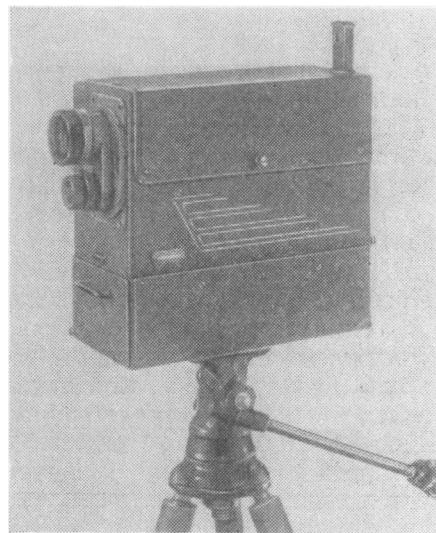


Рис. 2. Миниатюрная передающая телевизионная камера на микромодулях с автономным источником питания

конденсаторов, контактных площадок и коммутационных соединений. Изготовление таким методом активных схемных элементов (диодов, транзисторов и т. д.) встретило серьезные технологические трудности; эти работы пока еще находятся в стадии лабораторных разработок.

Существуют две разновидности пленочной техники — тонкопленочная и техника толстых пленок.

Тонкопленочные схемы, как правило, изготавливаются либо осаждением из паровой фазы в вакууме, либо формированием путем травления. Толщина тонкопленочных элементов — меньше 1 мк. Точность изготовления тонкопленочных резисторов может достигать 2—5%.

Схемы на толстых пленках изготавливаются методом трафаретной печати. Этот способ изготовления резисторов и межсоединений обеспечивает низкую стоимость схем, но точность изготовления резисторов, как правило, не превышает 10—15%. Толщины толстых пленок исчисляются десятками микронов.

Методы пленочной техники легко обеспечивают плотность монтажа (в составе аппаратуры) 10—200 эл/см².

Техника твердых схем является логическим развитием достижений промышленности производства полупроводниковых приборов. Используя методы полупроводниковой технологии, оказалось возможным изготавливать в одном кристалле группы транзисторов, диодов, сопротивлений, емкостей. Особенность этого метода заключается в исключительно высокой плотности размещения компонентов (до нескольких десятков тысяч элементов на кубический сантиметр). К сожалению, из-за больших потерь объема на коммутационные соединения, несущие конструкции и защиту столь высокая плотность монтажа пока не может быть реализована в аппаратуре: в современных радиоэлектронных устройствах, изготовленных методом твердых схем, усредненная плотность монтажа лежит в пределах 30—300 эл/см². Сравнительно низкая точность изготовления резисторов (как правило, не лучше $\pm 20\%$) и очень узкий интервал емкостей (от единиц до нескольких сотен пикофарад), изготавливаемых методом твердых схем, ограничивает возможности применения этого способа при микроминиатюризации многих видов радиоэлектронных устройств.

Следующим шагом в развитии методов пленочной техники и техники твердых схем явились гибридные методы миниатюризации, где для создания пассивных схемных элементов и межсоединений используется пленочная техника, а активные приборы изготавливаются методом твердых схем.

Наиболее легко осуществимым и поэтому наиболее широко используемым способом изготовления гибридных микросхем является способ, в котором в качестве несущей конструкции используется подложка из стекла, ситала, керамики или какого-нибудь иного изоляционного материала. На эту подложку методом пленочной технологии осаждаются необходимые пассивные элементы, контактные площадки и межсоединения. Затем производится монтаж групп активных элементов, изготовленных методами твердых схем. Такое конструктивно-технологическое решение позволяет миниатюризовать широкий класс схем благодаря возможности изготовления конденсаторов с номиналами емкостей до сотен тысяч пикофарад и точных резисторов (допуск может быть доведен до единиц процентов). Здесь легко обеспечивается возможность соединения микросхемы с миниатюрными навесными элементами — индуктивностями, трансформаторами и т. д.

Другая разновидность гибридных схем привлекательна с точки зрения более полного использования объема в результате применения так называемой гибридно-полупроводниковой технологии. Активные элементы в таких схемах, как и в технике твердых схем, формируют

в кристалле кремния путем диффузии. Затем защищают активные элементы окислом, создающим изоляционное покрытие, и на поверхность окисла осаждают резисторы и межсоединения. При такой технологии сохраняется большинство преимуществ монолитных конструкций и в то же время пленочные резисторы создаются с более высокой точностью и стабильностью, чем диффузионные резисторы в обычных твердых схемах.

Техника гибридно-пленочных и твердых схем находит применение в разработках как дискретных, так и аналоговых схем. Значительный размах приобрели исследовательские и опытно-конструкторские работы по применению этих методов миниатюризации в передающих телевизионных устройствах. Так, например, фирма Westinghouse разрабатывает комплекс телевизионных средств для космического корабля «Аполлон» с широким использованием гибридных и твердых схем. В первом образце передающей камеры применены 36 микросхемных блоков, выполняющих функции усиления, генерации, синхронизации и развертки. В качестве передающей трубы использован видикон с статическими развертками и фокусировкой. Разрешающая способность камеры 500 телевизионных линий. Полоса пропускания видеосигнатора 6 Мгц. Размах выходного сигнала 1,5 в. Потребляемая мощность этого телевизионного устройства составляет 3,3 вт, вес 764 г, объем 815 см³. Камера работает в интервале температур от -20 до +60° С.

В настоящее время фирма Westinghouse разрабатывает передающую телевизионную камеру на фототранзисторах [6]. Функции передающей трубы в первом варианте этой камеры выполняют 2500 трехслойных фототранзисторов. Коммутация светочувствительных элементов производится с помощью импульсно-шаговых разверток.

Во втором варианте камеры [7] предполагается использовать 40 000 светочувствительных элементов, что позволит реализовать четкость в 200 строк. Камера будет питаться от батареи напряжением 28 в, причем потребляемая мощность предположительно не будет превышать 500 мвт. Разработчики надеются, что вес этого передающего телевизионного устройства, включая все электронные блоки, будет примерно 150 г. Данное устройство предназначается для ведения космонавтами телевизионного репортажа при высадке на Луну.

Элементы интегральной электроники находят применение и в разработках промышленных телевизионных систем. Фирма Du Mont, например, разработала замкнутую телевизионную систему с разрешающей способностью более 1000 линий, предназначенную для использования в медицинских целях, для чтения микрофильмов и т. п. [8]. Видеотракт камеры создан на кремниевых гибридных схемах. Для получения высокой разрешающей способности полоса пропускания видеосигнатора принята необычно широкой — 25 Мгц. Синхрогенератор также выполнен на гибридных схемах. По желанию потребителей синхрогенератор может работать при разложении на 525, 625, 875, 945 и 1029 строк.

Еще более широкое применение нашли гибридные схемы в разработках фирмы Diamond Electronics [9]. Этой фирмой разработана камера ST-2 с цифровыми разверткой и синхронизацией. Видеотракт, синхрогенератор, развертки и схема защиты трубы от неисправностей разверток изготовлены в этой камере на гибридных схемах. Полоса пропускания видеотракта 12 Мгц, что обеспечивает горизонтальную четкость 800 линий. Синхрогенератор, схема формирования и развертки построены на двоичных счетчиках. Использование такого принципа синхронизации и развертки гарантирует очень высокую стабильность работы камеры, низкую чувствительность к изменениям питающего напряжения и температуры окружающей среды. Нелинейность развертки не превышает ±2%. Комплексное

использование гибридных и твердых схем позволило пойти на резкое усложнение схемных решений камеры. В результате введенных усовершенствований ухудшение характеристик изображения по контрастности, четкости, размерам и линейности не превышает 5% в интервале температур от -20 до $+70^{\circ}\text{C}$.

Экспериментальные данные исследований твердых и гибридных схем показали, что надежность их на два порядка выше, чем у транзисторных схем на дискретных компонентах, и определяется величинами λ -характеристик порядка 10^{-7} $1/\text{a}$. Многократное сокращение габаритов устройств позволяет широко использовать различные методы узлового и поэлементного резервирования, что дополнительно в несколько раз (и даже на несколько порядков) повышает надежность аппаратуры.

Перспективы дальнейшей миниатюризации передающих телевизионных устройств

Почти во всех видах разработок можно четко разграничить два характерных этапа. Первый этап — создание сигнального, уникального образца, впитавшего в себя все новейшие достижения техники. Этот образец является олицетворением результатов, достигнутых на переднем крае техники, первой реализацией новых открытий, новых научно-исследовательских разработок. Второй этап — изготовление промышленного образца аппаратуры, т. е. первого изделия, предназначенного для практического использования в соответствии с целевым назначением разработки.

Между первым и вторым этапами проходит обычно сравнительно большой промежуток времени — несколько лет, которые уходят на освоение промышленностью производства новых комплектующих элементов и приборов.

Как видно из табл. 1, основные усилия разработчиков были направлены на снижение потребляемой мощности, объема и веса аппаратуры. Достигнутый в этом направлении прогресс получен благодаря комплексному улучшению всех узлов устройств. Разработки по передающим трубкам привели к замене иконоскопа с переносом изображения рядом последовательных модификаций видикона. Последним словом техники в этом отношении явился полудюймовый видикон со статической фокусировкой и магнитным отклонением. Существенные изменения претерпели усилийные элементы, пройдя сложный путь от ламп различных конструкций до микроминиатюрных транзисторов, гибридно-пленочных и твердых схем.

Использовавшийся ранее навесной монтаж заменили двухсторонние и многослойные печатные платы. Коренным образом улучшены конструкции трансформаторов, электролитических конденсаторов, разъемов и всех прочих деталей. Таким образом, эффективное решение задач миниатюризации фактически происходит в результате комплексной миниатюризации всех схемных и конструктивных элементов. Как видно из данных о лучших разработках передовых стран мира [10—18], потребляемая мощность и вес передающей телевизионной аппаратуры снижаются очень быстро (рис. 3). Так, за 10 лет (с 1955 по 1965 г.) вес миниатюрных устройств уменьшился более чем в 30 раз, а потребляемая мощность — более чем в 40 раз. По всей вероятности, даже наиболее оптимистично настроенные специалисты не решились бы при составлении десятилетнего плана на 1955—65 гг. планировать столь грандиозные показатели развития отрасли.

Аналогичными темпами происходит совершенствование промышленных образцов аппаратуры (табл. 2). Точки «экспериментальных» данных,

Таблица 1

Технические данные сигнальных образцов миниатюрных передающих телевизионных устройств

| Параметр | Малогабаритные передающие телевизионные устройства, 1953 г. | СР103 (Франция), 1957 г. | РТУ (СССР), 1958 г. | Dage Television (США), 1959 г. | Миниатюра (СССР), 1961 г. | Westinghouse (США), 1963 г. | Teledain (США), 1966 г. |
|---|---|-------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Преобразователь «свет — сигнал» . . . | иконоскоп с переносом изображения | видикон 1" | видикон 1" | видикон 1/2" | видикон 1/2" | видикон 1" | видикон 1/2" |
| Фокусировка | магнитн. | магнитн. | магнитн. | магнитн. | магнитн. | статич. | статич. |
| Отклонение | » | » | » | » | » | » | магнитн. |
| Четкость, линии | 450 | 350 | 550 | 350 | 350 | 500 | 300 |
| Потребляемая мощность, вт | 400 | 100 | 87 | 30 | 8,5 | 3,3 | 2,5 |
| Усредненная плотность монтажа, эл/см ³ | 0,006 | 0,043 | 0,065 | 0,17 | 0,2 | 0,49 | 1,6 |
| Объем (без блока питания), дм ³ . . . | 80 | 13,8 | 14 | 4,7 | 2,2 | 0,82 | 0,22 |
| Удельный вес, г/см ³ | 0,63 | 0,65 | 0,75 | 0,96 | 0,91 | 0,93 | 3,0 |
| Исполнение | ламповое, на-весной монтаж | лампово-транзист., на-весной монтаж | транзисторн., на-весной монтаж | модульное, печатный монтаж | микро-модульное | гибридно-полупроводниковые микросхемы | гибридно-полупроводниковые микросхемы |

относящихся к этим образцам аппаратуры, отмечены на рис. 3 прямоугольниками.

Судя по плотности примыкания экспериментальных точек к некоторым усредненным кривым $Q(t)$, $P(t)$, $\sigma(t)$, $\delta(t)$, можно констатировать существование следующих весьма строгих закономерностей развития современной техники миниатюризации телевизионных устройств:

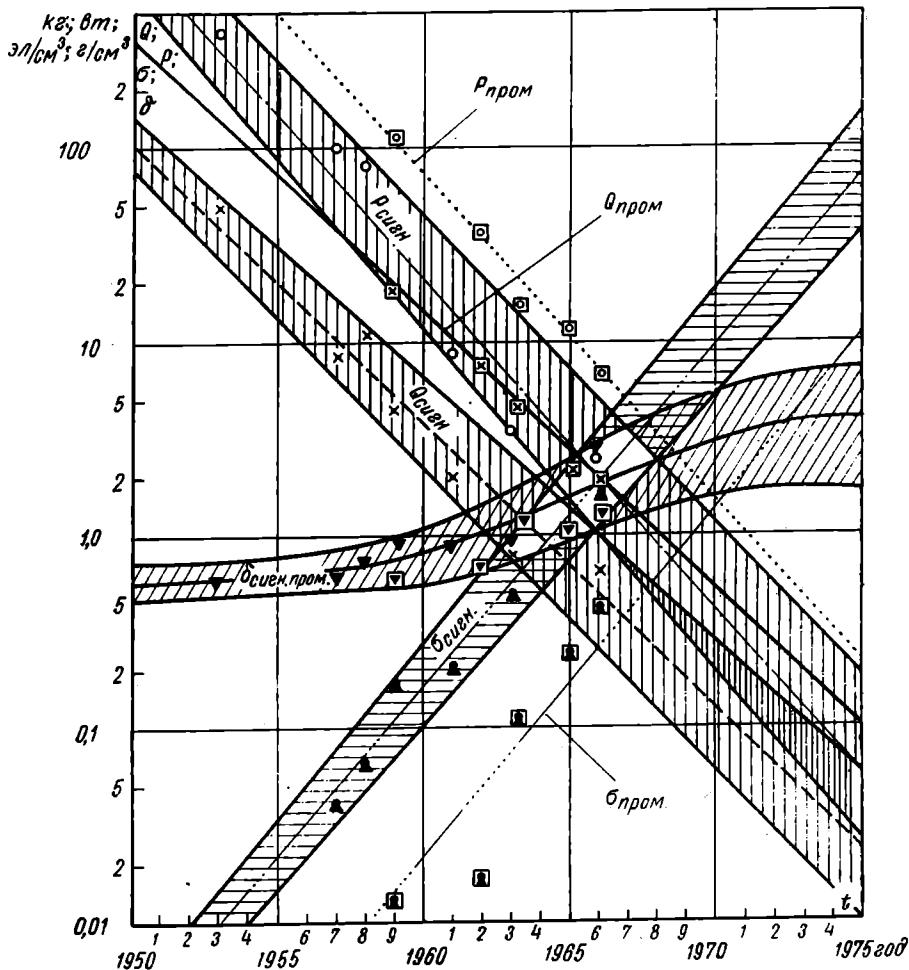


Рис. 3. Зависимости веса Q (кг), потребляемой мощности P (вт), плотности монтажа σ (эл/см³) и удельного веса телевизионной аппаратуры δ (г/см³) от года разработки

□ — промышленные образцы

1. Изменение веса, потребляемой мощности и плотности монтажа аппаратуры, одинаковой по сложности и обладающей аналогичными четкостью, чувствительностью и другими электрическими данными, подчиняется закону

$$A_{\tau} = A_0 e^{\alpha A \tau}, \quad (*)$$

где A_{τ} — значение параметра A через время τ ,

A_0 — значение параметра A в момент времени, принятый за начальный,

α_A — показатель скорости изменения параметра A .

Таблица 2

Технические данные промышленных образцов миниатюрных передающих телевизионных устройств

| Параметр | Telecaster-900 фирмы Packard Bell (США) | Камера фирмы G. E. Co (США) | T1-105 (Япония) | Камера фирмы RCA (США) |
|---|--|--------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Год разработки | 1962, серийная | 1963, рабочий образец | 1965, серийная | 1966, рабочий образец |
| Назначение | замкнутые ТВ-системы | репортаж с поверхности Луны | замкнутые ТВ-системы | ТВ-система космического корабля «Аполлон» |
| Передающая трубка | видикон 1" | видикон 1/2" TD-1305A | видикон 1" 7735A | видикон |
| Фокусировка | магнитная | статическая | магнитная | — |
| Отклонение | магнитное | магнитное | магнитное | — |
| Разложение, гц: | | | | |
| частота строк | 15 750 | 15 750 | 15 750; 15 625 | — |
| частота кадров | 30 | 30 | 30; 25 | 10 |
| Четкость, линии | 500 | 300 | 550 | — |
| Число градаций | 10 | 10 | — | — |
| Освещенность сцены, лк: | | | | |
| рекомендуемая | 200 | 100—100 000 | 100—100 000 | — |
| минимальная | 20 | 5—10 | — | 1 |
| Потребляемая мощность, вт . | 38 | 15 | 12 | 6,75 |
| Усредненная плотность монтажа, эл/см ² | 0,017 | 0,12 | 0,22 | 0,4 |
| Объем, дм ³ | 12,1 | 3,9 | 2,3 | 1,6 |
| Вес, кг | 8,5 | 4,6 | 2,1 | 2 |
| Удельный вес, г/см ³ | 0,7 | 1,2 | 1,1 | 1,3 |
| Исполнение | транзисторные и ламповые схемы, печатный монтаж | транзисторные схемы, печатный монтаж | транзисторные схемы, печатный монтаж | интегральные схемы, многослойный печатный монтаж |

2. Увеличение удельного веса аппаратуры происходит по криволинейному закону, имеющему предел 5—7 г/см³.

3. Улучшение технических характеристик промышленных образцов аппаратуры подчиняется законам улучшения аналогичных характеристик сигнальных образцов изделий и происходит с отставанием на некоторый промежуток времени, составляющий при современном уровне развития техники примерно 4 года.

Указанные закономерности можно использовать для прогнозирования параметров предполагаемых разработок как аналогичных, так и отличающихся по сложности устройств. Пусть, например, требуется определить вес аппаратуры, которая должна быть разработана через время t ,

причем известно, что число схемных элементов (R , L , C , транзисторов, диодов и т. д.) в ней будет ориентировочно равно N . Исходя из формулы (*), с учетом очевидных зависимостей получим расчетное выражение

$$Q_t = N \frac{\delta_t}{\sigma_0} e^{-\alpha_0 t},$$

где δ_t — усредненное значение удельного веса аппаратуры, определенное по графику (рис. 3) в год разработки t ,

σ_0 — плотность монтажа исходного образца аппаратуры, разработанного к моменту времени, принятому за начало отсчета,

α_0 — показатель скорости изменения плотности монтажа.

Необходимые для расчетов пессимистические, средневероятностные и оптимистические оценки показателей α , найденные из кривых (рис. 3), приведены в табл. 3.

Таблица 3
Показатели скорости изменения параметров α_Q , α_P и α_σ

| Прогнозируемый параметр | Показатель скорости α , 1/год | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|------------------------|
| | Пессимистическая оценка | Средневероятностная оценка | Оптимистическая оценка |
| Вес Q | -0,32 | -0,34 | -0,35 |
| Потребляемая мощность P | -0,37 | -0,39 | -0,40 |
| Плотность монтажа σ | 0,39 | 0,41 | 0,42 |

При построении рис. 3 не в полной мере учтены различия разработок по четкости, чувствительности, числу воспроизведимых градаций и ряду других параметров. Более детальный учет этих различий позволит дополнительно уточнить значения показателей α и ход прогнозируемых зависимостей. Однако проведенные расчеты показали, что отличие анализируемых зависимостей от приведенных будет незначительным.

Все без исключения разработки, рассмотренные при выявлении указанных закономерностей, были весьма результативными. Отсюда направляется следующий вывод. Наиболее целесообразны и экономически оправданы те разработки, параметры которых в планируемые сроки выполнения работ достигают значений, соответствующих закономерностям развития аппаратуры данной отрасли.

Руководствуясь данным выводом, можно более правильно определить параметры и сроки создания аппаратуры, а также объем работ, необходимых для обеспечения соответствия выполняемых разработок уровню разработок передовых стран.

Указанные закономерности не следует, конечно, распространять на те системы, в которых вопросы миниатюризации играют второстепенную роль, а главным является получение высоких показателей аппаратуры по качеству воспроизведенного изображения или по каким-либо другим параметрам.

Проведенный прикидочный расчет показал, что на протяжении ближайших 10—15 лет темпы уменьшения аппаратуры будут достаточно близки к прогнозируемым по графикам, представленным на рис. 3.

Точно так же, как трудно было 10 лет тому назад правильно оценить пути миниатюризации аппаратуры, когда не были еще известны принципы

пленочной техники и техники твердых схем, трудно сегодня достаточно точно предсказать, каковы будут технические пути дальнейшей миниатюризации телевизионной аппаратуры. Однако при существующих тенденциях развития современной физики наиболее вероятно, что этими путями являются, прежде всего, разработки безвакуумных передающих фотоэлектрических преобразователей и приемных электролюминесцентных экранов. Миниатюрные решения большинства отдельных узлов телевизионной аппаратуры потребуют, наверное, внедрения схем на МОП-транзисторах и освоения технологии их изготовления методами тонкопленочной техники или техники твердых схем.

Наряду с темпами миниатюризации через несколько лет, по-видимому, накопится достаточное количество исходных данных для прогнозирования темпов увеличения функциональной насыщенности и сложности телевизионных систем. Кроме воспроизведения передаваемого изображения на телевизионную технику будут возложены функции логической обработки видеоинформации и выделения комплексов сигналов для решения широкого круга задач опознания образов. Построение быстро возрастающих по сложности систем, несомненно, потребует еще более широкого освоения средств миниатюризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давлианидзе В. А. Репортажная телевизионная установка. «Техника кино и телевидения», 1959, № 11, стр. 55.
2. Polonsky J. Une caméra de télévision portable et autonome. «Onde électr.», 1957, vol. 7, № 364, p. 650.
3. Danko S. F. [and oth.]. The micro-module a logical approach to microminaturization. «Proc. I. R. E.», 1959, vol. 47, No 5, pt. 1, p. 894.
4. Army going into production on micromodules. «Electronics», 1962, 7/IX, p. 7.
5. Микроэлектроника. «Советский Союз», 1963, № 2 (156), стр. 6.
6. Solid-state image sensing plate for camera. «Wireless World», 1965, vol. 71, No 9, p. 461.
7. Space camera system. «Electronic Components», 1965, vol. 6, No 8, p. 782.
8. A new closed circuit television camera system. J. SMPTE, 1965, vol. 74, No 4, p. 366.
9. Micrologic CCTV. «Brit. Communs and Electronics», 1965, vol. 12, No 6, p. 187.
10. Bellier W. Dielectric camera ready for space use. «Missiles and Rockets», 1966, vol. 18, No 16, p. 28.
11. Lightweight TV camera. «Electronics World», 1959, vol. 62, No 1, p. 46.
12. Шеров - Игнатьев Г. П. Полупроводниковые приборы и опыт их применения в малогабаритных телевизионных установках и других радиотехнических устройствах. «Вопросы радиоэлектроники». Сер. IX «Техника телевидения», 1960, вып. 3, стр. 130.
13. Ручная передающая телевизионная камера с передатчиком. «Электроника», 1966, т. 39, № 22, стр. 47.
14. Microelectronic modular assembly. «Electronics», 1965, vol. 38, No 22, p. 50.
15. Microcircuit TV camera. «Aviat. Week», 1963, vol. 79, No 14, p. 92..
16. Портативная камера для замкнутых телевизионных систем. «Электроника», 1966, т. 39, № 6, стр. 77.
17. Tragbare Fernsehkameras für Apollo-Mondflug. «Elektron», 1966, № 9/10, S. 164.
18. La Fond C. D. GEC camera meets needs of Saturn fest monitoring, Lunar exploration. «Missiles and Rockets», 1964, vol. 15, No 23, pp. 36, 38—39.

Статья поступила 15 декабря 1966 г.